



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE ARQUITECTURA**

TESIS DE GRADUACION

**CRITERIOS, DISEÑO Y CÁLCULO DE
SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA
INCENDIOS**

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD
DE ARQUITECTURA POR

JORGE LUIS ARÉVALO LÓPEZ

PARA OPTAR AL TÍTULO DE

ARQUITECTO

CIUDAD DE GUATEMALA, JULIO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE ARQUITECTURA

JUNTA DIRECTIVA PRIMER SEMESTRE 2012

Arq. Carlos Enrique Valladares Cerezo	Decano
Arq. Gloria Ruth Lara Cordón de Corea	Vocal I
Arq. Edgar Armando López Pazos	Vocal II
Arq. Marco Vinicio Barrios Contreras	Vocal III
Br. Jairon Daniel Del Cid Rendón	Vocal IV
Br. Carlos Raúl Prado Vides	Vocal V
Arq. Alejandro Muñoz Calderón	Secretario

TERNA EXAMINADORA

Arq. Carlos Enrique Valladares Cerezo	Decano
Arq. Alejandro Muñoz Calderón	Secretario
Msc. Arq. Martín Enrique Paniagua García	Asesor
Msc. Arq. Víctor Hugo Jáuregui García	Consultor
Arq. Edgar Armando López Pazos	Consultor

ACTO QUE DEDICO

Al Arquitecto del Universo

Arquitecto, Diseñador, Planificador y Constructor de todo lo existente, Padre de la Sabiduría, Por el regalo de la vida, Por la segunda oportunidad, el conocimiento, y la iluminación para poder culminar una de las metas de mi vida.

A Mis Padres

Alfonso Ricardo Arévalo Urizar y Myriam Elizabeth López González de Arévalo, por toda una vida de cuidado y de apoyo, por el legado del trabajo, el esfuerzo y la lucha para conseguir lo que deseo, son lo máximo, simplemente las palabras se quedan cortas para expresar mi admiración y agradecimiento. Los Amo.

A mi Esposa

Norma Dabeyba Irazema Reyes Morales de Arévalo, Gracias por el amor y la paciencia durante las épocas buenas y las épocas difíciles, por el apoyo incondicional a lo largo de los años.

A mi Hija

Fernanda Elizabeth Arévalo Reyes, la luz de mis ojos desde que me acompañas, simplemente la mejor parte de cada día de mi vida.

A mis Hermanas

María de Los Ángeles Arévalo López, Claudia María Arévalo López de García, por ser un constante apoyo para la realización de mis metas, por toda una vida de recuerdos compartidos, Las quiero Mucho.

A mi Primo

Jorge Daniel Varela Arévalo (Topo), mi hermano y compañero de siempre, (y tu cómo te llamas...?) Gracias por tu amistad y tu apoyo.

A mis amigos

Omar Alexander Cabrera Ramos, Carlos Rafael Siliezar González, David Haroldo Cajas Pacheco, por su apoyo y amistad.

A mis compañeros Universitarios

Todos y cada uno con quienes compartí, Muy Especialmente a Nidia Marilina Álvarez Reyes, Rodrigo Waldemar Melgar González, Arq. Samuel Díaz.

A “El Clan”

Peter Guarcas Arq. Wilson Ayala (naufraigo), Agosto Miranda, Wilfredo Vásquez Celada, Edy Aldana, Pablo Illescas, Edgar García, por la amistad y por cada una de las múltiples Celebraciones que con motivo de ser compañeros y amigos tuvimos a lo largo de los años, y que seguramente, serán más. Gracias por ese apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A La Universidad de San Carlos de Guatemala

Alma mater, en donde recorrí el camino experimentando el ser estudiante, y cultivando el amor por el conocimiento y la investigación. Toda la vida me sentiré orgulloso de llamarme Sancarlista de Corazón.

A la Facultad de Arquitectura

La casa de estudios donde a base de esfuerzos, desvelos, presiones y contratiempos pude llevar a buen término la primera de mis metas profesionales. En esta casa de estudios pude comprobar que “La presión Transforma el Carbón en Diamantes”.

A los docentes de la Facultad de Arquitectura

Por la paciencia, el arte de enseñar y legar la sabiduría a próximas generaciones, por los consejos y la amistad, por las llamadas de atención y las exigencias necesarias, muy especialmente a los docentes Arq. Vinicio González, Arq. Sergio Tenas, Arq. Carlos Roberto Quan Morales, Msc. Arq. Martín Enrique Paniagua García, gracias por compartir el conocimiento y contribuir a mi formación profesional.

A la terna examinadora

Msc. Arq. Martín Paniagua, Msc. Arq. Víctor Jáuregui, Arq. Edgar López, por la colaboración y la guía para el desarrollo de este material, muchas gracias por la paciencia y por el nivel de exigencia que hace que nos esforcemos para buscar la excelencia en cada una de las cosas que hacemos.

A los colaboradores externos y compañeros

Por los aportes, críticas y sugerencias útiles para la realización de este documento, muy especialmente, Ing. Carlos Antonio Quim Can, Ing. Mauricio González Sánchez, Arq. Byron Antonio Illescas Dávila, Ing. Víctor Herbert De León, Ing. Omar Gilberto Flores Beltetón.

INDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCION	I
MARCO CONCEPTUAL	III
ANTECEDENTES	III
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	IV
JUSTIFICACION	V
OBJETIVOS	VII
GENERALES:	VII
ESPECIFICOS	VII
DELIMITACION DEL TEMA	VIII
DEMANDA A ATENDER	VIII
MARCO METODOLOGICO	IX
RECOPIACION Y REVISION DE INFORMACION	IX
ENSAYO DE MATERIALES	IX
SOLICITUD DE INFORMACION	IX
SELECCIÓN DE PROYECTO DE APLICACIÓN	IX
MARCO LEGAL	XI
MARCO TEORICO	XIII
CAPITULO 1	1
DEFINICION DE FUEGO Y	1
PATOLOGIA DE UN INCENDIO	1
PATOLOGIA DE UN INCENDIO	5
DEFINICIÓN DE FUEGO	5
DEFINICIÓN DE INCENDIO:	5
COMBUSTIÓN:	5
PRODUCTOS DE LA COMBUSTION	6
HUMO	6
LLAMA	7
AGENTES PASIVOS:	7

GASES DE INCENDIO	8
INFLAMABILIDAD DE LOS GASES DE INCENDIO:	9
LIMITES DE INFLAMABILIDAD:	9
LÍMITE INFERIOR DE INFLAMABILIDAD (LII)	9
LIMITE SUPERIOR DE INFLAMABILIDAD (LSI)	10
MEZCLA IDEAL	10
FUENTES DE IGNICIÓN	11
FUENTES DE IGNICIÓN ABIERTAS:	11
FUENTES DE IGNICIÓN OCULTAS:	11
FUENTES DE IGNICIÓN INTERMITENTES:	11
FACTORES INFLUYENTES EN EL RANGO DE INFLAMABILIDAD	11
TEMPERATURA:	12
CONCENTRACIÓN DE OXIGENO:	12
TIPOS DE PROPAGACIÓN DEL FUEGO:	13
CONDUCCIÓN O CONTACTO DIRECTO	13
CONVECCIÓN	14
RADIACIÓN	14
DESARROLLO DE INCENDIOS EN ESPACIOS CERRADOS	15
FASES DEL DESARROLLO DE UN INCENDIO	16
FASE 1, DESARROLLO INICIAL	16
FASE 2, CRECIMIENTO O PROPAGACIÓN DEL INCENDIO	16
FASE 3, FUEGO EN PLENO DESARROLLO	17
FASE 4, REGRESIÓN	17
FACTORES DE INFLUENCIA	18
FOCO DE LLAMA AL CENTRO DE UN AMBIENTE	18
FOCO DE LLAMA PEGADO A UN MURO DEL AMBIENTE	19
FOCO DE LLAMA EN UNA ESQUINA DEL AMBIENTE	19
CAPACIDAD DE LAS ESTRUCTURAS PARA TRANSMITIR CALOR	20
ALTURA DEL TECHO DEL AMBIENTE	21
TIPOS DE GASES DE INCENDIO	22
GASES DE INCENDIO NORMALES	23
GASES ALTAMENTE ENERGÉTICOS	23
EMISIONES DE GASES DE INCENDIO	23
PIROLISIS	24
FENÓMENOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL INCENDIO	25
FLASHOVER	26
FLAMEOVER Y ROLLOVER	28
BACKDRAFT	28
CAPITULO 2	33

**COMPORTAMIENTO Y PATRONES DE DETERIORO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN
CONDICIONES DE CARGA COMBUSTIBLE Y ALTAS TEMPERATURAS**

33

COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION EN CONDICIONES DE CARGA COMBUSTIBLE Y ALTAS TEMPERATURAS	37
COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ARMADO EN CONDICIONES DE ALTA TEMPERATURA	39
SÍNTESIS PRELIMINAR	39
COMPOSICIÓN DEL CONCRETO	40
EFFECTOS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO EN ALTAS TEMPERATURAS	41
EXPANSIÓN TÉRMICA	42
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	46
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	47
MODULO DE ELASTICIDAD	48
RELACIÓN DE POISSON	48
FLUENCIA O CEDENCIA (CREEP)	49
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA	50
DIFUSIVIDAD TÉRMICA	51
CALOR ESPECÍFICO	51
EFFECTOS DEL FUEGO EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO	52
EFFECTO SPALLING	53
SHOCK TÉRMICO POR ENFRIAMIENTO RÁPIDO	55
EFFECTOS DEL FUEGO EN CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA	56
COMPORTAMIENTO DE COLUMNAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA	58
LOSAS Y VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS Y NO RESTRINGIDAS	59
LOSAS Y VIGAS CONTINUAS	61
COMPORTAMIENTO DEL ACERO ESTRUCTURAL EN CONDICIONES DE ALTA TEMPERATURA	63
ACERO ESTRUCTURAL, COMPOSICIÓN QUÍMICA	64
EFFECTOS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL ACERO ESTRUCTURAL EN ALTAS TEMPERATURAS	65
EXPANSION TERMICA	65
RESISTENCIA Y LÍMITE DE FLUENCIA	66
MODULO DE ELASTICIDAD	66
DEFORMACION HASTA LA ROTURA	68
CONDUCTIVIDAD TERMICA Y CALOR ESPECÍFICO	69
FACTOR DE MASIVIDAD O DE FORMA	70
EFFECTOS DEL FUEGO EN LAS ESTRUCTURAS DE ACERO	71
MIEMBROS ESTRUCTURALES TOTALMENTE DE ACERO	72
FALLAS POR DESLIZAMIENTO EN APOYOS	73
FALLAS EN PERFILES COMPUESTOS PERFORADOS (VIGAS CELULARES)	74
FALLAS TIPO DIAFRAGMA EN LOSAS DE CONCRETO APOYADAS EN ESTRUCTURAS DE ACERO	76
FALLAS POR FUEGO EN COLUMNAS TUBULARES DE ACERO	77
RESPUESTA MECANICA	78

RESPUESTA TERMICA	79
FALLAS	79
COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERIA EN CONDICIONES DE ALTA TEMPERATURA	81
MAMPOSTERIA, COMPOSICION QUIMICA	81
BLOQUES DE CONCRETO	81
LADRILLO DE BARRO COCIDO	82
FALLAS POR TEMPERATURA EN LOS SISTEMAS DE MAMPOSTERIA CONFINADA O MAMPOSTERIA REFORZADA	82
COMPORTAMIENTO DE LA MADERA EN CONDICIONES DE ALTA TEMPERATURA	85
CONSTITUCION Y COMPOSICION QUIMICA DE LA MADERA	85
COMPORTAMIENTO MECANICO DE LA MADERA Y MODOS DE FALLO EN CONDICIONES DE INCENDIO	86
TAZA DE CARBONIZACION	89
GRADIENTE DE TEMPERATURA Y REDONDEO DE ARISTAS	91
SECCION RESIDUAL	92
COMPORTAMIENTO DE LOS POLIMEROS EN CONDICIONES DE ALTA TEMPERATURA	93
CLORURO DE POLIVINIL (PVC)	94
COMPORTAMIENTO DEL CLORURO DE POLIVINILO (PVC) EN CONDICIONES DE ALTA TEMPERATURA	95
RESISTENCIA A LA IGNICION	96
PROPAGACION DE LA LLAMA	96
VELOCIDAD DE LIBERACION DE CALOR	97
OPACIDAD DE HUMO	97
TOXICIDAD DEL HUMO	98
POLIESTIRENO EXPANDIDO (EPS)	98
CALOR DE COMBUSTION	101
TOXICIDAD DE HUMO POR LA COMBUSTION DE EPS	101
OSCURECIMIENTO POR HUMO	102
COMPORTAMIENTO DEL VIDRIO EN CONDICIONES DE ALTA TEMPERATURA	103
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL VIDRIO	104
TRANSFERENCIA DEL CALOR	104
TIPO DE FALLAS EN EL VIDRIO POR EFECTOS DEL FUEGO	105
SHOCK TÉRMICO	105
TENSIÓN TÉRMICA POR DILATACIÓN	106
CAPITULO 3	109
<hr/>	
<u>CARGA COMBUSTIBLE Y TIEMPO DE EXPOSICION EQUIVALENTE, DEFINICIONES Y PARAMETROS DE CÁLCULO PARA PROYECTOS DE ARQUITECTURA</u>	109
<hr/>	
CARGA COMBUSTIBLE O CARGA POR FUEGO	113
DEFINICIÓN DE CARGA COMBUSTIBLE (CARGA POR FUEGO)	114
COMBUSTIBLE SÓLIDO DE MADERA	115

DENSIDAD POR MASIVIDAD	117
COMBUSTIÓN DE MATERIALES TERMOPLÁSTICOS	118
DENSIDAD DE MASIVIDAD	120
CARGA DE FUEGO PONDERADA, PARAMETROS DE CÁLCULO	120
DEFINICION DE PARAMETROS	122
MASA EN KILOGRAMOS DE CADA UNO DE LOS COMBUSTIBLES (G_i)	122
PODER CALORÍFICO (Q_i)	122
COEFICIENTE DE PELIGROSIDAD POR COMBUSTIBILIDAD	124
TIEMPO EQUIVALENTE DE EXPOSICIÓN AL FUEGO	142

CAPITULO 4	147
-------------------	------------

<u>CRITERIOS, DISEÑO Y PARAMETROS DE CÁLCULO DE SISTEMAS DE PROTECCION ACTIVA Y PASIVA CONTRA INCENDIOS EN PROYECTOS DE ARQUITECTURA</u>	147
---	------------

SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	151
DEFINICIÓN	151
PROTECCIÓN PREVENTIVA	152
PROTECCIÓN PASIVA O ESTRUCTURAL:	152
PROTECCIÓN ACTIVA O EXTINCIÓN	152
PROTECCIÓN HUMANA O EVACUACIÓN	152
SISTEMAS DE PROTECCIÓN ACTIVA CONTRA INCENDIOS	156
INSTALACIONES DE DETECCIÓN DE INCENDIOS:	156
FUNCIONES DEL SISTEMA	157
COMPONENTES DEL SISTEMA	157
INSTALACIONES DE ALARMA	158
INSTALACIONES DE EMERGENCIA:	159
INSTALACIONES DE EXTINCIÓN	159
SISTEMAS FIJOS DE SUPRESIÓN	159
INSTALACIONES DE DETECCIÓN, DEFINICIONES, PARÁMETROS Y CRITERIOS	161
DETECTORES AUTOMÁTICOS	161
DETECTORES DE LLAMA	163
CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN E INSTALACIÓN DE DETECTORES	164
CENTRALES DE SEÑALIZACIÓN	167
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	168
CABLE CON RECUBRIMIENTO IGNIFUGANTE	169
ESPUMAS INTUMESCENTES	170
REVESTIMIENTOS A BASE DE FIBRA DE VIDRIO	170
INSTALACIONES DE ALARMA, DEFINICIONES, PARÁMETROS Y CRITERIOS	171
PULSADORES DE EMERGENCIA	171
CRITERIOS DE INSTALACIÓN PARA PULSADORES	172

INSTALACIONES DE ALERTA Y AUDIO PARA EVACUACIÓN, DEFINICIONES, PARÁMETROS Y CRITERIOS	175
SEÑALIZACIÓN AUDIBLE	175
BOCINAS	176
SIRENAS	176
ZUMBADORES	177
CRITERIOS DE SELECCIÓN	177
PARÁMETROS DE DISEÑO Y DE POSICIONAMIENTO PARA SEÑALES AUDITIVAS DE INCENDIOS	178
PARA SISTEMAS DE SIRENAS	178
PARA SISTEMAS DE BOCINAS	178
ESPACIAMIENTO ENTRE BOCINAS	179
POSICIONAMIENTO DE BOCINAS:	180
INSTALACIONES DE EMERGENCIA, DEFINICIONES, PARÁMETROS Y CRITERIOS	181
ALUMBRADO DE SEGURIDAD	182
ALUMBRADO DE EVACUACIÓN:	184
CRITERIOS DE INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN DE EVACUACIÓN	184
DISTANCIA DE VISIÓN MÁXIMA ENTRE SEÑALES DE EVACUACIÓN	185
INSTALACIONES DE EXTINCIÓN Y SUPRESIÓN A BASE DE AGUA, DEFINICIONES, PARÁMETROS Y CRITERIOS	187
BOCAS DE INCENDIO EQUIPADAS	188
CRITERIOS DE EMPLAZAMIENTO Y DISTANCIA ENTRE BOCAS DE INCENDIO EQUIPADAS:	189
CALCULO DE AGUA DE RESERVA PARA BOCAS DE INCENDIO EQUIPADAS	189
HIDRANTES DE INCENDIO	190
TIPOS DE HIDRANTES:	190
CRITERIOS PARA LA INSTALACIÓN DE HIDRANTES	191
COLUMNAS SECAS	192
CRITERIOS DE INSTALACIÓN PARA COLUMNAS SECAS EN PROYECTOS ARQUITECTÓNICOS	193
EXTINTORES PORTÁTILES	194
SELECCIÓN DE EXTINTORES A DOTAR	195
CRITERIOS DE DISTRIBUCIÓN Y POSICIONAMIENTO DE EXTINTORES	196
CALCULO DE CAPACIDAD EXTINTORA	197
DISTANCIAS DE SEGURIDAD ESTANDARIZADAS PARA EQUIPOS EXTINTORES PORTÁTILES	199
SISTEMAS FIJOS DE SUPRESIÓN, DEFINICIONES, PARÁMETROS Y CRITERIOS	200
AGENTES EXTINTORES PARA SISTEMAS DE SUPRESIÓN Y EXTINCIÓN FIJOS	201
INSTALACIONES DE EXTINCIÓN Y SUPRESIÓN A BASE DE AGUA, DEFINICIONES, PARÁMETROS Y CRITERIOS	203
COMPONENTES DE UN SISTEMA DE EXTINCIÓN POR AGUA	204
SISTEMA DE DETECCIÓN	205
CALCULO DE ABASTECIMIENTO MÍNIMO DE AGUA PARA SISTEMA DE SUPRESIÓN	205
DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DE CÁLCULO	206
COEFICIENTES DE RIESGO DE OCUPACIÓN (CRO)	206
NUMERO DE CLASIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN (NCC)	209
RIESGO DE EXPOSICIÓN (ER)	210
FACTOR DE RESERVA	210
SISTEMAS DE ROCIADORES PARA INCENDIOS (SPRINKLERS)	211

CALCULO DE ÁREA DE PROTECCIÓN POR ROCIADOR	213
CRITERIO PARA POSICIONAMIENTO DE ROCIADORES	214
CAUDAL DE ROCIADORES	215
SISTEMAS DE NEBULIZACIÓN DE AGUA EN ALTA PRESIÓN	217
COMPONENTES DE UN SISTEMA DE AGUA NEBULIZADA	218
TUBERÍAS PARA SISTEMAS FIJOS DE SUPRESIÓN	220
INSTALACIONES DE TUBERÍA MOJADA	221
INSTALACIONES DE TUBERÍA SECA	222
UNIONES EN TUBERÍAS	222
UNIONES POR BRIDAS O FLANGES	223
UNIONES FLEXIBLES	223
COLECTORES DE PRUEBA	224
CRITERIOS A TOMAR EN CUENTA EN EL DISEÑO DE TUBERÍAS	224
DISEÑO DE TUBERÍAS	224
TUBERÍAS DE ACERO PARA SISTEMA DE IMPULSIÓN	226
SISTEMAS DE IMPULSIÓN O DE BOMBEO	228
BOMBAS PRINCIPALES	229
BOMBA AUXILIAR JOCKEY	230
MOTORES DE IMPULSIÓN	230
CALCULO DE POTENCIA DEL SISTEMA DE BOMBEO	230
INSTALACIONES DE EXTINCIÓN Y SUPRESIÓN A BASE DE ESPUMAS, DEFINICIONES, PARÁMETROS Y CRITERIOS	233
MECANISMOS DE EXTINCIÓN DE LAS ESPUMAS	234
AISLAMIENTO	234
ENFRIAMIENTO	234
GENERACIÓN DE ESPUMAS	235
CLASIFICACIÓN DE LAS ESPUMAS	235
ESPUMAS DE BAJA EXPANSIÓN:	236
ESPUMAS DE MEDIANA EXPANSIÓN	236
ESPUMAS DE ALTA EXPANSIÓN	237
COMPONENTES DE UN SISTEMA DE ESPUMAS CONTRA INCENDIOS	237
SISTEMA DE CONTROL DE MEZCLA	238
ROCIADORES	239
LANZAS, CÁMARAS Y VERTEDERAS	240
EQUIPOS TIPO VENTURY Y GENERADORES	241
MONITORES	242
DISEÑO DE TUBERÍAS PARA SISTEMAS DE ESPUMAS	244
CALCULO DE SISTEMAS DE ESPUMA CONTRA INCENDIOS	245
BOCAS DE INCENDIO EQUIPADAS DE ESPUMA Y SISTEMAS GENERADORES PORTÁTILES	248
INSTALACIONES DE EXTINCIÓN Y SUPRESIÓN A BASE DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO₂), DEFINICIONES, PARÁMETROS Y CRITERIOS	249
EL DIÓXIDO DE CARBONO COMO AGENTE EXTINTOR	250
FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE SUPRESIÓN POR CO₂	251

INUNDACIÓN TOTAL	251
APLICACIÓN LOCAL	253
SISTEMA DE TUBERÍAS DE CONDUCCIÓN DE CO₂	254
JUNTAS DE DILATACIÓN PARA TUBERÍAS DE ACERO PARA SISTEMAS DE CO₂	255
CALCULO DE SISTEMAS DE SUPRESIÓN POR CO₂	257
MÉTODO NFPA 12	257
MÉTODO VdS	260
ESPACIAMIENTO Y DIMENSIONADO DE BOQUILLAS PARA SISTEMAS DE CO₂	262
INSTALACIONES DE EXTINCIÓN Y SUPRESIÓN A BASE AGENTES HALOGENADOS, DEFINICIONES, PARÁMETROS Y CRITERIOS	269
AGENTES HALOGENADOS	269
FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE SUPRESIÓN POR AGENTES HALOGENADOS	270
SISTEMAS DE INUNDACIÓN TOTAL	271
DISEÑO DE SISTEMAS DE SUPRESIÓN POR AGENTES HALOGENADOS	271
ALMACENAMIENTO DE AGENTES HALOGENADOS	272
SISTEMA DE TUBERÍAS DE CONDUCCIÓN DE AGENTES HALOGENADOS	273
CALCULO DE DIÁMETRO DE TUBERÍAS	273
CEDULA DE TUBERÍAS	274
SOPORTES DE TUBERÍAS	275
CONEXIONES EN TUBERÍAS	277
UNIONES SOLDADAS	277
SELLOS Y EMPAQUETADURAS EN BRIDAS	279
TUBERÍAS Y ACOPLÉS FLEXIBLES	280
JUNTAS DE DILATACIÓN PARA TUBERÍAS DE ACERO PARA SISTEMAS DE AGENTES HALOGENADOS	280
CALCULO DE VOLUMEN DE AGENTE HALOGENADO PARA SUPRESIÓN DE INCENDIO	283
DETERMINACIÓN DE CANTIDAD TOTAL DE HALÓN 1301 PARA SISTEMAS DE INUNDACIÓN	284
AJUSTES POR ELEVACIÓN EN METROS SOBRE EL NIVEL DEL MAR	284
BOQUILLAS PARA SISTEMAS DE AGENTES HALOGENADOS	286
INSTALACIONES DE EXTINCIÓN Y SUPRESIÓN A BASE POLVOS QUÍMICOS SECOS (PQS), DEFINICIONES, PARÁMETROS Y CRITERIOS	287
PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS SECOS	287
MECANISMOS DE EXTINCIÓN	288
USO DE LOS POLVOS QUÍMICOS SECOS	288
MÉTODOS DE APLICACIÓN DE POLVOS QUÍMICOS SECOS	288
SISTEMAS FIJOS	289
ALMACENAMIENTO DE POLVOS QUÍMICOS SECOS	290
AGENTES IMPULSORES EN SISTEMAS DE POLVOS QUÍMICOS SECOS	292
CALCULO DE SISTEMAS DE POLVO QUÍMICO SECO	293
CALCULO DE BOQUILLAS PARA SISTEMAS DE POLVO QUÍMICO SECO	294
SISTEMA DE TUBERÍAS DE CONDUCCIÓN DE POLVOS QUÍMICOS SECOS	295
JUNTAS DE DILATACIÓN PARA TUBERÍAS DE ACERO PARA SISTEMAS DE POLVOS QUÍMICOS SECOS`	297
SOPORTES DE TUBERÍAS	298

SISTEMAS DE PROTECCIÓN PASIVA CONTRA INCENDIOS	302
TRATAMIENTOS Y REVESTIMIENTO IGNIFUGANTES	305
PROTECCIÓN ESTRUCTURAL	306
COMPARTIMENTACIÓN	307
SISTEMAS DE PROTECCIÓN PASIVA PARA ACERO ESTRUCTURAL	309
PROTECCIÓN PASIVA PARA ACERO ESTRUCTURAL	311
PROTECCIÓN PARA VIGAS CELULARES	312
SECCIONES ESTRUCTURALES HUECAS	312
EMBREISADOS DE ACERO ESTRUCTURAL	313
MIEMBROS PARCIALMENTE EXPUESTOS	314
MUROS LIGEROS (TABIQUES) EXTERIORES E INTERIORES	314
ENTREPISOS	315
VIGAS QUE SOPORTAN PISOS COMPUESTOS (SISTEMAS DE LOSACERO)	315
EXPOSICIONES AL FUEGO MÁS PROBABLES EN UN PROYECTO DE ARQUITECTURA	316
PROTECCIÓN PASIVA POR TRATAMIENTOS Y REVESTIMIENTOS INTUMESCENTES, PARÁMETROS DE CÁLCULO Y CRITERIOS DE APLICACIÓN	317
PROCESO QUÍMICO DE INTUMESCENCIA	318
PROTECCIÓN INTUMESCENTE PARA ACERO ESTRUCTURAL	319
PARA COLUMNAS DE PERFILES WF	321
PARA COLUMNAS DE PERFILES TUBULARES CUADRADOS	321
PARA COLUMNAS DE PERFILES TUBULARES HSS (HOLLOW STRUCTURAL SECTION, COLUMNAS TUBING)	322
PROTECCIÓN PASIVA POR REVESTIMIENTOS CON MORTEROS PROYECTADOS, PARÁMETROS DE CÁLCULO Y CRITERIOS DE APLICACIÓN	325
BENTONITA	325
VERMICULITA	325
PERLITA	326
PIEDRA PÓMEZ	326
ARCILLA	326
DISEÑO DE REVESTIMIENTOS POR MORTEROS PROYECTADOS	327
DENSIDADES DE MORTEROS	328
PROTECCIÓN PASIVA POR ENCAJUELOS CON PANELES RESISTENTES AL FUEGO, PARÁMETROS DE CÁLCULO Y CRITERIOS DE APLICACIÓN	331
CÁLCULO DE ENCAJUELOS RESISTENTES AL FUEGO	332
BLINDAJE Y AISLAMIENTO DE DUCTOS	337
PROTECCIÓN PASIVA CON MAMPOSTERÍA DE CONCRETO, LADRILLOS DE ARCILLAS Y CONCRETO, PARÁMETROS DE CÁLCULO Y CRITERIOS DE APLICACIÓN	339
PROTECCIÓN DE PERFILES TUBULARES DE ACERO CON LEVANTADO DE MAMPOSTERÍA	340
SISTEMAS DE PROTECCIÓN PASIVA PARA CONCRETO Y MAMPOSTERÍA	347
RECUBRIMIENTOS PARA LOSAS DE ENTREPISO Y CUBIERTAS DE CONCRETO	350
LOSAS NERVURADAS, VIGAS Y PANELES PREFABRICADOS	351
MUROS, TABICACIONES Y LEVANTADOS DE MAMPOSTERÍA	354
RESISTENCIA AL FUEGO DE ELEMENTOS DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO	355

BLINDAJE DE MUROS DE MAMPOSTERÍA CON MATERIALES AISLANTES Y ACABADOS ARQUITECTÓNICOS 359

CAPITULO 5 365

COMPARTIMENTACION, CONTROL DE HUMO Y RUTAS DE EVACUACION EN PROYECTOS DE ARQUITECTURA COMO SISTEMAS DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS 365

DEFINICION DE COMPARTIMENTACION	369
DEFINICION DE CONTROL DE HUMOS	370
DEFINICION DE RUTAS DE EVACUACION	372
COMPARTIMENTACION Y SECTORES DE INCENDIO	373
• REACCIÓN AL FUEGO	374
RESISTENCIA AL FUEGO	374
ESTABILIDAD AL FUEGO	374
ESTANQUEIDAD AL FUEGO	375
AISLAMIENTO TÉRMICO	375
ESCALA DE TIEMPOS	375
REACCIÓN AL FUEGO	375
ELEMENTOS COMPARTIMENTADORES	375
ELEMENTOS ESTRUCTURALES	377
ELEMENTOS DE PARTICIÓN INTERIOR	379
MEDIDAS CONSTRUCTIVAS PARA GARANTIZAR LA COMPARTIMENTACIÓN EN SECTORES DE INCENDIO	380
PROTECCIÓN DE ABERTURAS Y SELLOS DE PENETRACIÓN	382
SELLOS DE PENETRACIÓN EN PASOS DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS	383
PROTECCIÓN DE JUNTAS DE DILATACIÓN O JUNTAS CONSTRUCTIVAS	386
CRITERIOS Y PARÁMETROS DE COMPARTIMENTACIÓN	387
CONTROL Y EXTRACCION DE HUMO Y GASES TOXICOS	391
CARACTERÍSTICAS DEL HUMO EN CONDICIONES DE INCENDIO	392
CANTIDAD DE HUMO	393
ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE HUMO PRODUCIDA	393
TEMPERATURA MEDIA DE GASES DE INCENDIO	395
VISIBILIDAD Y DENSIDAD DEL HUMO, PRINCIPIOS DE LA MEDICIÓN DE LA DENSIDAD DEL HUMO	396
COMPORTAMIENTO DEL HUMO EN CONDICIONES DE INCENDIO	403
CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE GASES	403
ZONA DE HUMO CALIENTE	404
ZONA DE HUMO FRIO	405
EFFECTO CHIMENEA (STACK EFFECT)	405
SISTEMAS DE CONTROL DE HUMOS EN PROYECTOS DE ARQUITECTURA	406
SISTEMA DE VENTILACIÓN Y EXTRACCIÓN MECÁNICA	407
POTENCIA DE EQUIPOS DE ASPIRACIÓN Y EXTRACCIÓN DE HUMOS	409
CORTINAS Y BARRERAS FLEXIBLES PARA CONDUCCIÓN DE HUMOS	410

CONFINAMIENTO DE HUMO A SECTORES DE INCENDIO	410
DIRECCIÓN DE FLUJO DE HUMO HACIA MEDIOS DE EVACUACIÓN	413
CONTROL Y MANEJO DE HUMO EN ATRIOS Y VESTÍBULOS DE MÚLTIPLES ALTURAS	415
ACCESORIOS PARA EXTRACCIÓN DE HUMOS	419
EQUIPOS DE EXTRACCIÓN MECÁNICA	419
RUTAS DE EVACUACIÓN, DISEÑO, DIMENSIONAMIENTO Y PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS	423
CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE RUTAS DE EVACUACIÓN	424
DIMENSIONAMIENTO DE RUTAS DE ESCAPE HORIZONTAL	424
MÁXIMA DISTANCIA REGLAMENTARIA DE ESCAPE HORIZONTAL	428
DIMENSIONAMIENTO DE RUTAS DE ESCAPE VERTICAL	432
RUTAS DE ESCAPE VERTICAL EXTERIORES	438
TIEMPOS DE EVACUACIÓN	441
MODELO HIDRÁULICO APLICADO AL CÁLCULO DE TIEMPO DE EVACUACIÓN	443
PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO	443
CONSIDERACIONES GENERALES DE SEGURIDAD PARA RUTAS DE ESCAPE HORIZONTAL Y VERTICAL	449
PARA RUTAS DE ESCAPE HORIZONTAL	449
PROTECCIÓN CONTRA FUEGO	450
SEÑALIZACIÓN E ILUMINACIÓN	451
PARA RUTAS DE ESCAPE VERTICAL	456
PROTECCIÓN CONTRA FUEGO	456
PUERTAS CORTAFUEGOS	459
SEÑALIZACIÓN E ILUMINACIÓN	461
PROTECCIÓN DE VÍAS DE ESCAPE POR MEDIO DE PRESURIZACIÓN DE AIRE	462
SISTEMA DE PRESURIZACIÓN DE AIRE CON BYPASS	465
SISTEMA DE PRESURIZACIÓN DE AIRE CON VENTILACIÓN AL EXTERIOR	467
SISTEMA DE PRESURIZACIÓN POR MEDIO DE VENTILADOR CENTRAL	468
SISTEMA DE PRESURIZACIÓN DE AIRE POR MEDIO DE INYECCIÓN SUPERIOR	469
SISTEMA DE PRESURIZACIÓN POR INYECCIÓN MÚLTIPLE, E INYECCIÓN MÚLTIPLE CON VENTILADOR CENTRIFUGO SUPERIOR	470
CALCULO DE CAUDAL DE AIRE PARA SISTEMAS DE PRESURIZACIÓN DE VÍAS DE ESCAPE	471
<u>CAPITULO 6</u>	<u>475</u>
<u>PROCESO DE DISEÑO DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS PARA PROYECTOS DE ARQUITECTURA</u>	<u>475</u>
CRITERIOS DE ANÁLISIS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS EN FUNCIÓN DEL DISEÑO ARQUITECTÓNICO	478
FACTORES A TOMAR EN CONSIDERACIÓN	478
USO DEL DISEÑO PROPUESTO	478
EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INCENDIO	479
DIMENSIONES Y CONFIGURACIÓN ESPACIAL DE LAS ÁREAS A PROTEGER	479

MATERIALES Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS	480
MOBILIARIO Y EQUIPO	481
LUGARES PUNTUALES DE POSIBLE IGNICIÓN	483
POSIBLE TOXICIDAD DEL AGENTE SUPRESOR	484
PROCESO DE DISEÑO DE UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS	485
PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN ACTIVA	487
ANÁLISIS DEL RIESGO DE INCENDIO DEL PROYECTO DESARROLLADO	488
PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN PASIVA	511
VERIFICACIÓN DEL TIPO DE MATERIAL Y SISTEMA ESTRUCTURAL QUE SE DEBE PROTEGER	511
DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE PROTECCIÓN A PROVEER	512
DETERMINACIÓN DEL TIPO DE PROTECCIÓN ESTRUCTURAL A PROVEER	513
ANÁLISIS ARQUITECTÓNICO DE LA PROTECCIÓN PASIVA	514
CALCULO DE LA PROTECCIÓN PASIVA	514
DIBUJO DE PLANOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	514
<u>CONCLUSIONES</u>	<u>525</u>
<u>RECOMENDACIONES</u>	<u>527</u>
<u>BIBLIOGRAFIA</u>	<u>531</u>

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1, llamas de proceso de combustión.....	5
Ilustración 2 triangulo de fuego, Fuente: NFPA.....	8
Ilustración 3, punto de mezcla ideal en proceso de combustión.....	10
Ilustración 4, Limites de inflamabilidad.....	12
Ilustración 5, calor por conducción.....	13
Ilustración 6, Calor por conveccion	14
Ilustración 7, calor por radiación	14
Ilustración 8, fases del desarrollo de un incendio.....	15
Ilustración 9, fase inicial.....	16
Ilustración 10, fase de crecimiento del fuego	16
Ilustración 11, Fuego en pleno desarrollo	17
Ilustración 12, fuego con foco de llama al centro de un ambiente	18
Ilustración 13, Fuego con foco de llama pegado a un muro del ambiente	19
Ilustración 14, Fuego con foco de llama en la esquina de un ambiente	19
Ilustración 15, transmisión de calor en estructuras poco densas	21
Ilustración 16, transmisión de calor en estructuras muy densas	21
Ilustración 17, Incidencia de la altura de los ambientes en la velocidad de propagación del fuego	21
Ilustración 18, incidencia de la distancia en el efecto de pirolisis	22
Ilustración 19, Los fenómenos en el comportamiento del fuego van desde la combustión que arde sin llama, hasta la ignición de gases de combustión	25
Ilustración 20, condiciones necesarias para el desarrollo del fenómeno Flashover.....	26
Ilustración 21, desarrollo de llama inicial en condiciones de Flashover.....	26
Ilustración 22 desarrollo de capa de gases de combustión	27
Ilustración 23, condiciones previas al Flashover	27
Ilustración 24, Ignición por efecto de Flashover	27
Ilustración 25, efecto Rollover	28
Ilustración 26, llama de fenómeno Backdraft	28
Ilustración 27, condiciones necesarias para que ocurra el fenómeno Backdraft.....	29
Ilustración 28, tiempo de aparición del fenómeno backdraft en la curva tiempo temperatura	29
Ilustración 29, manifestaciones comunes del fenómeno Backdraft (imágenes superiores), y del fenómeno Flashover (imágenes inferiores).....	30
Ilustración 30, peligros y vulnerabilidades, material didáctico proporcionado en curso de Gestión de riesgos, Fuente: OPS.....	31
Ilustración 31, Incendio en edificio Windsor, Madrid, España.....	37
Ilustración 32, efectos de la temperatura en el concreto armado, Fuente: Cepreven, protección pasiva contra incendios	40
Ilustración 33, componentes del concreto, Fuente: Manual PCA, edición 2002 en español	41
Ilustración 34, agrietamiento superficial de concreto expuesto a altas temperaturas	42

Ilustración 35, separación de la pasta de cemento y de los agregados, por efecto de deshidratación	42
Ilustración 36, concreto con agregados calcáreos	44
Ilustración 37, concreto con agregados cuarzosos	44
Ilustración 38, agregados con descascaramiento	44
Ilustración 39, agregados silíceos	45
Ilustración 40, agregado liviano	45
Ilustración 41, ensayo de compresión al concreto.....	46
Ilustración 42, capacidad de flexión en el concreto armado	47
Ilustración 43, relación de Poisson.....	48
Ilustración 44, esfuerzo de Cedencia en una viga de concreto	49
Ilustración 45, falla por Cedencia en el refuerzo de acero.....	49
Ilustración 46, conductividad del calor al núcleo de una columna de concreto.....	50
Ilustración 47, mapa térmico de temperaturas alcanzadas en una sección de concreto ..	50
Ilustración 48, difusividad del calor en un cuerpo solido.....	51
Ilustración 49, daños en un prisma de concreto ensayado al fuego	52
Ilustración 50, efecto de descascaramiento (spalling) en el concreto.....	53
Ilustración 51, diferente grado de exposición de armaduras por efecto de descascaramiento.....	54
Ilustración 52, gradiente térmico en vigas de concreto.....	55
Ilustración 53, efecto de contracción y figuración por shock térmico	56
Ilustración 54, efectos del fuego en concretos de alta resistencia	56
Ilustración 55, daño por fuego en una columna de concreto en condiciones reales	58
Ilustración 56, condición de losa simplemente apoyada no restringida	59
Ilustración 57, exposición de armaduras por efecto de descascaramiento.....	60
Ilustración 58, falla estructural por fuego en losas simplemente apoyadas	60
Ilustración 59, falla estructural en losas por debilitamiento de armaduras.....	61
Ilustración 60, mapa térmico de la acción del calor en un sistema de losas y vigas continuas	62
Ilustración 61, sistema constructivo de acero estructural	63
Ilustración 62, sistema estructural mixto, acero y concreto	63
Ilustración 63, hierro en estado puro, mineral sin procesar	64
Ilustración 64, carbón mineral, en estado natural.....	64
Ilustración 65, expansión térmica del acero por efecto de temperatura.....	65
Ilustración 66, grafica del limite de fluencia en el acero estructural	66
Ilustración 67, grafica esfuerzo - deformación.....	67
Ilustración 68, elasticidad del acero	67
Ilustración 69, deformación de una barra de acero en tensión	68
Ilustración 70, deformación hasta la rotura en probetas de acero, fotografías y microfotografías de probetas ensayadas en caliente	68
Ilustración 71, conductividad de un perfil de acero, mapa de gradiente térmico.....	69
Ilustración 72, perfiles de acero estructural más usados en la construcción	71
Ilustración 73, Perfiles de acero tipo WF.....	72
Ilustración 74, losa apoyada sobre vigas joist.....	72

Ilustración 75, Falla por ductilidad en estructuras de acero compuestas.....	73
Ilustración 76, elongación del acero por temperatura.....	73
Ilustración 77, falla por deslizamiento y ductilidad en piezas de acero en altas temperaturas	74
Ilustración 78, falla por corte en apoyos articulados en altas temperaturas.....	74
Ilustración 79, proceso de corte de alma de vigas WF en fabrica	74
Ilustración 80, Estructura de Vigas Celulares de acero	75
Ilustración 81, modelo digital de deformación (pandeo lateral) por efectos de fuego en viga celular	75
Ilustración 82, Viga Celular dañada por fuego en un incendio real.....	75
Ilustración 83, modelo digital de falla tipo diafragma en losas de concreto apoyadas en vigas WF.....	76
Ilustración 84, modelo digital de falla tipo diafragma en losas de concreto apoyadas en vigas WF, 40 minutos de exposición.....	76
Ilustración 85, Colapso por falla tipo diafragma en una estructura mixta de acero y concreto.....	77
Ilustración 86, perfiles tubulares (columnas tubing) de acero estructural	77
Ilustración 87, falla por fatiga de una columna tubular de sección cuadrada, deformación por efecto de temperatura y aplastamiento	78
Ilustración 88, mapa de respuesta térmica.....	79
Ilustración 89, falla por aplastamiento y por desgarramiento laminar en columnas de acero	79
Ilustración 90, fallas por pandeo y aplastamiento en perfiles tubulares y en secciones solidas tipo WF	80
Ilustración 91, piezas de mampostería de concreto y de arcilla	81
Ilustración 92, agregado tipo pómez, para blocks de concreto.....	81
Ilustración 93, arcilla en estado natural.....	82
Ilustración 94, ensayo de temperatura en muro de mampostería de concreto	82
Ilustración 95, pandeo lateral en muros expuestos a fuego.....	83
Ilustración 96, Efectos pandeo-tensión en muros cargados por fuego en una sola de sus caras.....	84
Ilustración 97, estructura de madera de vigas macizas.....	85
Ilustración 98, composición de la madera	86
Ilustración 99, secciones de madera rectangular para vigas	86
Ilustración 100, carbonización de la madera	87
Ilustración 101, relación volumen superficie de una pieza de madera.....	87
Ilustración 102, nudo en una seccion de madera	88
Ilustración 103, densidad de distintos tipos de madera, natural y aglomerada.....	88
Ilustración 104, contenido de humedad en la madera	88
Ilustración 105, efecto de carbonización de la madera dependiendo de su especie y densidad	89
Ilustración 106, formación de beta de carbón en madera quemada.....	89
Ilustración 107, redondeo de aristas por carbonización	90
Ilustración 108, pérdida de masa por efecto de carbonización.....	90

Ilustración 109, efecto de carbonización en una viga de madera expuesta a fuego, nótese la sección residual	90
Ilustración 110, Mapa térmico de gradiente de temperatura de viga expuesta a fuego, temperatura mínima ambiente 92°F, máxima en condición de incendio 1025°F.....	91
Ilustración 111, gradiente de temperatura en una viga expuesta al fuego.....	91
Ilustración 112, redondeo de aristas en una sección rectangular de madera	92
Ilustración 113, sección residual de una viga de madera expuesta diferentes rangos de tiempo.....	92
Ilustración 114, Estado Allianz Arena, Alemania. La membrana esta hecha a base de polímeros y llena de gas, que puede cambiar de color dependiendo de la estación y temporada	93
Ilustración 115, plástico policarbonatado	94
Ilustración 116, Tuberías PVC para conducción de agua potable	95
Ilustración 117, muestra de Ventanería de PVC	95
Ilustración 118, aplicación de llama directa a tubo PVC.....	96
Ilustración 119, Llama sobre ducto flexible PVC	96
Ilustración 120, Velocidad de liberación de calor	97
Ilustración 121, humo de combustión de PVC	97
Ilustración 122, Poliestireno Expandido	98
Ilustración 123, losa prefabricada con bovedillas de Poliestireno Expandido	98
Ilustración 124, Poliestireno Expandido para molduras y relleno de juntas	99
Ilustración 125, molduras en remate de chimeneas	100
Ilustración 126, Poliestireno en diversas aplicaciones constructivas	100
Ilustración 127, Poliestireno utilizado en acabados finales interiores	100
Ilustración 128, ensayo de combustión, generación y opacidad de humo en Poliestireno expandido	101
Ilustración 129, combustión de pieza de Poliestireno expandido al aire libre, nótese la cantidad de humo que se genera en condiciones de combustión con llama	101
Ilustración 130, Combustión de EPS.....	102
Ilustración 131, Humo de combustión de EPS en ensayo.....	102
Ilustración 132, Vidrio aplicado como cerramiento exterior	103
Ilustración 133, mecanismo de transferencia de calor a través del vidrio	103
Ilustración 134, transferencia de calor	104
Ilustración 135, modos de transferencia de calor en una superficie de vidrio.....	105
Ilustración 136, shock térmico en superficie de vidrio caliente enfriada de forma brusca	105
Ilustración 137, fisuras por dilatación en vidrio.....	106
Ilustración 138, condiciones que debe soportar un proyecto de arquitectura ante la eventualidad de un incendio	107
Ilustración 139, material combustible consumido parcialmente por las llamas, en un ensayo controlado, Fuente: NIST.....	114
Ilustración 140, madera que aun no está consumida en su totalidad, aun cuando estuvo expuesta a fuego controlado en un ensayo normado realizado. fuente: effects of surface area and thickness on fire loads, FIRE ENGINEERING RESEARCH REPORT, university of Canterbury.....	116

Ilustración 141, partes de un archivo de metal conteniendo papel, que aun no ha sido consumido en su totalidad, aun siendo expuesto a fuego controlado, en un ensayo normado	117
Ilustración 142, ensayo de combustión realizado con un mueble tapizado, para determinar el tiempo en que el material es totalmente consumido.....	118
Ilustración 143, ensayo de combustión, tiempo de duración aproximadamente 3 minutos	119
Ilustración 144, Curva normalizada ISO, Tiempo - Temperatura, sin escala de unidades. Fuente: seminario de seguridad contra incendios, Lic. Javier A. Da Cunha, 11 de abril 2010	146
Ilustración 145, Tipos de protección contra incendios existentes. fuente: MANUAL DE PREVENCIÓN CONTRA INCENDIOS, Colegio Técnico de Ingenieros industriales, Barcelona, España, año 2005.....	151
Ilustración 146, Detector de humo	161
Ilustración 147, esquema de funcionamiento de detector iónico	161
Ilustración 148, esquema de funcionamiento de detector de humo fotoeléctrico.....	162
Ilustración 149, esquema de funcionamiento de detector de humo por oscurecimiento.	162
Ilustración 150, Detector de humo Termovelocimétrico.....	163
Ilustración 151, Detector de llama.....	163
Ilustración 152, Central de señalización y control de alarmas, sistema automatizado....	167
Ilustración 153, ensayo de fuego a cables con revestimiento ignífugo	169
Ilustración 154, cables con recubrimientos intumescentes resistentes al fuego según parámetros internacionales.....	169
Ilustración 155, sello de tubos con espumas intumescentes.....	170
Ilustración 156, ductos revestidos con fibra de vidrio	170
Ilustración 157, pulsadores de emergencia, de izquierda a derecha: pulsador de pantalla plástica bajo norma CE para intemperie, pulsador de palanca, pulsador de pantalla plástica para interiores.....	172
Ilustración 158, bocinas para sistema de alerta por voz.....	176
Ilustración 159, sirena para sistema de alerta.....	176
Ilustración 160, timbre tipo gong o zumbador	177
Ilustración 161, espaciamiento entre dispositivos en un sistema de megafonía, o alarma por medio de bocinas con mensaje. Fuente: Honeywell Life Safety Iberia, Autor: Juan J. Nogales García.....	180
Ilustración 162, posicionamiento correcto en un sistema de megafonía, o alarma por medio de bocinas con mensaje. Fuente: Honeywell Life Safety Iberia. Autor: Juan J. Nogales Garcia.....	180
Ilustración 163, esquema de los diferentes tipos de iluminación estandarizados internacionalmente. Fuente: instalaciones eléctricas en locales de concurrencia pública, Autor: Pablo Zapico Gutiérrez.....	181
Ilustración 164, lámpara de seguridad con reflectores halógenos.....	182
Ilustración 165, lámpara de seguridad tipo LED.....	182
Ilustración 166, lámparas de alumbrado de evacuación.....	184

Ilustración 167, señales lumínicas de evacuación, estandarizadas internacionalmente. Fuente: Norma ISO 3864.....	185
Ilustración 168, Boca de Incendio Equipada	188
Ilustración 169, despiece de una boca de incendio equipada	188
Ilustración 170, hidrante de incendio para exteriores	190
Ilustración 171, esquema de funcionamiento de un sistema de columna seca	192
Ilustración 172, toma de columna seca en fachada y acople a camión bomba	192
Ilustración 173, toma de columna seca por nivel, en descanso de gradas	193
Ilustración 174, extintor portátil	194
Ilustración 175, extintor sobre ruedas	194
Ilustración 176, mecanismos de supresión de incendio mediante los cuales opera un sistema de supresión por agua. Fuente: red proteger, autor: Ing. Néstor Adolfo Botta...	203
Ilustración 177, rociador.....	211
Ilustración 178, modo y área de acción de un rociador, según parámetros NFPA 13.....	214
Ilustración 179, esquema de funcionamiento de un sistema de rociadores.....	216
Ilustración 180, difusor de un sistema de agua nebulizada	217
Ilustración 181, ensayo de sistema de agua nebulizada en alta presión	217
Ilustración 182, aplicación de agua nebulizada en prevención de fuegos eléctricos en bancos de transformadores	217
Ilustración 183, sistema de agua nebulizada en cocina industrial	218
Ilustración 184, batería de botellas de aire comprimido y de mezcla de aire y agua comprimidos a alta presión	218
Ilustración 185, línea de tuberías para un sistema fijo de supresión con rociadores	220
Ilustración 186, sistema de tubería mojada.....	221
Ilustración 187, Sistema de tubería Seca.....	222
Ilustración 188, accesorios tipo flange para formar unión con bridas de tuberías.....	223
Ilustración 189, bridas de acople flexibles para uniones en juntas o con movimiento.....	223
Ilustración 190, colector de prueba en línea de sistema contra incendios.....	224
Ilustración 191, sistema de impulsión de agua, con bomba principal diesel, bomba principal eléctrica y bomba tipo jockey.....	228
Ilustración 192, sistema de bombas combinado.....	229
Ilustración 193, bomba tipo jockey.....	230
Ilustración 194, bomba de motor eléctrico.....	230
Ilustración 195, bomba de motor diesel	230
Ilustración 196, sistema fijo de supresión de incendio a base de agente espumante.....	233
Ilustración 197, mecanismos extintores de un sistema fijo de espuma	234
Ilustración 198, proceso de generación de espuma	235
Ilustración 199, sistema de espuma de baja expansión	236
Ilustración 200, sistema de espuma de mediana expansión	236
Ilustración 201, sistema de espumas de alta expansión	237
Ilustración 202, esquema de componentes de un sistema de supresión por espumas ..	238
Ilustración 203, sistema de control de mezcla con aire comprimido.....	238
Ilustración 204, boquilla de doble acción, espuma-sprinkler, para sistema de espuma de baja expansión.....	239

Ilustración 205, boquilla de bronce para sistemas de mediana expansión	239
Ilustración 206, boquilla de latón, para sistemas de alta expansión	239
Ilustración 207, Lanza de descarga de espuma contra incendios	240
Ilustración 208, cámara de espuma para instalación en tubería colgante	240
Ilustración 209, vertedera de espuma para instalación horizontal en pared	240
Ilustración 210, descarga de espuma de mediana expansión producida por un sistema de lanzas	241
Ilustración 211, equipos tipo Ventury instalados en techo	241
Ilustración 212, descarga producida por un sistema de generadores de espuma de alta expansión, nótese como referencia del volumen el tamaño de la escala humana	242
Ilustración 213, monitor de accionamiento manual	243
Ilustración 214, monitor en plataforma elevada	243
Ilustración 215, monitor servoasistido con mando remoto	243
Ilustración 216, tubería cedula 40 de acero, con costura por soldadura electrica	244
Ilustración 217, altura mínima a alcanzar según normativa NFPA en ambientes inundados de espuma contra incendios	247
Ilustración 218, boca de incendio equipada con sistema de espuma	248
Ilustración 219, sistema generador portátil de espuma	248
Ilustración 220, lanza portátil generadora de espuma	248
Ilustración 221, estructura de Lewis para una molécula de dióxido de carbono	249
Ilustración 222, Hielo Seco, apariencia solida del dióxido de carbono a -78°C	249
Ilustración 223, apariencia de una nube de descarga de CO ₂ , efecto visual por descompresión del gas y cambio de temperatura al contacto con la temperatura ambiente	250
Ilustración 224, sistema de inundación total de CO ₂ en un recinto cerrado	251
Ilustración 225, botellas de alta presión de dióxido de carbono	252
Ilustración 226, sistemas de inundación total y de aplicación local de CO ₂	253
Ilustración 227, Tubería Flexible de acero inoxidable	254
Ilustración 228, mangueras flexibles de acero inoxidable de alta presión para conducción de CO ₂	254
Ilustración 229, Brida tipo 600 para unión de tuberías, con empaquetadura de alta presión	254
Ilustración 230, Junta de dilatación de alta presión, hecha en hule	255
Ilustración 231, Junta de dilatación de alta presión hecha de resorte de acero	256
Ilustración 232, tablas de valores para concentración de diseño, obtenidas de NRF-102 Pemex	259
Ilustración 233, grafica de Tasa de pérdida de CO ₂ . Fuente: NFPA 12	259
Ilustración 234, descarga de gas a través de boquillas	262
Ilustración 235, boquillas para sistema de dióxido de carbono	262
Ilustración 236, funcionamiento de un sistema de bromotrifluorometano	271
Ilustración 237, banco de almacenamiento de bromotrifluorometano	272
Ilustración 238, tuberías de acero sin costuras	273
Ilustración 239, soportes de tubería con boquilla	276
Ilustración 240, soportes de tubería con codos	276

Ilustración 241, uniones con flanges y con brida soldada a la tubería.....	277
Ilustración 242, uniones por medio de fittings	277
Ilustración 243, sección de unión biselada para piezas de tubería.....	279
Ilustración 244, uniones de tubería con anillo de soporte.....	279
Ilustración 245, secuencia de apretado de tornillos en uniones con brida	280
Ilustración 246, mangueras flexibles en acero inoxidable	280
Ilustración 247, Junta de dilatación de alta presión, hecha en hule.....	281
Ilustración 248, Junta de dilatación de alta presión hecha de resorte de acero.....	281
Ilustración 249, Juntas de expansión con resorte	282
Ilustración 250, compensador de expansión con junta de goma	282
Ilustración 251, compensador de expansión con junta de caucho.....	282
Ilustración 252, compensador de contracción de acero inoxidable.....	282
Ilustración 253, cuando no es posible una descarga local debido a fugas, se debe de proteger todos los ambientes circundantes para garantizar la protección y la concentración de diseño requerida	283
Ilustración 254, concentración de diseño en porcentaje por volumen	284
Ilustración 255, concentración de inertización.....	284
Ilustración 256, Descarga de agente halogenado	286
Ilustración 257, Sistema de Polvo Químico seco por Inundación Total	289
Ilustración 258, Sistema de Polvo Químico seco de aplicación local.....	290
Ilustración 259, Contenedor de Polvo Químico Seco con agente presurizador	291
Ilustración 260, Contenedores de Polvo Químico Seco presurizado con nitrógeno.....	291
Ilustración 261, Contenedores para Polvo Químico Seco sin agente presurizador	291
Ilustración 262, Pruebas de aplicación de llama a revestimiento ignifugante aplicado a estructuras de acero	305
Ilustración 263, protección pasiva por recubrimiento intumescente.....	306
Ilustración 264, protección pasiva por pintura intumescente	306
Ilustración 265, sistema de protección pasiva	307
Ilustración 266, compartimentación en sector de incendio	307
Ilustración 267, recubrimiento con mortero proyectado.....	311
Ilustración 268, encajuelado con paneles y fibra de vidrio	311
Ilustración 269, protección con pintura intumescente.....	311
Ilustración 270, obtención de un perfil celular a partir de perfiles sólidos	312
Ilustración 271, perfil celular terminado.....	312
Ilustración 272, secciones estructurales huecas HSS, cuadradas y circulares.....	313
Ilustración 273, embreisado para carga por viento y carga sísmica	313
Ilustración 274, fachada de paneles a prueba de fuego	314
Ilustración 275, viga tipo WF como apoyo de losacero	315
Ilustración 276, aplicación de recubrimiento intumescente a columna WF de acero estructural.....	317
Ilustración 277, aplicación de llama directa sobre superficie con tratamiento intumescente	318
Ilustración 278, Perfil de acero WF con recubrimiento intumescente	318

Ilustración 279, prueba de aplicación de llama directa a una superficie tratada con revestimiento intumescente	319
Ilustración 280, Estructura de acero de perfil WF con recubrimiento de pintura intumescente	319
Ilustración 281, Viga celular de perfil WF con recubrimiento intumescente	320
Ilustración 282, armaduras para soporte de cubiertas, protegidas con aplicación de recubrimiento intumescente	320
Ilustración 284, ensayo de fuego a perfil WF con recubrimiento intumescente bajo parametros normados por ASTM E119.....	323
Ilustración 283, aplicación de carga de fuego a viga perfil WF, durante 118 minutos, condiciones de fuego y de carga constantes	323
Ilustración 285, estructura de acero después de incendio, fue tratada con recubrimiento intumescente, el incendio consumió todo el material combustible, y la estructura aun es recuperable.....	324
Ilustración 286, estructura de acero después de un incendio, sin recubrimiento intumescente a prueba de fuego, presenta fallas tipo diafragma	324
Ilustración 287, aplicación de mortero proyectado a columna de acero estructural.....	325
Ilustración 288, Bentonita, en estado mineral	325
Ilustración 289, Vermiculita, en estado mineral	326
Ilustración 290, Perlita, en estado mineral	326
Ilustración 291, Piedra Pómez	326
Ilustración 292, factor de masividad.....	327
Ilustración 293, determinación del factor de masividad para perfiles WF	327
Ilustración 294, determinación del factor de masividad para perfiles HSS	328
Ilustración 295, recubrimiento de mortero proyectado en estructuras de acero usadas como columnas.....	330
Ilustración 296, armaduras de estructura de techo recubierta por mortero proyectado ..	330
Ilustración 297, Revestimiento de acero estructural con paneles a prueba de fuego	331
Ilustración 298, Revestimiento de viga de acero estructural con paneles a prueba de fuego	331
Ilustración 299, factor de masividad para perfiles Wide Flange.....	332
Ilustración 300, Factor de masividad para perfiles Angulares	333
Ilustración 301, factor de masividad para perfiles T	333
Ilustración 302, Factor de Masividad para secciones HSS, sección cuadrada o rectangular	333
Ilustración 303, Factor de masividad para perfiles C.....	333
Ilustración 304, Factor de masividad para secciones HSS, sección circular	334
Ilustración 305, protección con paneles en estructuras de acero	334
Ilustración 306, Encajuelado de Protección aplicado a estructuras de perfiles de acero estructural.....	336
Ilustración 307, aislamiento de ductos de conducción.....	337
Ilustración 308, aislamiento de ductos de instalaciones	337
Ilustración 309, ductos de transmisión de datos y líneas de suministro eléctrico, aislados contra incendio	338

Ilustración 310, levantado de mampostería como blindaje contra fuego para acero estructural.....	340
Ilustración 311, columna de concreto sin protección expuesta a los efectos de fuego, obsérvese el descascaramiento y la exposición de armaduras.....	349
Ilustración 312, armado de losa tradicional	350
Ilustración 313, losa nervurada en 2 sentidos	351
Ilustración 314, panel prefabricado tipo Spancrete	351
Ilustración 315, perfiles nervurados o con peraltes especiales.....	351
Ilustración 316, parámetros para calcular espesor equivalente.....	353
Ilustración 317, piezas de ladrillo refractario de arcilla	354
Ilustración 318, pieza de mampostería de block de concreto.....	354
Ilustración 319, muro de mampostería de arcilla con carga de fuego a una cara	355
Ilustración 320, construcción de columnas de mampostería de arcilla.....	358
Ilustración 321, aislamiento de muro de mampostería con uso de paneles de yeso, tomado de NCMA, thermal catalog of concrete masonry assamblies.....	360
Ilustración 322, aislamiento de muro de mampostería con uso de paneles de yeso, y tejido de fibra de vidrio, tomado de NCMA, thermal catalog of concrete masonry assamblies.....	361
Ilustración 323, configuración 3, aislamiento de muro de mampostería con capa de fibra aislante, y levantado de Fachaleta de arcilla, tomado de NCMA, thermal catalog of concrete masonry assamblies.....	362
Ilustración 324, configuración de blindaje de muro en ambas caras, por medio de paneles de yeso y asilamiento de fibra de vidrio, y levantado de Fachaleta de arcilla, tomado de NCMA, thermal catalog of concrete masonry assamblies	363
Ilustración 325, Ejemplo de compartimentación en sectores de incendio.....	370
Ilustración 326, colchón de humo de combustión en incendio.....	371
Ilustración 327, las rutas de evacuación deben de ser seguras y estar disponibles en todo momento, libres de contaminación y blindadas al efecto del fuego y de las altas temperaturas	372
Ilustración 328, Aplicación de diferente tipo de barreras de compartimentación para diferentes sectores de incendios en un proyecto de arquitectura.....	373
Ilustración 329, ensayo de compartimentación de sector de incendio, llevado a cabo en Inglaterra, por Building Research Establishment.....	374
Ilustración 330, ensayo de resistencia en escala real, realizado en Inglaterra, muestra los efectos del fuego en un espacio compartimentado, en esta fotografía se observa la cara no expuesta al fuego. Imagen obtenida de The integrity of compartmentation in buildings during a fire, Building Research Establishment, edicion 2005.	376
Ilustración 331, ensayo de resistencia en escala real, realizado en Inglaterra, muestra los efectos del fuego en un espacio compartimentado, en esta fotografía se observa la cara expuesta al efecto del fuego. El muro fue hecho a base de paneles de yeso, el ensayo fue efectuado en muros diseñados para 30 minutos de tiempo de exposición. Imagen obtenida de The integrity of compartmentation in buildings during a fire, Building Research Establishment, edicion 2005.	377

Ilustración 332, ensayo de compartimentación, obsérvese el daño a las estructuras de acero que no fueron tratadas con recubrimiento ignífugo, cuando atraviesan un sector de incendio compartimentado. Imagen obtenida de The integrity of compartmentation in buildings during a fire, Building Research Establishment, edición 2005.	378
Ilustración 333, sectorización interior por medio de muros acristalados con vidrio resistente al fuego	379
Ilustración 334, uso de cortinas de compartimentación y confinamiento en sectores de incendio	379
Ilustración 335, compartimentación por medio de uso de cortinas cortafuegos.....	380
Ilustración 336, sello de penetración para tubería horizontal, a través de muro de mampostería.....	382
Ilustración 337, sello de penetración para ductos, de cableado o ventilación a través de muros compartimentadores	382
Ilustración 338, sello de penetración para tubería vertical, a través de losa de concreto	382
Ilustración 339, sellos de penetración para tuberías y cableados, en compartimiento de incendios	383
Ilustración 340, blindaje de penetración y aislamiento de instalaciones por medio de sacos intumescentes.....	383
Ilustración 341, sello de penetración para bandejas de cables, tuberías y ductos, por medio de mortero ignífugo	384
Ilustración 342, sellos de penetración para ductos y tuberías de instalaciones eléctricas	384
Ilustración 343, sello de penetración en suelos, hecho con mortero ignífugo	385
Ilustración 344, sello de penetración por medio de espuma intumescente, con recubrimiento de mortero ignífugo, en muro compartimentador	385
Ilustración 345, sello de penetración en junta de dilatación, en unión de muro de mampostería y tabicaciones de paneles de yeso.....	386
Ilustración 346, sello de penetración en junta de dilatación entre muros de mampostería	386
Ilustración 347, humo de combustión por incendio	391
Ilustración 348, Incendios en diferentes edificios, demuestran la cantidad de humo que puede producirse, fotografías 8.A y 8.B muestran tomas las torres First Bank en Estados Unidos, donde la combustión ardió con altas temperaturas consumiendo 4 plantas, genero humo de forma moderada, no existió colapso. Fotografía 8.C, muestra al edificio Parque Central, en Caracas, Venezuela, donde el incendio ardió durante 24 horas, consumiendo 17 pisos, no humo colapso. Fotografía 8.C derecha, incendio en la Torre Windsor, en España, ardió durante 20 horas, consumiendo 10 de los 20 niveles, generando grandes cantidades de humo, no existió colapso estructural. Fotografía obtenida de Escuadrones Por La Verdad, Panel Informativo	392
Ilustración 349, altura de la capa de humo generada en un recinto incendiado	394
Ilustración 350, La cantidad y la densidad óptica del humo en un incendio puede anular totalmente la capacidad visual al momento de la evacuación	395
Ilustración 351, el humo contenido y estancado en pasillos hace imposible la visión de las rutas de evacuación.....	395

Ilustración 352, grafica de Visibilidad (expresada en metros) Vs densidad Óptica (por cada metro de recorrido con humo) Grafica obtenida de Revista MAPFRE SEGURIDAD, ejemplar No. 71, Tercer trimestre 1998.....	397
Ilustración 353, Incendio ocurrido en Edificio Tikal Futura, ciudad de Guatemala, obsérvese la densidad de humo generado, fotografías obtenidas de Prensa Libre, tomadas por Álvaro Interiano	400
Ilustración 354, Incendio en edificio Tikal Futura, Ciudad de Guatemala, obsérvese la densidad de humo generado, Fotografías obtenidas de Prensa Libre, Tomadas por Álvaro Interiano.....	401
Ilustración 355. Incendio en Edificio Tikal Futura, Ciudad de Guatemala, obsérvese la cantidad de humo que sale por la Ventanería rota, Fotografías obtenidas de Prensa Libre, Tomadas por Álvaro Interiano.....	402
Ilustración 356, comportamiento del humo en interiores, en ausencia de aire, sin ventilación ni aporte por medios naturales o mecánicos	403
Ilustración 357, cuando inicia el proceso de combustión, el humo caliente, al ser más liviano que el aire, se eleva formando la zona de humo caliente, que generalmente se localiza cercana al techo, el aire menos contaminado y frio, es más denso y permanece en la parte de abajo.	404
Ilustración 358, el humo que se mezcla con el aire frio por efecto del arrastre, se vuelve más denso, y conforme se enfría empieza a descender, mezclándose y eliminando la capa de aire frio que se encuentra en la parte inferior.	405
Ilustración 359, ilustración de efecto chimenea, la succión transporta el humo hacia todos los lugares que se encuentren abiertos o donde existan filtraciones.....	405
Ilustración 360, esquema de funcionamiento de un sistema de extracción de ventilación forzada, por inyección de aire y ductos extractores	407
Ilustración 361, Equipo de extracción por aspiración de humo.....	408
Ilustración 362, sistema de aspiración para humos, con unidad central de aspiración por medio de ductos	409
Ilustración 363, cortina resistente al fuego, durante ensayo normado de resistencia ASTM E119.....	410
Ilustración 364, disposición de cortinas para humo, en diferentes posiciones y configuraciones espaciales, las cortinas deben de ser especificadas y posicionadas de tal manera que las rutas de evacuación queden expeditas y libres de cualquier filtración de humo. Las cortinas pueden ser posicionadas de forma horizontal, vertical e incluso inclinada, para ofrecer un adecuado aislamiento y confinamiento del humo y gases tóxicos. Las aplicaciones pueden ser en circulaciones verticales mecánicas, (puertas de ascensores y módulos de gradas eléctricas) en circulaciones horizontales peatonales o vehiculares, y en perforaciones en cielos tales como dobles alturas.....	411
Ilustración 365, cortina de posición vertical, para puertas	412
Ilustración 366, cortina de posición horizontal para dobles alturas.....	412
Ilustración 367, cortina poligonal, para circulaciones verticales	412
Ilustración 368, cortinas o mamparas para confinamiento y extracción de humo	413
Ilustración 369, cortinas o mamparas para extracción de humo, con sistema de inyección inferior de aire.....	413

Ilustración 370, funcionamiento de una cortina o mampara para extracción de humo, se puede confinar o direccionar el flujo del humo hacia los puntos donde se localicen los medios de extracción, mecánicos o naturales.....	414
Ilustración 371, cortina fija para confinamiento y extracción cenital de humo de incendio, la localización de esta permite la formación del colchón de humo de tal manera que pueda ser extraído por lucernarios o por extractores o exutorios.....	414
Ilustración 372, comportamiento del humo en atrios o vestíbulos de múltiples alturas...	415
Ilustración 373, extracción de humo desde un atrio por elementos laterales.....	416
Ilustración 374, ejemplo de uso de extracción mecánica cenital por medio de ventiladores	416
Ilustración 375, Los elementos arquitectónicos como balcones o muros bajos, pueden ayudar a direccionar un flujo de humo hacia el punto de extracción	417
Ilustración 376, La alternativa de la succión natural es otra manera de lograr extracción de humos en atrios y vestíbulos de alturas múltiples, por la diferencia de temperaturas se logra un efecto de arrastre que puede extraer el humo de manera natural sin procesos mecánicos	417
Ilustración 377, Palacio de la justicia, Valencia, España	418
Ilustración 378, equipo ventilador con ducto de extracción	419
Ilustración 379, extractor cenital y ventilador horizontal	419
Ilustración 380, ventilador de extracción de humo en ductos	420
Ilustración 381, equipo de extracción electromecánico para azoteas y para sótanos.....	420
Ilustración 382, Accesorios de extracción natural de humos y gases, para colocación en lucernarios y cubiertas	421
Ilustración 383, ruta de escape horizontal protegida contra fuego, en un solo sentido, la línea punteada representa la distancia normada reglamentaria que debe asumirse en condiciones de evacuación, imagen obtenida de Fire Safety Building Regulations, Technical Guidance Document, pagina 26.....	429
Ilustración 384, ruta de escape horizontal protegida contra fuego, en un mas de un sentido, la línea punteada representa la distancia normada reglamentaria que debe asumirse en condiciones de evacuación, imagen obtenida de Fire Safety Building Regulations, Technical Guidance Document, pagina 26	429
Ilustración 385, ruta de escape horizontal en ambientes expuestos al aire libre, en 1 sentido, la línea punteada representa la distancia normada reglamentaria que debe asumirse en condiciones de evacuación, imagen obtenida de Fire Safety Building Regulations, Technical Guidance Document, pagina 26.....	430
Ilustración 386 ruta de escape horizontal en sectores compartimentados, en 2 sentidos, la línea punteada representa la distancia normada reglamentaria que debe asumirse en condiciones de evacuación, imagen obtenida de Fire Safety Building Regulations, Technical Guidance Document, pagina 26.....	430
Ilustración 387, evacuación de ambientes en mezzanines, cuando existan dobles alturas dentro de recintos en proyectos de arquitectura, imagen obtenida de Building Code Class C1, Fire Safety, Department of Building and Housing, Pagina 10	431
Ilustración 388, Disposición de pasamanos en gradas con anchos superiores a 2 metros.	435

Ilustración 389, protección contra fuego que debe de ser dotada a los módulos de gradas y a sus alrededores, en un radio efectivo de 1.80 metros	436
Ilustración 390, separación de rutas de escape provenientes de pisos sobre nivel de suelo, y de sótanos bajo nivel de suelo, las salidas aunque confluyan en un área común, son totalmente separadas, aisladas e independientes unas de otras.....	436
Ilustración 391, Esquema de funcionamiento de ruta de evacuación segura, proveniente de niveles superiores y de sótanos, hacia una salida exterior.....	437
Ilustración 392, Modulo de gradas de emergencia exteriores	439
Ilustración 393, modulo de gradas de emergencia exterior, con puertas de salida no alineadas	439
Ilustración 394, de acuerdo a reglamentos, las gradas de emergencia exteriores nunca deben pasar cerca de ventanas, y cuando lo hagan, estas deben de ser resistentes al fuego. En la ilustración de la derecha, se puede observar un incendio que inutiliza las gradas de emergencia que pasan enfrente de aberturas no protegidas adecuadamente, e imposibilita la acción de los cuerpos de socorro para utilizarlas de manera segura.	440
Ilustración 395, cuando el metal falla por calentamiento, las gradas exteriores dejan de ser una ruta segura, y exponen al usuario a riesgos de caídas potencialmente fatales. La imagen acá mostrada, es una fotografía de un incendio ocurrido en 1975, en la ciudad de Boston, Estados Unidos, fue tomada por el fotógrafo Stanley Forman, y publicada por el diario Boston Herald. La caída, fue de más de 15 metros de altura, uno de los usuarios que se ven en caída libre murió a consecuencia del golpe contra el suelo. De acuerdo a algunos códigos europeos, la máxima altura de evacuación para este tipo de gradas es de 6 metros, debiéndose evitar el paso de las mismas frente a ventanas no protegidas. Fotografía obtenida de sitio www.sentadofrentealmundo.com	440
Ilustración 396, las rutas de escape horizontal, deberán de estar aisladas y compartimentadas, de tal manera que sean seguras en todo momento, evitando perforaciones innecesarias, y proporcionando las medidas de seguridad mínimas mencionadas	450
Ilustración 397, para pasillos que comunican habitaciones, las medidas de seguridad serán las mismas que para rutas protegidas.....	451
Ilustración 398, señales estandarizadas de evacuación.....	452
Ilustración 399, Aplicación de señalización fotoluminiscente a ruta de escape	453
Ilustración 400, aplicación de señalización fotoluminiscente a rutas de escape.....	453
Ilustración 401, espaciamiento entre lámparas de emergencia.....	454
Ilustración 402, espaciamiento entre lámparas comunes, usadas como iluminación de emergencia.....	454
Ilustración 403, espaciamiento entre combinación de lámparas, de emergencia y de uso común.....	455
Ilustración 404, Prueba de iluminación de emergencia en corredor de edificio habitacional, Frankfurt, Alemania, obsérvese la distancia entre elementos de iluminación.....	455
Ilustración 405, comportamiento de las llamas en un modulo de gradas no confinado por puertas, imagen obtenida de BD 2569, Fire Performance of Escape Stairs, Inglaterra, octubre 2009.....	458

Ilustración 406, comportamiento de llamas en un modulo de gradas no confinado por puertas, imagen obtenida de BD 2569, Fire Performance of Escape Stairs, Inglaterra, octubre 2009.....	459
Ilustración 407, el uso de puertas resistentes al fuego, garantiza que los módulos de gradas no se convertirán en puntos vulnerables de propagación de humo y gases.....	459
Ilustración 408, las puertas a prueba de fuego son elementos que han sido ensayados bajo diferentes normativas para garantizar su resistencia al fuego, su capacidad portante, su integridad y su estanqueidad ante humo.....	460
Ilustración 409, señalización fotoluminiscente de recorrido de gradas.....	461
Ilustración 410, iluminación por leds para contrahuellas.....	462
Ilustración 411, Colocación de lámparas focales en gradas de emergencia.....	462
Ilustración 412 iluminación empotrable para contrahuellas en grada de emergencia.....	462
Ilustración 413, diagrama de funcionamiento de un sistema de presurización de gradas de emergencia.....	463
Ilustración 414, el flujo de aire inyectado, mantiene la presión dentro del modulo de gradas, evitando del ingreso de humos o de gases tóxicos.....	464
Ilustración 415, esquema de funcionamiento de un sistema presurizador.....	465
Ilustración 416, sistema de presurización por medio de bypass, imagen obtenida de NFPA 92.A versión en ingles.....	466
Ilustración 417, Sistema de presurización con ventilación al exterior, imagen obtenida de NFPA 92.A, versión en ingles.....	467
Ilustración 418, Sistema de presurización de aire por medio de ventilador cenital, imagen obtenida de NFPA 92.A, versión en ingles.....	468
Ilustración 419, Sistema de presurización de aire por inyección superior, imagen obtenida de NFPA 92.A, versión en ingles.....	469
Ilustración 420, sistema de presurización de aire por inyección múltiple, imagen obtenida de NFPA 92.A, versión en Ingles.....	470
Ilustración 421, sistema de presurización de aire por inyección múltiple con ventilador superior, imagen obtenida de NFPA 92.A, versión en ingles.....	471
Ilustración 422, causas mas probables de incendios.....	482
Ilustración 423, Edificaciones donde comúnmente ocurren los incendios.....	482
Ilustración 424, áreas donde por lo regular ocurre la ignición del fuego. Ilustración obtenida de Design for Fire Safety, Departamento de Estado, Estados Unidos de Norteamérica, edición 2009, pagina 5.....	484
Ilustración 425, Lista de chequeo de factores para establecer el riesgo de incendio, tomada de Manual de método MESERI, Red Proteger, Argentina.....	497

INTRODUCCION

Cuando se diseña y planifica un proyecto de arquitectura, hacemos uso de los conocimientos adquiridos en cuanto a diseño arquitectónico. Procuramos que el diseño resultante de este proceso sea un espacio ergonómico, confortable, funcional y formalmente agradable. La arquitectura interactúa con el ser humano, y se convierte en el entorno en el que diariamente vivimos y desarrollamos todas nuestras actividades.

El arquitecto, como la mente detrás del diseño y la planificación de los proyectos, debe de contar con los conocimientos necesarios de disciplinas complementarias, para poder dotar a los diseños de las instalaciones mínimas que les permitan ser seguras frente a la posibilidad de encontrarse en un escenario de riesgo.

Los incendios son una amenaza latente para cualquier proyecto arquitectónico. Estos pueden ser causados por descuido humano, negligencia, accidente, o una combinación de todos, pero el resultado será la destrucción parcial o total de un objeto arquitectónico.

Los sistemas de protección contra incendios forman parte integral de los proyectos de arquitectura en muchos países del mundo, y Guatemala no debe de ser la excepción. Lastimosamente, no existe en nuestro país una legislación vigente al respecto, y es entonces donde como profesionales, nos compete el proponer las soluciones a problemas que han demostrado recientemente que son comunes en nuestro país.

Para poder proteger contra incendios los proyectos de arquitectura, necesitamos comprender que es y cómo actúa el fuego, cómo reaccionan los materiales de construcción frente al fuego y las altas temperaturas y posteriormente, la manera correcta de diseñar un sistema contra incendios de acuerdo a las necesidades de cada proyecto, que es único e irrepetible.

El material contenido a continuación es una compilación e investigación de reglamentos y códigos de validez internacional, que por medio de ensayos han demostrado ser eficaces en el combate de incendios en proyectos de arquitectura, y que son los conocimientos MINIMOS en cuanto al tema, que todos y cada uno de nosotros como los profesionales encargados de la toma de decisiones en cuanto a diseño, debemos de tener, y dominar.

Conforme mayor sea nuestro conocimiento respecto de los temas complementarios a la arquitectura, el diseño arquitectónico resultante será de altas prestaciones, y de elevados estándares de seguridad frente a los desastres, en este caso particular, los incendios.

MARCO CONCEPTUAL

ANTECEDENTES

Los sistemas de protección contra incendios tienen un papel vital para preservar con seguridad la vida del usuario de los recintos que el arquitecto planifica.

La necesidad de plantear un sistema eficiente de protección contra incendios ha hecho que el estudiante en determinado momento para satisfacer el requerimiento de la implementación de los sistemas mencionados recurra a la investigación bibliográfica, a información patrocinada por algunas empresas, a visitas de campo a los cuerpos de bomberos, o a la descarga de información de fuentes en internet, para satisfacer el contenido de presentación como tal.

Cabe resaltar que también alguna de la información con la que hasta el momento se cuenta, ha sido a través del legado que el propio estudiante ha hecho con sus compañeros, es decir, los trabajos realizados de un semestre, pasan a manos de nuevos estudiantes que a su vez los presentan con la variación respectiva, para adaptar los mismos sistemas a un proyecto que responde a necesidades diferentes.

El resultado de esto, ha sido que vez tras vez, se proponen los mismos sistemas, sin criterio de selección ni parámetros de cálculo que determinen exactamente el posicionamiento ideal de los mismos, y sin tener en cuenta que si bien los sistemas de protección contra incendios persiguen el fin común de extinguir o suprimir los efectos del fuego, las necesidades de extinción, la naturaleza de los agentes de peligro de ignición, y los patrones de configuración de diseño arquitectónico hacen que cada sistema deba ser planificado, diseñado y calculado específicamente para cada caso particular, a la medida del proyecto arquitectónico.

Se han desarrollado algunos proyectos de investigación al respecto, pero obedecen a otras disciplinas (ingeniería civil) o tratan el tema de una manera bastante general dando a conocer solamente los sistemas de protección activa, sin ahondar más en el campo de conocimiento que la protección contra incendios necesita. De este material que ha sido redactado, al momento de revisarlo se pudo constatar que se pasa por alto el tema de la protección pasiva, así como el hecho de que es necesario que el arquitecto conozca la respuesta de los distintos materiales de construcción a los eventos térmicos que involucren llamas o temperatura.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el desarrollo de los cursos del nivel de formación profesional específica, dentro del pensum de la carrera de Licenciatura en Arquitectura en la Facultad de Arquitectura de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se solicita al estudiante proponer una serie de instalaciones especiales que están dedicadas a cubrir ciertos aspectos de seguridad dentro del proyecto que se esté diseñando.

Las instalaciones contra incendios forman parte de las instalaciones especiales que son solicitadas que el estudiante planifique y proponga, para complementar los estándares de seguridad y hacer de los diseños arquitectónicos, instalaciones eficientes incluso al ser exigidas en eventos como los incendios.

Es precisamente en la fase de diseño y planificación en la que el estudiante debe de proponer sistemas de esta naturaleza, cuando se hace necesario consultar bibliografías detalladas, dedicadas específicamente al diseño y cálculo de este tipo de instalaciones, protección contra incendios, y es también, cuando se hace evidente la carencia de un documento desarrollado específicamente para este efecto, y que sea una fuente de consulta para arquitectos, que aborde los criterios de selección, el diseño de las instalaciones y sistemas de protección pasiva e incluso el diseño arquitectónico, así como el cálculo de cada uno de los sistemas propuestos.

Se hace necesario entonces conocer los sistemas disponibles en nuestro país, la tecnología que existe y está al alcance del arquitecto para hacer las instalaciones más seguras frente a la ocurrencia de incendio, no solo de sistemas activos, sino de los sistemas pasivos e integrales que actualmente no se utilizan o no se plantean porque no se conocen, y hacen que las herramientas del arquitecto egresado de la USAC sean limitadas en cuanto al tema de protección contra incendios, teniendo como efecto que las instalaciones propuestas, en muchas ocasiones no respondan de la mejor manera al diseño arquitectónico para el cual se están planteando, o el diseño arquitectónico por las premisas utilizadas, sea demasiado rígido y este desprovisto de la organización espacial y de la flexibilidad para el uso de tecnologías más eficientes para tratar con los incendios.

Lo mismo sucede en cuanto a la selección de los materiales de construcción, porque la protección contra incendios no inicia en la propuesta de sistemas de extinción, sino en las fases más tempranas de la planificación y el diseño arquitectónico, y la selección de materiales adecuados juega un papel muy importante en relación a que los sistemas de evacuación y de protección funcionen al momento de ser exigidos durante la ocurrencia de los incendios.

JUSTIFICACION

Los sistemas de protección contra incendios, tienen como finalidad proteger y preservar la vida del usuario frente a condiciones de conflagración en cualquier caso y de acuerdo a las necesidades a las que la configuración arquitectónica del espacio lo requiera.

Debido a ello, son sistemas integrales que deben de estar diseñados y calculados tomando en cuenta todos los factores y todas las posibles variantes que cada caso en específico requiera. Y dada su naturaleza de preservar la vida del usuario, deben de cumplir su función de la manera más efectiva, eficaz, rápida y resistente.

Un sistema de seguridad y protección contra incendios no está compuesto solamente por los extintores portátiles, rociadores, salidas de emergencia o puertas contra fuego. Garantizar la vida de quienes utilizan las instalaciones ante la eventualidad de un incendio, es un proceso que debe de empezar desde la fase de planificación, e ir de la mano con el proceso de diseño arquitectónico, asociado y supeditado a las premisas ordenadoras del diseño, y avanzar desde ahí a la configuración espacial, a la modulación estructural, a la elección de materiales, y luego a los sistemas externos de extinción o supresión. No basta solo con medidas de combate como rociadores o armarios contra incendios, que son las más extensamente utilizadas y conocidas en nuestro país.

Se debe de pensar en la evacuación como el método más seguro para conservar la vida del usuario fuera de peligro, pero también debe de preverse la condición en la cual se debe de preservar la vida del usuario que por diversos motivos queda confinado dentro de las instalaciones, y para lograrlo, la estabilidad estructural juega un papel crucial en permitir el tiempo necesario de evacuación, resistiendo la carga viva del usuario que desea salir, la carga muerta por peso propio del edificio y adicional a esto, la carga por fuego a la cual está siendo expuesta.

Existen hasta el momento tecnologías que han sido estudiadas, sometidas a ensayos y a pruebas, que tienen como finalidad proteger la vida del usuario, ante la eventualidad del incendio, como prioridad, para de esta manera hacer las instalaciones seguras.

Pero debemos recordar que también la función del sistema de protección contra incendios es preservar también la vida de la estructura, mitigar al máximo el impacto de las elevadas temperaturas sobre los materiales, y de esta manera, permitir su posterior rehabilitación y puesta en servicio, y que no solamente la demolición sea la solución para los edificios que han sido expuestos a los efectos de un incendio.

Como arquitectos, el acero estructural y el concreto son 2 de los materiales más extensamente utilizados. Los sistemas estructurales usados en la actualidad, fundidos in situ o prefabricados, están compuestos principalmente de concreto y acero. Partiendo de esto, es necesario que como diseñadores, sepamos las características, el comportamiento, los estados límites y los puntos de falla de los materiales con los cuales se construirán los diseños que planifiquemos. Es responsabilidad del arquitecto la decisión de los materiales a utilizar en el proyecto, y es precisamente en la elección de los materiales donde se debe de hacer uso del conocimiento del comportamiento y las

características de los materiales en condiciones de incendio, como medida integral que ayude desde la fase del diseño arquitectónico, previniendo la falla y el colapso de la estructura, y permitiendo de esta manera la evacuación de todas las personas, y la rehabilitación de las construcciones.

Por no contarse al momento con una documentación que sea el resultado del análisis y la investigación de las tecnologías disponibles en este momento en nuestro país, se recurre muchas veces a aplicar repetidamente sistemas que aunque funcionan, pueden no ser los más recomendables, pueden estar sobre diseñados, pueden estar mal calculados, y en el peor de los casos, pueden estar mal aplicados, haciendo de esta manera que las instalaciones contra incendios sean ineficientes, caras, y hasta ocasionar más daño que protección al momento de desarrollar su función cuando esta sea requerida.

Por lo anteriormente expuesto, se propone el estudio del tema CRITERIOS, DISEÑO Y CALCULO DE SISTEMAS DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS, como un análisis de las tipologías de incendios a los que puede estar sometida una construcción, los efectos del incendio en las construcciones, el comportamiento de los materiales frente a estados de alta demanda de resistencia por carga térmica y de fuego, las normativas vigentes de prevención y protección contra incendios a nivel nacional e internacional, criterios de diseño arquitectónico, diseño estructural y tipología de materiales, que den cómo resultado una herramienta que permita al estudiante de arquitectura tener los parámetros necesarios para poder elegir en base a criterios fundamentados en el diseño arquitectónico, los mejores sistemas de protección activa o pasiva contra incendios para cada caso específico, desde la fase creativa, apoyado en argumentos que respondan a las necesidades de cada caso que se deba de analizar.

OBJETIVOS

GENERALES:

- Conocer y comprender las fases del desarrollo de un incendio, así como los efectos en las estructuras y los materiales.
- Realizar investigación, estudios y trabajo de campo que den como resultado el conocimiento necesario a cerca de los sistemas de protección activa y pasiva contra incendios aplicables en nuestro país, a los proyectos de arquitectura

ESPECIFICOS

- Elaborar un manual que sirva como referencia a los estudiantes de la facultad de arquitectura y proporcione parámetros para el diseño y calculo efectivo de sistemas de protección contra incendios, activos y pasivos, así como criterios para la correcta selección de cada uno de los distintos tipos de sistemas existentes
- Realizar un documento bibliográfico que se constituya como un aporte estudiantil y fuente de información a la comunidad de la facultad de arquitectura de la universidad de san Carlos de Guatemala, así como a las distintas universidades privadas existentes en el país
- Fomentar en el diseñador el interés por la protección contra incendios como una manera de salvar vidas, reducir costos a largo plazo, y prolongar la vida útil de los proyectos de arquitectura.
- Darle al estudiante una herramienta que le permita conocer la manera en la cual los materiales de construcción se comportan en condiciones de incendios, y permitirle tener un criterio más amplio y más acertado al momento de la elección de materiales.
- Proporcionar premisas y criterios que ayuden al estudiante a diseñar un partido arquitectónico que contenga configuraciones espaciales y decisiones de diseño que tomen en cuenta la eventualidad de un incendio, teniendo la seguridad del usuario como principal finalidad

DELIMITACION DEL TEMA

El tema a tratar en este estudio, son los sistemas activos y pasivos contra incendios, así como los criterios de selección y parámetros de cálculo para cada uno de los sistemas propuestos e investigados, aplicados a proyectos de arquitectura abordando los siguientes subtemas para su mejor comprensión y aplicación:

- **Incendios, definiciones y clasificación**
- **Naturaleza, causas y efectos de los incendios**
- **Comportamiento de materiales frente a condiciones de alta temperatura (Acero estructural, Concreto Armado, Polímeros, Madera, Mampostería)**
- **Normativa vigente de prevención y protección contra incendios en Guatemala**
- **Criterios, Diseño y Calculo de Sistemas de protección, detección, extinción y supresión de incendios**
- **Criterios de Diseño arquitectónico y estructural, así como tipología de materiales como medidas de prevención y protección contra incendios**

Se efectuara un estudio que comprende tanto investigación de campo como investigación bibliográfica para profundizar en la protección contra incendios y dar como resultado un documento que contenga los temas anteriormente descritos, como conocimiento teórico, así como los respectivos parámetros de calculo que sean de utilidad al estudiante de la facultad de arquitectura.

El estudio se llevara a cabo con el aval del área de Construcción y Tecnología de la Facultad de Arquitectura de la universidad de San Carlos de Guatemala.

DEMANDA A ATENDER

El producto de este estudio, que será un documento de consulta y referencia, y que tendrá como finalidad atender a la población de la facultad de arquitectura de la universidad de san Carlos de Guatemala, y más específicamente a los estudiantes ubicados entre el 7mo y 10mo semestres de la carrera de licenciatura en arquitectura.

MARCO METODOLOGICO

RECOPIACION Y REVISION DE INFORMACION

Debido a la naturaleza del documento que se plantea, será necesario hacer trabajo de investigación bibliográfica, trabajo de campo en entrevistas con instituciones dedicadas a la respuesta de emergencia ante incendios, así como la compilación de diferentes normativas aplicadas a la prevención de incendios en el diseño arquitectónico a nivel mundial.

ENSAYO DE MATERIALES

A efectos de tener parámetros lo más exactos posible, para proponer parámetros de cálculo que tengan fundamento científico, se efectuaran ensayos asistidos sobre algunos materiales y se revisaran bibliografías especializadas en los temas.

SOLICITUD DE INFORMACION

Debido al carácter específico de algunos de los temas que se trataran, se solicitara el apoyo de empresas del sector privado dedicadas a la manufactura de algunos materiales, como referencia para este estudio a realizar.

SELECCIÓN DE PROYECTO DE APLICACIÓN

Dado que el resultado de este estudio no será un objeto arquitectónico, sino un manual de criterios para la correcta selección de sistemas contra incendios, así como de parámetros de cálculo para el mismo, se seleccionara un proyecto que servirá como objeto de aplicación de cada uno de los parámetros y criterios, así como premisas de diseño que en la redacción de este manual puedan desarrollarse.

MARCO LEGAL

En nuestro país, actualmente no existe ninguna legislación o decreto ley que norme el diseño o la aplicación de los sistemas de protección contra incendios, sean estos de carácter activo o de carácter pasivo, es decir, manuales específicos que funcionen como reglamentos para la dotación de los sistemas de prevención, combate y supresión de incendios en los edificios de uso público o privado.

Aun así, dentro de la legislación vigente a nivel nacional, existen artículos de ley que serán mencionados por aludir de alguna manera al uso de determinados sistemas, aunque a pesar de su carácter de ley, no obligan de manera específica a velar por el correcto diseño regulado de las instalaciones para prevención de incendios.

A. LEY DE PROTECCION Y MEJORAMIENTO DEL MEDIO AMBIENTE, Decreto No. 68-86, Guatemala, 1986.

Artículo No. 8: Para todo tipo de proyecto, obra, industria o cualquier actividad que por sus características puede producir deterioro a los recursos naturales renovables y no renovables al ambiente, o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje, y a los recursos culturales del patrimonio nacional será necesario previamente a su desarrollo un estudio de impacto ambiental, realizado por técnicos en la materia y aprobado por la comisión del medio ambiente, el funcionario que omitiere el estudio de impacto ambiental de conformidad con este artículo será responsable personalmente por incumplimiento de deberes, así como el particular que omitiere cumplir con dicho estudio de impacto ambiental será sancionado con una multa de Q. 5,000.00 a Q. 100,000.00

B. CONVENIO CONSTITUTIVO DEL CENTRO DE COORDINACION PARA LA PREVENCION DE DESASTRES NATURALES EN AMERICA CENTRAL (CEPREDENAC), Guatemala, Octubre de 1,999 Artículo 3, objetivos:¹ el objetivo general de CEPREDENAC es contribuir a la reducción de la vulnerabilidad y el impacto de desastres, como parte integral del proceso de transformación y desarrollo sostenible de la región, en el marco del Sistema de la Integración Centroamericana (SICA) a través de la promoción, apoyo y desarrollo de las políticas y medidas de prevención, mitigación, preparación y gestión de emergencias, los objetivos principales son: "... c) contribuir al aumento del nivel de seguridad en asentamientos humanos, infraestructura e inversiones concretas, para desarrollo social y económico. d) promover la inclusión de variables de prevención, preparación y mitigación de riesgos en los planes, programas y proyectos de desarrollo en el ámbito local, nacional y regional, h) El fortalecimiento de las instituciones y actividades destinadas a la preparación y respuesta de las emergencias... j) fortalecer los sistemas nacionales de

¹ Cepredenac, sitio web www.sica.int/cepredenac

prevención, mitigación y atención de desastres, mediante la promoción y coordinación en el ámbito nacional y regional, de acciones multisectoriales, interdisciplinarias e interinstitucionales y de capacitación para el diseño y la ejecución de políticas y reglamentos de gestión de riesgos a nivel local, nacional y regional.”

- C. **CONVENIO CONSTITUTIVO DEL CENTRO DE COORDINACION PARA LA PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES EN AMERICA CENTRAL (CEPRENAC), Guatemala, Octubre de 1,999 Artículo 3, Funciones:** “Para el cumplimiento de sus objetivos, el centro promoverá y coordinará: a) la cooperación internacional y el intercambio interdisciplinario de información, experiencia y asesoría técnica y científica en material de prevención, mitigación y atención de desastres, canalizando ayuda técnica que se logre obtener según las necesidades de cada país”
- D. **REGLAMENTO MUNICIPAL DE CONSTRUCCION, CAPITULO IV, EDIFICACIONES INSEGURAS O PELIGROSAS. Artículo 86:** para los efectos de el reglamento, se consideran edificaciones peligrosas o inseguras todas aquellas que adolezcan de cualquiera de los siguientes vicios: a) que no sean estructuralmente estables para los fines a los que se las destinan b) que constituyan riesgo de incendio, c) que no tengan salidas adecuadas y en número suficiente, d) que constituyan un riesgo para la salud, e) que por falta de mantenimiento hayan caído en desuso, abandono o desmantelamiento f) cualquier otra razón que las haga peligrosas para la seguridad de las vidas y bienes, así como para la salud y tranquilidad de sus ocupantes o de terceras personas.

MARCO TEORICO

La reducción de muertes en un incendio y del impacto de los daños causados necesita un enfoque global en cuanto a la seguridad frente al fuego.

En la mayoría de los edificios hay que estar preparados para el posible inicio de un incendio y para evitar sus efectos, principalmente sobre las vidas, como sobre los medios de vida y sobre los medios de vida. El objetivo es asegurar que los edificios y las estructuras sean capaces de proteger tanto a personas como a los bienes de los peligros.


A pesar de que el objetivo primordial de la protección contra incendios es el de garantizar la vida del usuario en condiciones de emergencia, también es necesario proteger contra incendios por otras razones, tales como la supervivencia de la actividad económica, el almacenamiento de datos, la protección del medio ambiente y el mantenimiento de la infraestructura en si por su propio valor.

Las medidas de prevención contra incendios deben de responder a tres objetivos básicos:

- Protección de las personas para conservar la vida y la salud
- Protección de la propiedad para conservar las mercancías y otras pertenencias, tanto en viviendas como en comercios en las que se haya iniciado un incendio, así como en las propiedades próximas. A ello debe de añadirse que las estructuras de edificación sufran el menor daño posible
- Defensa del medio ambiente para reducir al mínimo los efectos adversos sobre el mismo provocados por el humo y los gases tóxicos así como por el agua contaminada empleada para apagar los incendios.²

Compete al profesional de la arquitectura el que los diseños propuestos cumplan con estos 3 objetivos básicos, y debido a ello, es necesario que se esté familiarizado con las causas y los efectos que generan la ignición, que es el principio de una combustión descontrolada que se convertirá en un incendio.

² National Fire Protection Association, NFPA



**CAPITULO 1
DEFINICION DE FUEGO Y
PATOLOGIA DE UN INCENDIO**

Capítulo 1, DEFINICION DEL FUEGO Y PATOLOGIA DE UN INCENDIO

SE DEFINE A UN INCENDIO COMO " LA COMBUSTION DESCONTROLADA Y EN GRANDES PROPORCIONES, QUE DESTRUYE TODO AQUELLO QUE NO ESTA DESTINADO A QUEMARSE".

PARA QUE UN INCENDIO PUEDA DESARROLLARSE, ES NECESARIO QUE CUENTE CON LAS SIGUIENTES CONDICIONES:

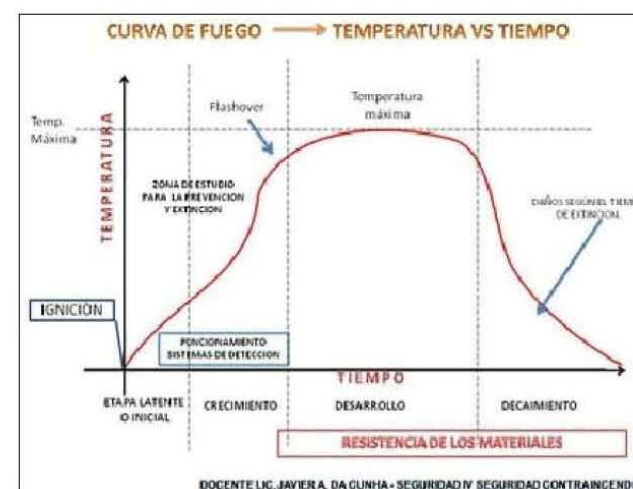
- FUENTE DE OXIGENO
- FUENTE DE COMBUSTIBLE
- FUENTE DE CALOR O DE IGNICION

LOS INCENDIOS, PARA SU DESARROLLO, ES NECESARIO QUE CUENTEN CON LAS 3 FUENTES ANTERIORMENTE CITADAS, Y CADA UNA DE ELLAS, EN LA CANTIDAD NECESARIA Y EXACTA PARA QUE SE PRODUZCA EL EFECTO DE COMBUSTION. ESTE EFECTO DE COMBUSTION DESCONTROLADA, ES EL TEMA DE ESTUDIO DE ESTE CAPITULO, PARA COMPRENDER LAS CONDICIONES EN LAS QUE EL FUEGO INICIA, EN LAS QUE EL FUEGO CRECE, EN LAS QUE EL FUEGO SE CONSERVA, Y COMO VA DECLINANDO HASTA SU EXTINCION POR MEDIO DE SISTEMAS O DE CUERPOS DE EMERGENCIA, O HASTA QUE SE AGOTA UNA DE LAS 3 FUENTES NECESARIAS PARA QUE SE DE EL PROCESO DE COMBUSTION Y EL COMBUSTIBLE SEA CONSUMIDO.

EN EL PROCESO DE COMBUSTION TAMBIEN TIENEN LUGAR CONDICIONES RESTRINGIDAS ESPECIFICAS, DENTRO DE LAS CUALES EL INCENDIO PUEDE OCURRIR O NO OCURRIR, AUNQUE SE CUENTE CON LAS 3 FUENTES NECESARIAS PARA LA COMBUSTION, A ESTAS CONDICIONES SE LES CONOCE COMO LIMITES DE INFLAMABILIDAD, LOS CUALES ESTAN DEFINIDOS COMO :

- LIMITE DE INFLAMABILIDAD INFERIOR (LII)
- PUNTO DE MEZCLA IDEAL
- LIMITE DE INFLAMABILIDAD SUPERIOR (LIS)

ESTOS LIMITES SON RANGOS DENTRO DE LOS CUALES SE ESTABLECEN CONDICIONES DE MEZCLA QUE DEBEN DE CUMPLIRSE PARA QUE EL PROCESO DE COMBUSTION SE MANTENGA CONSTANTE, CUANDO LA MEZCLA SE MANTIENE EN EL PUNTO DE MEZCLA IDEAL, EL FUEGO SE MANTIENE HASTA QUE SE AGOTA EL COMBUSTIBLE, CUANDO LA MEZCLA SE DESPLAZA HACIA CUALQUIERA DE LOS LIMITES DE INFLAMABILIDAD, EL PROCESO DE COMBUSTION SE DETIENE POR DESEQUILIBRIO DE CONDICIONES, LA MEZCLA SE HACE DEMASIADO RICA O DEMASIADO POBRE, Y LA CONDICION DE COMBUSTION NO SE MANTIENE.



EL PERIODO DE DURACION DE UN INCENDIO, PARA FINES DE ESTUDIO SE HA DIVIDIDO EN 4 FASES, LAS CUALES TIENEN UNA DURACION QUE DEPENDERA DIRECTAMENTE DEL TIPO DE COMBUSTIBLE QUE ARDA, Y ESTAS FASES HAN SIDO CATALOGADAS DE LA SIGUIENTE MANERA:

- FASE 1, DESARROLLO INICIAL
- FASE 2, CRECIMIENTO O PROPAGACION
- FASE 3, FUEGO EN PLENO DESARROLLO
- FASE 4, REGRESION.

EXISTEN FENOMENOS EN EL DESARROLLO DE UN INCENDIO QUE SON OBJETO DE ESTUDIO, POR SU COMPORTAMIENTO EN EL PROCESO DE COMBUSTION, LOS QUE SE DESCRIBEN EN ESTE CAPITULO, Y QUE HAN SIDO COMPILADOS DE ESTUDIOS ESPECIFICOS RESPECTO DE ESTOS TEMAS, LOS CUALES SON:

- FLASHOVER
- FLAMEOVER O ROLLOVER
- BACKDRAFT

EL ESTUDIO DE ESTOS FENOMENOS DEL FUEGO, ES UTIL PARA COMPRENDER LA IMPORTANCIA QUE EL HUMO TIENE EN UN INCENDIO, Y COMO ESTE, EN DETERMINADOS RANGOS DE TEMPERATURA Y DE MEZCLAS, PUEDE CONVERTIRSE EN UN AGENTE DE PROPAGACION DEL FUEGO, AUNQUE EL PUNTO DE CHISPA SE ENCUENTRE LEJOS DE LOS COMBUSTIBLES PRESENTES DENTRO DEL RECINTO A PROTEGER,



PATOLOGIA DE UN INCENDIO

Definición de Fuego

Proveniente del latín FOCUS, el fuego se define como el calor y la luz producidos por la combustión. El fuego nace a partir de una reacción química de oxidación, y supone la generación de las llamas y la emanación del vapor de agua y dióxido de carbono. Se asume que el fuego es la manifestación visual del proceso de combustión.



Ilustración 1, llamas de proceso de combustión

Se conoce como punto de ignición a la temperatura en la cual un material se

enciende en llamas. Al comenzar la Reacción De oxidación, el calor que se desprende permite mantener el fuego durante un cierto periodo de tiempo. La cantidad de energía producida por un combustible puede ser expresada mediante su poder calorífico. La temperatura y el color de la llama dependen del tipo de gases desprendidos durante el proceso de combustión.³

Definición de Incendio:

Incendio, del Latín incendium, es el fuego de grandes proporciones que destruye aquello que no está destinado a quemarse. El surgimiento de un incendio implica que la ocurrencia del fuego está fuera de control, con riesgo para los seres vivos, las viviendas, y cualquier estructura.⁴

Es importante distinguir entre el fuego originado con el objetivo de quemar residuos y el fuego descontrolado que produce un incendio. El primero de ellos, es una actividad controlada, que puede ser extinguida a voluntad, o que al momento de acabarse el material combustible, dejara de tener lugar el proceso de oxidación por el cual se consumen los cuerpos en combustión, mientras que el segundo, representa una amenaza para los seres vivos, que pueden morir no solo por quemaduras, sino por la inhalación de gases tóxicos. Otra consecuencia fatal, la cual es el tema principal de este estudio, es el colapso de una construcción sobre las personas.

Combustión:

Se puede resumir que el fuego es básicamente una reacción química en la cual el combustible se combina con el oxígeno.

³ National Fire Protection Association, NFPA, definición de fuego

⁴ Diccionario enciclopédico Océano

Esta reacción (combustión) necesita de energía (calor) para que se inicie el proceso emitiendo de esta manera luz y calor. Para que una combustión tenga lugar, se requieren de los siguientes factores: calor, combustible y oxígeno.

Este proceso se conoce comúnmente como el “triángulo del fuego”. Cuando se dispone de estos tres factores y en las proporciones correctas, la combustión tiene lugar. A partir del momento en que el proceso es capaz de aportarse a sí mismo la suficiente cantidad de energía como para mantener una emisión de gases constante (radicales libres) el proceso se entenderá como auto mantenido, cuando se alcanza este estadio, comúnmente se le conoce como “tetraedro del Fuego”

PRODUCTOS DE LA COMBUSTION

Cuando se produce una reacción química exotérmica, con la suficiente velocidad de reacción para poder identificarla como un incendio, se establecen las condiciones para que los elementos involucrados reaccionen y cambien sus características físicas y químicas, para dar lugar a otro tipo de productos, o elementos diferentes de aquellos que reaccionan inicialmente.

Ninguno de los elementos iniciales se destruye, sino que todos son transformados en mayor o en menor medida. Aun cuando se encuentren dispersos, los productos de la combustión son iguales en peso y volumen a aquellas del combustible de la combustión.

Cuando un material combustible se quema, se generan ciertos productos, y a estos se les conoce como productos de la combustión. Y de forma general, se pueden clasificar dentro de cuatro grupos diferentes, de la siguiente manera:

- Humos
- Llamas
- Calor
- Gases, productos volátiles de la combustión.

Cada uno de estos grupos incide de forma importante tanto en la evolución de la reacción, como en los efectos e interacciones con el foco o punto de ignición, y con igual aporte a la progresión en el espacio del incendio, desde su punto de origen.

Humo

El humo está compuesto por partículas sólidas y líquidas en suspensión en el aire. Con tamaños comprendidos en el orden de 0.005 y 0.01 micras. El humo constituye el primer factor de riesgo en el desarrollo de un incendio, antes de poderse sentir un efecto de incremento en la temperatura, e incluso, puede llegar a ser inflamable y hasta explosivo cuando se dan las condiciones adecuadas.

En términos generales, los humos pueden ser:

- Humos blancos, de la combustión de productos vegetales, forrajes, elementos orgánicos, etc.

- Humos grises, productos de compuestos celulósicos, fibras artificiales, productos aglomerados, etc.
- Humos amarillos, productos de sustancias químicas que contienen azufre, combustibles que contienen ácido clorhídrico, y ácido nítrico
- Humo negro, que puede ser claro y oscuro, siendo el humo negro claro producto de la combustión de cauchos, y el humo negro oscuro, producto de la combustión de fibras acrílicas, derivados de petróleo, etc.

Llama

Es el producto de una reacción química rápida y persistente, que emite calor y luz. Dicha reacción debe sostenerse por sí misma, en el caso de no ser extinguida, hasta que la concentración del combustible o comburente, no desciendan por debajo del valor mínimo indispensable, para mantenerla.

Las llamas ostentan distintos colores o resultan casi invisibles (para el ojo humano), circunstancias éstas, que se hallan directamente relacionadas, con los combustibles y comburentes que reaccionan, como así de la temperatura generada por dicha reacción.

Las llamas son una manifestación visible del fuego y es el resultado del calentamiento hasta la incandescencia de pequeñas partículas de materias o elementos compuestos (especialmente en las combustiones incompletas).

Agentes Pasivos:

Como se menciona anteriormente, existen tres caras para el triángulo del fuego, lo cual requiere que el combustible, el calor y el oxígeno deben de estar presentes para que la combustión ocurra. Sin embargo, existe un factor más que afectara al triángulo, este factor puede denominarse como “Agentes Pasivos”.

Los agentes pasivos o “Pasivos” como comúnmente se les denomina, están presentes en cualquier proceso de combustión y no toman parte en la reacción química de la combustión. Pero el hecho de que absorberán o robaran la energía (calor) afectara sobre el comportamiento del fuego.

Algunos agentes pasivos son:

Gases no inflamables	Dióxido de carbono Vapor de agua
Hollín	Partículas de Carbón
Agua	Temperatura y Humedad
Nitrógeno	Componente del aire que permanece como gas inerte a través de la combustión

calor	Como fuente de energía y alimentación
combustible	Puede encontrarse en uno de los tres estados de la materia, sólido, líquido o gaseoso. Para que ocurra una combustión con llama, un sólido o líquido debe de transformarse a su estado gaseoso.
oxígeno	El combustible se mezcla con el aire y empieza a reaccionar con el oxígeno en el ambiente.

Tabla 1, elementos pasivos de la combustión, tabla de elaboración propia



Ilustración 2 triángulo de fuego, Fuente: NFPA

Gases de Incendio

Cuando se habla de los productos de la combustión (humo) se está refiriendo a los propios gases de incendio generados por el mismo, subproductos de combustión y agentes pasivos presentes, de manera que su composición será:

- Gases no inflamables, principalmente dióxido de carbono y vapor de agua
- Gases inflamables, debidos a la pirolisis y combustión incompleta, incluye el monóxido de carbono
- Aire, fundamentalmente Nitrógeno (79%) y Oxígeno (21%)
- Hollín, partículas de carbono

Inflamabilidad de los gases de Incendio:

El análisis de la inflamabilidad de los gases procedentes de la pirolisis debe de considerarse como el de cualquier otro gas inflamable, sin embargo, existe un factor que diferencia claramente unos de otros, mientras los gases de pirolisis están compuestos por una mezcla de diferentes componentes que son función de los materiales que intervienen en el proceso de las propias condiciones del incendio (cantidad de oxígeno presente, temperatura, etc.) el resto suelen ser gases de composición simple, es decir, de un solo componente.

Limites de Inflamabilidad:

En una mezcla de gases, como las que componen los gases de incendio, existen una serie de moléculas diferentes entre sí sometidas a la acción del calor, este calor, como forma primaria de energía transfiere el movimiento a estas moléculas, además del que poseen por ellas mismas.

En este estado, las moléculas de gas más ligeras se mueven con mayor rapidez que las más pesadas, provocándose choques entre ellas que hacen que la energía interna del gas aumente, tanto por parte de las moléculas ligeras como por parte de las pesadas.

A medida que el calor aumenta, las moléculas incrementan su movimiento aumentando paulatinamente el número de choques entre ellas, y por consiguiente, su nivel energético. El progreso de esta situación, conduce a un estadio en el cual la energía acumulada por el gas es superior a la energía que cohesiona las moléculas, y estas acaban por romperse por efecto de los choques, es decir, se desintegran. Si existe oxígeno suficiente en los alrededores, el combustible activado junto con el oxígeno se inflamarán. El aporte de oxígeno al combustible (oxidación) genera una reacción que desprende calor (exotérmica) gracias a la energía (calor) aportada por el mecanismo antes descrito.

Puede decirse que la inflamabilidad de un gas es una consecuencia mecánica favorecida por una fuente de energía que es el calor, pero pueden existir otras fuentes de origen distinto como pueden ser ondas de choque, o la combinación de ondas de choque y de calor.

Límite inferior de inflamabilidad (LII)

En efecto, la sola disgregación de las moléculas no es suficiente para que la inflamación se produzca, es necesario además que el número de moléculas que se disgregan sea el suficiente para que con el también imprescindible oxígeno del aire, comience la reacción de combustión.

El número mínimo de moléculas de combustible que se precisa para que esta ignición se produzca, constituye la concentración de gas de incendio mínima necesaria para que este se inflame en una reacción de combustión con el oxígeno y al valor de esta concentración con respecto al volumen total de gases en un recinto se le denomina como el Límite Inferior de Inflamabilidad (L.I.I) el cual se mide como porcentaje en volumen.

Limite Superior de Inflamabilidad (LSI)

El efecto contrario sucede cuando en vez de existir el número mínimo de moléculas combustibles dispersas por el aire para dar lugar a la ignición, existe un número mayor de moléculas combustibles, versus una pequeña cantidad de oxígeno, para reaccionar y dar lugar a la ignición.

A esta concentración mayor de gas sobre la cual no es posible que exista la combustión se le denomina Limite Superior de Inflamabilidad.

Mezcla Ideal

Para cada gas o mezcla de gases, existe una cierta concentración que es exactamente la necesaria para que su combinación con el oxígeno produzca una reacción al 100% efectiva o de rendimiento total, en este punto es donde mayor y más notable se hace la intensidad con que se da el efecto de la ignición, y se denomina Punto de Mezcla Ideal.

Es en este punto, en el que la mezcla arde a la perfección, mientras que al hacerlo en los límites, lo hace con cierta dificultad.

Cuando existe un equilibrio entre elementos combustibles y el oxígeno en el ambiente, se denomina mezcla ideal a la cantidad exacta de moléculas combustibles versus moléculas de oxígeno, que permiten que la ignición sea posible y genere un efecto en cadena, dando lugar a la oxidación de todas las moléculas, y de esta manera se produce el fuego en el incendio.

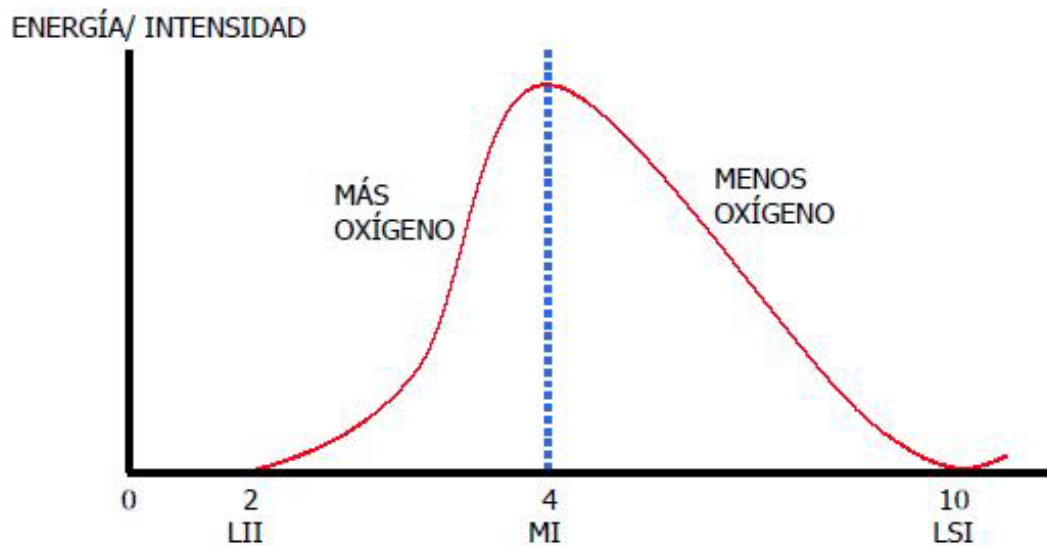


Ilustración 3, punto de mezcla ideal en proceso de combustión

Se puede deducir de esta relación de equilibrio entre agentes combustibles, y oxígeno, que si un compartimento contiene un determinado gas inflamable, con aire, mas una fuente de ignición, este solo puede arder si se da la condición de que el gas o el agente

combustible, se encuentre dentro de su rango de inflamabilidad, es decir, entre el Límite Inferior de Ignición (LII), o el Límite Superior de Ignición (LSI)

Fuentes de Ignición

Las fuentes de ignición juegan un papel importante en el efecto del incendio, ya que dependiendo del tipo de fuente que ocasione el incendio, el efecto del mismo alcanzara una mayor o menor magnitud.

De la misma manera, el tiempo en el que la fuente actúe va a ser determinante de la magnitud del daño o efecto causado. Se conocen 3 tipos de fuentes bien definidas, las cuales son:

- Fuentes abiertas
- Fuentes ocultas
- Fuentes intermitentes

Fuentes de ignición abiertas:

Son aquellas que permanecen constantemente activas en presencia de una fuga de gas o de una mezcla de gases, como puede ser el caso del propio foco del incendio, durante la evolución del mismo, con este tipo de fuentes la ignición siempre se produce en el Límite Inferior de Inflamabilidad.

Fuentes de Ignición Ocultas:

Son aquellas que permaneciendo constantemente activas, no actúan directamente sobre la capa de gases, por lo general este tipo de fuentes retrasara la ignición de la mezcla, y en consecuencia cuando esta se inflama se producirá un efecto mas grande dependiendo del punto del rango de inflamabilidad donde se encuentre en ese momento la concentración de gases.

Fuentes de Ignición Intermitentes:

Son aquellas que se activan de formas esporádicas, como pueden ser la puesta en marcha de aparatos electromecánicos, o de dispositivos eléctricos que se activan de manera súbita, al igual que en el caso de las fuentes ocultas, el tipo de efecto que darán será función de la concentración de gases en el momento en que estas se activen.

Factores influyentes en el rango de inflamabilidad

Fundamentalmente son 2 los factores que influyen directamente en el rango de inflamabilidad:

- Temperatura
- Concentración de oxígeno

Temperatura:

Este efecto es especialmente importante dado que la temperatura afecta tanto al combustible como al comburente, de tal forma que el aumento de esta actúa sobre los 2 factores, el de aporte de energía calorífica al combustible, mediante la cual este se aproxima a los valores correspondientes a la temperatura de inflamación del material y en consecuencia cantidades insignificantes de este pueden resultar inflamables, y la disminución del efecto refrigerante del aire excedente en el recinto

De esta manera cuando la temperatura aumenta el rango de la inflamabilidad se modifica tendiendo a desplazar el valor del Límite Inferior de Inflamabilidad hacia el valor cero en la misma proporción en la que tiende a desplazar el valor del Limite Superior de Inflamabilidad hacia valores más elevados, con lo cual el rango o intervalo de inflamabilidad se amplía.

Se estima que un aumento de temperatura de alrededor de 100° C es capaz de hacer disminuir el Límite de Inflamabilidad Inferior en un 8%, y de elevar el Limite Superior de Inflamabilidad en la misma medida.

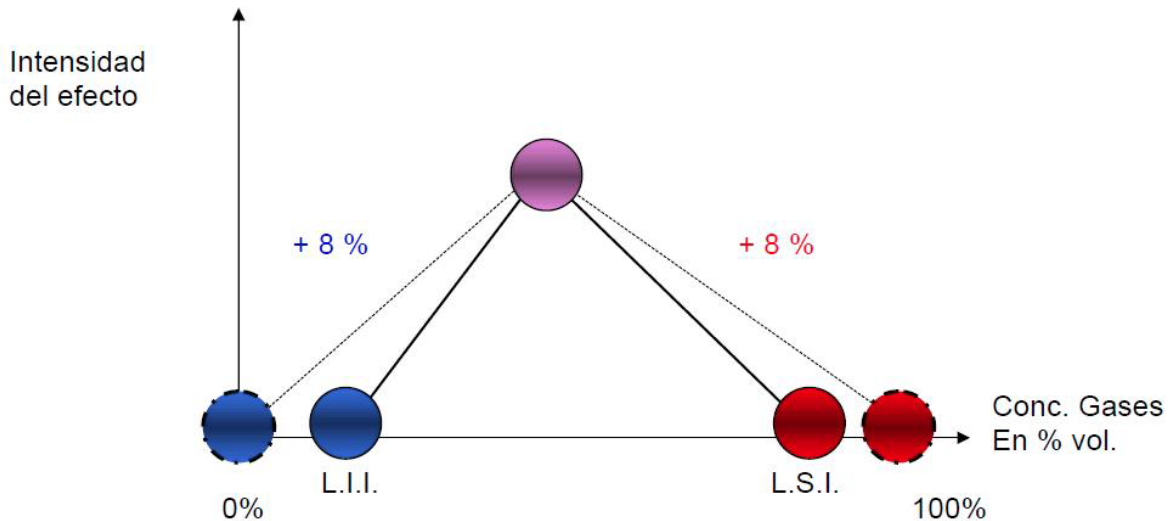


Ilustración 4, Límites de inflamabilidad

Concentración de Oxígeno:

A diferencia de la temperatura, la variación en la concentración de oxígeno afecta los límites de la inflamabilidad en forma distinta, dado que la mezcla ideal es la cantidad de combustible que un volumen concreto de aire puede quemar, si el volumen de oxígeno contenido en el mismo se reduce, la cantidad de combustible que pueda arder será menor, es decir, el valor de la mezcla ideal se reduce.

Este fenómeno afecta de manera distinta a los dos límites, por una parte en el LII la mezcla a penas será combustible, debido principalmente al efecto refrigerante del aire circundante en exceso, si el contenido de oxígeno en el aire es normal o bajo, a penas va a influir en el inicio de la combustión, ya que las concentraciones de oxígeno en las proximidades de este límite están en exceso, todo se limitara a que una cantidad mínima

de oxígeno este presente para que la pequeña cantidad de combustible existente comience a arder.

Por otro lado, desde el punto de vista del LSI, el descenso de la concentración de oxígeno provocará un descenso del valor de la mezcla ideal de forma lineal, es decir, contra menor sea la cantidad de oxígeno disponible, más descenderá el valor de la mezcla ideal, y en consecuencia el descenso del LSI será aún más rápido, de tal forma que cuando la mezcla ideal y el LSI coincidan con el LII no se producirá la inflamación, expresado en otros términos, la saturación o exceso de combustible producido por el incendio cuando existe una carencia de oxígeno, alcanzará antes los valores superiores en el rango, que si la cantidad de oxígeno es la normalmente requerida.

Tipos de propagación del Fuego:

Una vez iniciado el fuego existen tres tipos de propagación del mismo:

- conducción o contacto directo
- Convección
- Radiación.

Conducción o contacto directo

Es la transmisión de calor por medio de un conductor o por contacto directo de la llama con otro material

El calor puede ser conducido de un cuerpo a otro por contacto directo de dos cuerpos o por intermedio de un medio conductor. La cantidad de calor que será transmitida y su rango de transferencia



Ilustración 5, calor por conducción

Dependerán de la conductividad del material a través del cual el calor está pasando. No todos los materiales tienen la misma conductividad de calor. El aluminio, el cobre y el acero son buenos conductores. Los materiales fibrosos, tales como tela y papel son deficientes conductores.

Los líquidos y los gases son deficientes conductores de calor debido al movimiento de sus moléculas. El aire es también un conductor relativamente deficiente. Ciertos materiales sólidos cuando son divididos en fibras y embalados en capas constituyen buenos aislantes debido a que el material en sí mismo es un conductor deficiente y además existen ciertos espacios de aire dentro de las capas.

Convección

Es la transmisión de calor por medio de los humos y gases calientes de la combustión en forma de fluido

La convección es la transferencia de calor debido al movimiento de aire o de líquido.

El aire caliente en una edificación se expandirá y elevará. Por esta razón, el fuego que se propaga por convección, lo hace mayormente en dirección ascendente, aunque las corrientes de aire pueden llevar calor en cualquier dirección. Las corrientes de convección son generalmente la causa del

movimiento del calor de un piso a otro, de un salón a otro y de un área a otra. La propagación del fuego por pasillos, escaleras y ductos de ascensores, entre paredes, y a través de las fachadas son principalmente causadas por la convección de corrientes calientes y esto conlleva mayor influencia en cuanto a la posición de ataque del incendio y ventilación que se ha producido por la radiación y la conducción.

Otra forma de transferencia de calor por convección es por contacto directo de la llama. Cuando una sustancia es calentada hasta el punto donde se generan vapores inflamables, estos vapores pueden entrar en ignición generando una llama. A medida que otros materiales inflamables entran en contacto con vapores encendidos, o llamas, los mismos pueden ser calentados hasta una temperatura donde ellos también entran en ignición.

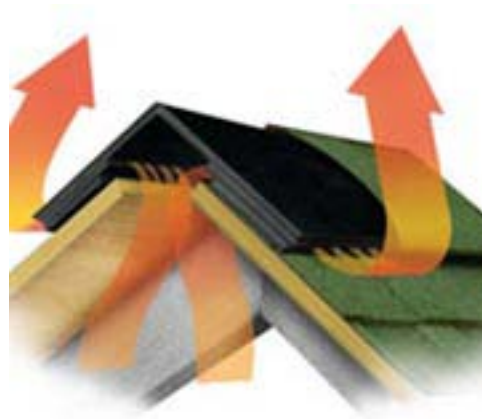


Ilustración 6, Calor por conveccion

Radiación

Es la transmisión de calor por medio de ondas calóricas en forma proporcional en todas direcciones, provocando el recalentamiento de todos los objetos cercanos o estructuras aledañas a la incendiada.

Este fenómeno de transmisión del calor se conoce como *radiación* de las ondas de calor. Las ondas de luz y calor son similares en naturaleza, pero difieren en la longitud del ciclo. Las ondas de calor son más largas que las ondas de luz y son llamadas algunas veces

rayos infrarrojos. El calor de radiación viajara a través del espacio hasta que alcanza un objeto opaco. A medida que el objeto es expuesto al calor por radiación, emitirá calor de radiación desde su superficie. El calor por oxidación es una de Las mayores fuentes de proporción de incendios, y su importancia demanda atención inmediata en aquellos puntos donde la exposición a la radiación resulta severa



Ilustración 7, calor por radiación

Desarrollo de incendios en Espacios Cerrados

Para que un incendio se desarrolle más allá del material primario de ignición, el calor debe de ser transmitido más allá de dicho material hacia fuentes de combustibles adicionales. En la primera etapa de un incendio, el calor aumenta y genera una pluma de gases calientes (columna de humo ascendente o cojín de gases del incendio). Si el incendio transcurre en un espacio abierto, la pluma crece sin ningún impedimento, y se alimenta del aire en la medida que crece. Precisamente porque este aire aportado a la pluma está más frío que los gases del incendio. Esta acción tiene un efecto refrigerante en los gases generados por el incendio. La propagación del incendio en un área abierta se debe en origen a la energía calorífica que se transmite desde la pluma a los combustibles cercanos. La propagación del incendio en exteriores puede aumentar por la acción del viento y la inclinación del terreno que facilita el precalentamiento de los combustibles por exposición.

el desarrollo de incendios en recintos cerrados es mucho más complejo que los declarados en espacios abiertos. El crecimiento de un incendio en interior está habitualmente controlado por la disponibilidad de combustible y de oxígeno. Cuando la cantidad de combustible para ser quemado es limitada, se dice que el incendio está controlado por el combustible, es decir, se dispone de cantidad suficiente de aire por lo que es la calidad de combustible la que limita la velocidad de crecimiento del incendio. Cuando la cantidad disponible de oxígeno es limitada, se dice que el incendio está controlado por ventilación, es decir, en este caso, no existen limitaciones de combustible, pero no se dispone de la suficiente cantidad de oxígeno para que la combustión se mantenga.⁵

Fases de un incendio

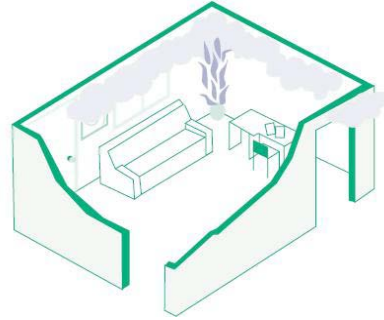


Ilustración 8, fases del desarrollo de un incendio

⁵ Desarrollo y control de condiciones de Incendios, José Miguel Basset Blesa

Fases del desarrollo de un incendio

La mayoría de incendios fortuitos en edificios son sucesos complejos que implican un riesgo para la vida y los bienes materiales, que es variable en tipo y nivel a lo largo del desarrollo del incendio. Se pueden comprender mejor los incendios fortuitos si tenemos en cuenta su proceso a lo largo de varias fases como se ilustra a continuación⁶



Fase 1, desarrollo inicial

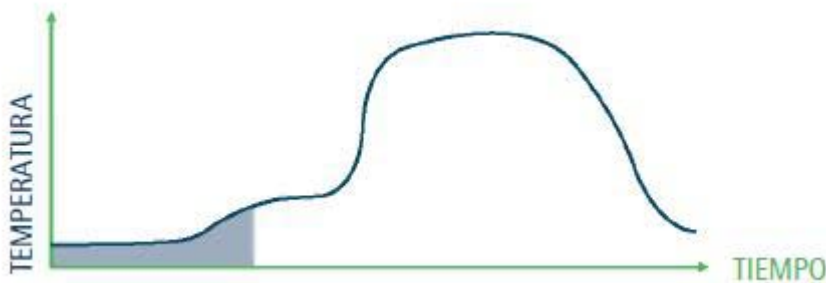


Ilustración 9, fase inicial

Los incendios empiezan cuando un foco de energía calorífica provoca la ignición de un material combustible. El foco de ignición o el material en combustión pueden generar energía suficiente como

para calentar y empezar a descomponer el material combustible próximo. Hay muchos tipos de ignición, pueden ser del tipo de combustión sin llama, como una colilla de cigarrillo, o del tipo de combustión con llama, como una cerilla o el aceite de una sartén sobrecalentada. Las averías eléctricas y las descargas de electricidad estática también son posibles focos de ignición en esta fase de desarrollo.

Fase 2, crecimiento o propagación del incendio

La mayoría de los incendios empiezan a partir de focos de ignición pequeños y el grado

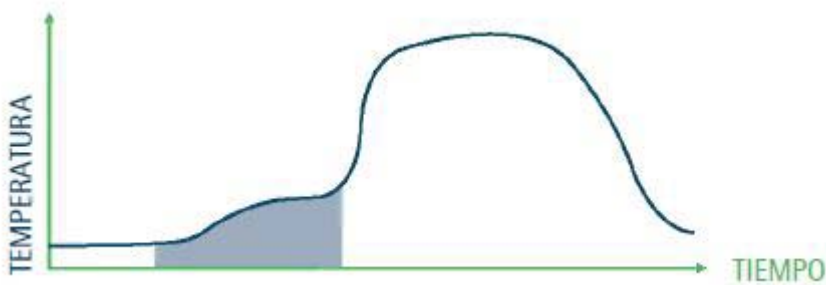
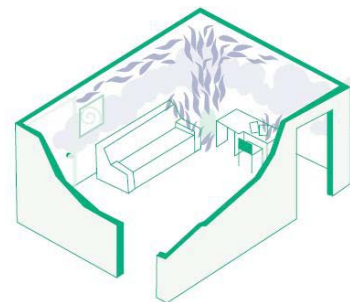


Ilustración 10, fase de crecimiento del fuego



de propagación del mismo dependerá de

la cantidad de energía térmica difundida por el material de ignición y de la difusividad térmica de dicho material, cuando el material próximo se inflama las llamas se propagan y

⁶ La identificación de riesgos y el diseño contra incendios, Faller, George

la rapidez del aumento de temperatura del entorno influirá en la velocidad de desarrollo del incendio.

A medida que aumenta la temperatura del entorno, todos los materiales combustibles que se encuentran en el compartimento del fuego, también denominados carga de fuego o carga unitaria de incendio, pueden calentarse lo suficiente para descomponerse y desprender gases inflamables. El crecimiento del incendio en algunas etapas del mismo puede verse limitado por el suministro de oxígeno y la naturaleza de los gases desprendidos puede modificarse en esta fase 2. Así, por ejemplo, la relación monóxido de carbono / dióxido de carbono puede incrementarse. Si se inflama esta mezcla de gases puede producirse una combustión súbita generalizada y propagación de las llamas por todo el compartimento del fuego puede ser muy rápida. La combustión generalizada es un periodo crítico en el desarrollo de un incendio. Antes de ella es posible combatir el fuego cerca de su origen, y extinguirlo. Después de ella, el fuego del compartimento original queda fuera de control, y se deberá concentrar esfuerzos en la prevención de la propagación del incendio a otras zonas.

Fase 3, Fuego en pleno desarrollo

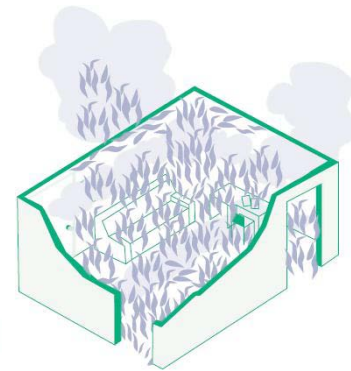
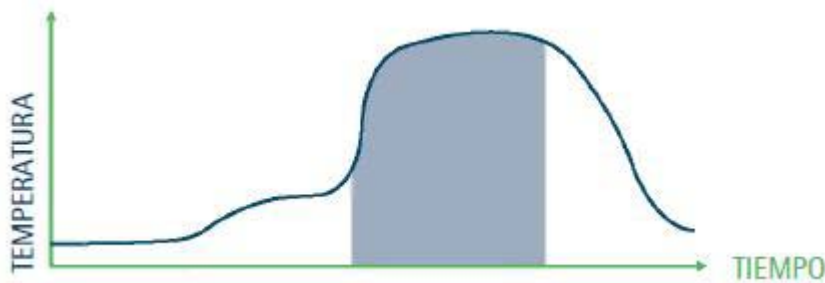


Ilustración 11, Fuego en pleno desarrollo

Cuando todos los combustibles del área

del incendio están ardiendo, se dice que el incendio está en pleno desarrollo. En esta etapa, el fuego se puede propagar a los alrededores, penetrando a través de puertas, paredes, techos y ventanas.

Fase 4, Regresión

La duración del incendio dependerá tanto de la carga del fuego como de las condiciones del edificio, tales como el nivel de ventilación, y la estabilidad estructural del edificio. Cuando los combustibles se hayan consumido, el fuego habrá superado el punto máximo y comenzará a apagarse. Una vez más, el tipo de gases de combustión puede cambiar de naturaleza a medida que varía la relación Combustibles / Aire. En la medida en que el fuego consume el material disponible, la cantidad de calor liberado comienza a disminuir. Una vez el incendio es controlado por el combustible, la cantidad de fuego disminuye y la temperatura dentro del recinto comienza a descender, pero aun así, la cantidad de restos

ardiendo pueden generar temperaturas moderadamente altas en el recinto durante algún tiempo

FACTORES DE INFLUENCIA

Para que un incendio se desarrolle desde la etapa de ignición hasta la de regresión, son varios los factores que afectan su comportamiento, así como su desarrollo en el interior de un recinto cerrado, los cuales se pueden identificar de la siguiente manera:

- Tamaño, número y distribución de las aberturas de ventilación (ventanas, ductos)
- Volumen del ambiente
- Propiedades térmicas de los cerramientos del ambiente
- Altura del techo del ambiente
- Tamaño, composición y localización de las fuentes de combustible que se incendian en primer lugar
- Disponibilidad y ubicación de fuentes de combustible adicionales

Para que un incendio se desarrolle, debe existir el suficiente aporte de aire para mantener la combustión en la etapa de ignición. El tamaño y número de los huecos de ventilación en un compartimento determinan si el incendio se desarrolla o no en el interior de determinada estructura.

El tamaño de los ambientes, su forma y la altura del techo son determinantes en si se formara una capa de gases calientes significativa. La ubicación de una fuente de combustible inicial es también muy importante en el desarrollo de la capa de gases calientes. Las plumas de fuego generadas por fuentes de combustible en el centro de un ambiente toman más cantidad de aire y se enfrían más que aquellas que se encuentran contra las paredes, o en las esquinas de los ambientes.

Para ilustrar la manera en la cual la posición o el lugar donde se desarrolla el foco de llama, cuando este se desarrolla en el centro de un ambiente, el aire entra en todas direcciones del foco, cuando el mismo foco de llamas tiene ocurrencia pegado a una pared de determinado ambiente, solamente el 50 % del volumen de aire disponible en el ambiente es consumido por el mismo, mientras que cuando el foco de llamas esta localizado en una esquina, únicamente el 25% del volumen de aire disponible en el ambiente es aportado.

Foco de llama al centro de un ambiente

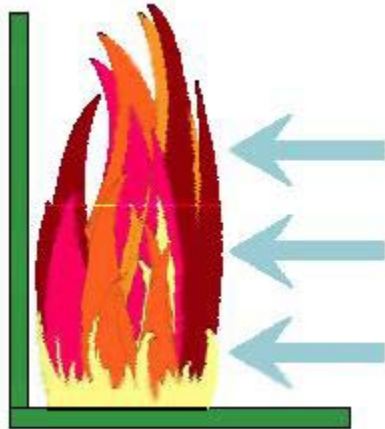
Cuando el foco de llama o punto de ignición está localizado espacialmente al centro de un ambiente, este absorberá aire desde todas las direcciones del mismo, y se alimentará del 100% del



Ilustración 12, fuego con foco de llama al centro de un ambiente

volumen en metros cúbicos del aire disponible. Se propagará de una manera

más rápida que en las otras 2 posibles condiciones.



Foco de llama pegado a un muro del ambiente

Cuando el foco de llama está localizado espacialmente pegado a un muro, este absorberá aire únicamente en 3 direcciones, y se alimentará únicamente del 50% del volumen en metros cúbicos del aire disponible en el ambiente. Se propagará de una manera más lenta que si estuviera localizado al centro del ambiente

Ilustración 13, Fuego con foco de llama pegado a un muro del ambiente

Foco de llama en una esquina del ambiente

Cuando el foco de llama está localizado espacialmente en una esquina del ambiente, este absorberá aire únicamente en 2 direcciones de las 4 posibles, y se alimentará solamente del 25% del volumen de aire en metros cúbicos disponible en el ambiente. Su propagación será más rápida hacia el techo, dependiendo de la altura del mismo, y la configuración de las llamas será más alargada que en las otras 2 posibilidades de ocurrencia de ignición.

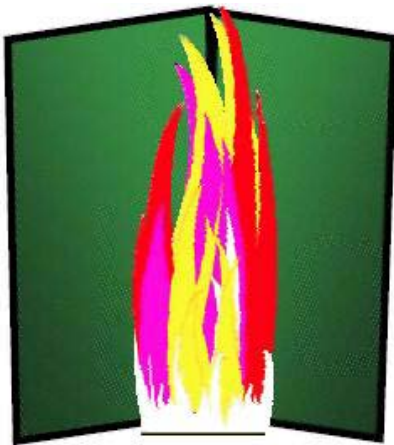


Ilustración 14, Fuego con foco de llama en la esquina de un ambiente

La temperatura que se desarrolla dentro de un ambiente cerrado es el resultado directo de la energía liberada cuando el combustible arde. Dado que la materia y la energía se conservan, cualquier pérdida de masa causada por el incendio, es convertida en energía. En un incendio, la energía resultante se obtiene en forma de luz y calor. La cantidad de energía calorífica liberada en función del tiempo durante el incendio, se denomina *cantidad de calor*

liberado (CCL).

La CCL se mide en Btu's o en Kilovatios (Kw) la cantidad de calor liberado está directamente relacionada con la cantidad de combustible que se ha consumido por unidad de tiempo (efecto térmico) y el calor de combustión (la cantidad de calor que una masa específica de una sustancia emite cuando arde) del combustible que está quemándose.

Una relación final entre el calor generado en un incendio y las fuentes combustibles es la ignición adicional de las fuentes combustibles alejadas del foco de incendio inicial. El calor generado en un recinto incendiado se transmite en el espacio desde la fuente combustible inicial a los otros combustibles mediante las tres formas de transmisión de calor. El incremento de calor en la llama de incendio inicial es aportado por convección. A medida que los gases viajan sobre las superficies de otros combustibles en el recinto, el calor se transfiere a ellos por conducción. La radiación juega un papel importante en la transición de las etapas de crecimiento del incendio a incendio totalmente desarrollado. A medida que los gases calientes forman una capa en el techo, las partículas calientes que componen el humo comienzan a radiar energía a las otras fuentes combustibles en el recinto estas fuentes combustibles son denominadas *objetivos de incendio*. A medida que la energía radiante aumenta, los objetivos de incendio comienzan el proceso de pirolisis y empiezan a generar gases inflamables. Cuando la temperatura en el recinto alcanza la temperatura de ignición de estos gases, el recinto completo se ve envuelto en el incendio, se incendia, y a este efecto es al que se le conoce como Flashover.

De los factores de influencia expuestos cabe destacar el papel fundamental que adoptan en la velocidad con que el incendio se desarrolla en el recinto, las propiedades térmicas de los cerramientos, o lo que es lo mismo, su capacidad de transmitir calor, y la altura del techo del ambiente.

CAPACIDAD DE LAS ESTRUCTURAS PARA TRANSMITIR CALOR

Va a determinar la cantidad de calor que se puede concentrar para contribuir a la velocidad de desarrollo del incendio y la que se va a disipar al ambiente exterior.

Si se supone 2 casos con iguales configuraciones, pero contruidos con materiales diferentes, la primera consecuencia que se observaría desde el punto de vista de la transmisión de calor, es que estas van a adoptar necesariamente valores diferentes, que se denominaran respectivamente QL1 y QL2. El material que compone las 2 configuraciones, va a ser concreto normal una de ellas y concreto aligerado la otra, de esta manera el efecto producido por el desprendimiento de gases de pirolisis procedentes de la estructura queda literalmente igualado para ambas condiciones.

Si se analiza las características de conductividad térmica de los componentes de nuestras 2 estructuras, observaremos que en el concreto aligerado, la cantidad de aire contenido es mayor que en la del concreto normal, este factor va a influir de forma que las pérdidas de calor sean menores en el de concreto ligero, que en el de concreto normal, debido a que en el primero la conductividad térmica es menor que en el segundo, ya que el aire es un mal conductor del calor, y en consecuencia todo el poder calorífico generado por el incendio se utilizara en aumentar la pirolisis de los materiales contenidos en el recinto, mientras que en el de concreto normal, la cantidad de calor destinada al mismo efecto es menor, debido a que se fuga una mayor cantidad de calor al exterior, y por tanto se dice que la temperatura que alcanzara el cerramiento de concreto ligero, será mayor que en la de concreto normal.

Concreto Aligerado (aire incluido)
Huecos de aire

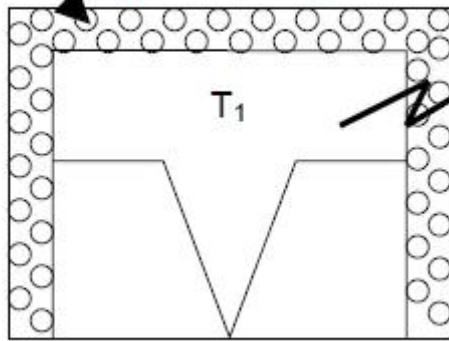


Ilustración 16, transmisión de calor en estructuras muy densas

(Concreto Normal, mayor densidad)

Huecos de aire

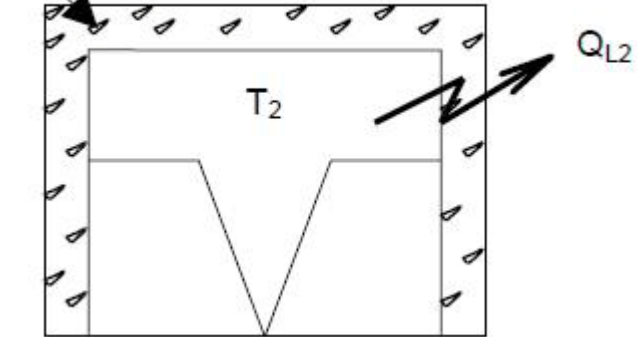


Ilustración 15, transmisión de calor en estructuras poco densas

Temperatura T1 mayor a Temperatura T2

Transmisión de calor QL1 menor a Transmisión de Calor QL2

Este efecto, acabara incidiendo en una mayor acumulación de calor en el recinto construido con concreto ligero, y por lo tanto, una evolución de incendio mas favorable, siendo este un análisis sencillo, lógico y preliminar.

ALTURA DEL TECHO DEL AMBIENTE

Los techos juegan un papel no menos importante en la velocidad de propagación del incendio, de tal forma que los techos bajos van a favorecer una propagación mucho mas rápida que los techos altos, ya que en los primeros, la llama alcanza fácilmente el techo

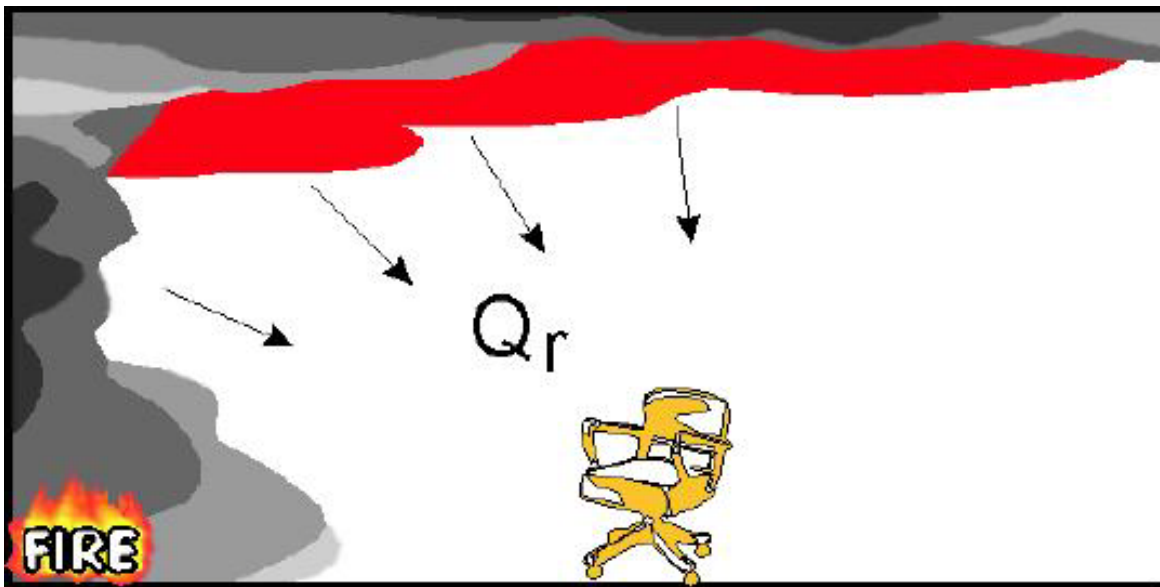


Ilustración 17, Incidencia de la altura de los ambientes en la velocidad de propagación del fuego

propagándose rápidamente a lo largo de él, con lo cual la llama alcanza mayor longitud y

superficie, suministrando de esta forma la energía de radiación necesaria para que los elementos combustibles contenidos en el recinto alcancen en menos tiempo la energía de activación necesaria, y contribuir de esta manera a la rápida evolución del incendio.

Si las llamas no llegan al techo, la cantidad de calor radiado es menor y la evolución del incendio queda condicionada por la proximidad de los materiales al foco de la ignición.

El momento crítico o momento de transición de un incendio llega precisamente cuando las llamas alcanzan el techo, ya que el valor de la energía radiante se aumenta de forma considerable.

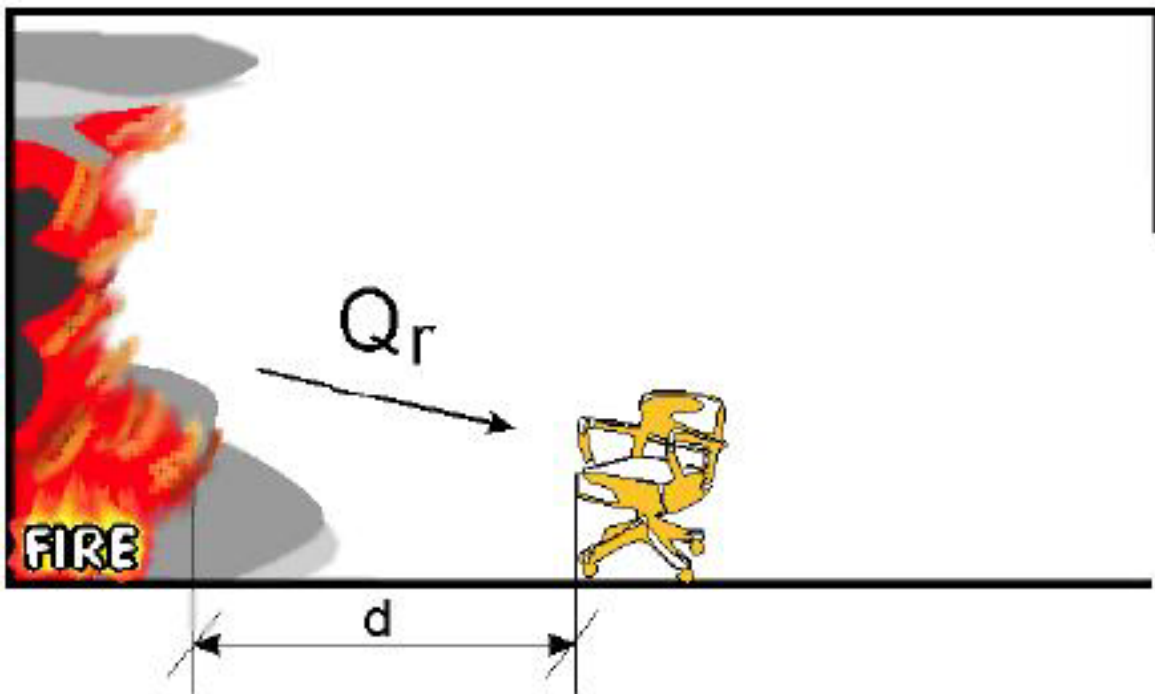


Ilustración 18, incidencia de la distancia en el efecto de pirolisis

TIPOS DE GASES DE INCENDIO

Los gases de incendio intervienen en la composición porcentual de la mezcla en los límites tanto superior como inferior de inflamabilidad (LSI, LII) y su influencia en la posibilidad de inflamación está en función de su temperatura.

Debido a los diferentes materiales que pueden entrar en la combustión, tiene lugar el desprendimiento de diferentes tipos de gases combustibles, y en diferentes cantidades, de tal forma que se puede establecer dos tipos fundamentales de gases de combustión:

- Gases de incendio normales
- Gases de incendio altamente energéticos.

Gases de incendio normales

Los gases de incendio normales son los procedentes de productos más o menos naturales, como pueden ser la madera, tableros aglomerados, algunas especies de papel, etc., la mezcla ideal de estos gases suele estar alrededor de un 70% y generalmente, estos en temperaturas bajas no arden.

Gases Altamente Energéticos

Los gases altamente energéticos proceden de la combustión de productos sintéticos y de alto contenido energético en su composición química, estos son los aceites, pinturas, plásticos, espumas de poliuretano, etc., en estos casos la mezcla ideal suele estar alrededor del 25% y estos gases tienen la particularidad de ser combustibles en frío.

Emisiones de Gases de Incendio

Al momento de la combustión, se generan emisiones de gases de incendio, producto del proceso de oxidación al que son sometidos al ser consumidos, siendo los principales de ellos:

- Monóxido de Carbono
- Dióxido de carbono
- Cianuro de hidrogeno
- Cloruro de carbonilo fosgeno
- Sulfuro de hidrogeno
- Anhídrido sulfuroso
- Amoniac
- Dióxido de nitrógeno
- Acroleína

Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono también denominado óxido de carbono (II), gas carbonoso y anhídrido carbonoso, cuya fórmula química es **CO**, es un gas inodoro, incoloro, inflamable y altamente tóxico. Se produce por la combustión incompleta de sustancias como gas, gasolina, keroseno, carbón, petróleo, tabaco o madera

Dióxido de Carbono

Se desprende en combustibles orgánicos cuando la combustión se realiza en ambientes aireados, y tiene lugar la combustión completa. Es un gas asfixiante. Ignífugo, inodoro e incoloro. Los fuegos que se generan al aire libre en general, presentan mayores concentraciones de Dióxido de carbono, que de monóxido de carbono.

Cianuro de Hidrogeno

Es un resultante de la combustión de sustancias que contienen nitrógeno, como por ejemplos el nylon, plásticos y fibras naturales, caucho y papel, también se desprende de la mezcla del monóxido de carbono y el amoniac. Es producto principalmente de la

combustión de productos plásticos, se caracteriza por ser un gas altamente venenoso y volátil.

Cloruro de Carbonilo Fosgeno

se produce por el contacto de las llamas sobre los productos clorados (PVC), aislamientos de cables de instalaciones eléctricas, materiales refrigerantes como el freón, es altamente tóxico. Es un gas incoloro e insípido, que es perceptible en concentraciones mayores a 6 ppm. Este gas tiene la particularidad de ser absorbido también por la piel, sobre todo cuando se trata de altas concentraciones.

Sulfuro de Hidrogeno

Se produce en la combustión incompleta de las materias orgánicas que contienen azufre (caucho, llantas, lanas, tejidos sintéticos)

Anhídrido Sulfuroso

Se produce por la oxidación completa de las materias orgánicas que contienen azufre, es un gas incoloro, que cuando se combina con la humedad tiene efectos altamente corrosivos, en metales y en tejidos del cuerpo humano.

Amoniaco

Se desprende de la oxidación cuando arden combustibles con altos contenidos de nitrógeno, tales como Lanas, Sedas y la mayoría de polímeros.

Dióxido de Nitrógeno

Aparece en la combustión de nitrato de celulosa, nitrato amónico, también cuando el ácido nítrico entra en contacto con otros materiales, principalmente con la madera y los metales.

Acroleína

Se produce en la combustión de productos petrolíferos (Aceites, Lubricantes, Grasas, Asfaltos) y puede aparecer también en fuegos de materiales comunes tales como la madera y el papel. Es un gas altamente tóxico y mortal en determinadas concentraciones.

PIROLISIS

Se define como *PIROLISIS* a la descomposición de una sustancia por el calor.

Todas las sustancias, si se les aplica calor se descompondrán desde su estado sólido o líquido al estado vapor. Esto es debido al efecto que provoca el calor cuando se aplica sobre las moléculas, las cuales lo absorberán y comenzarán a hacerse más inestables de forma progresiva a medida que se descomponen a través de los diferentes estados de la materia.

Por tanto, si a una sustancia que se encuentre como sólido o como líquido, se le calienta a determinada temperatura, esta emitirá gases. A la temperatura y condiciones de mezcla adecuadas estos gases serán inflamables.

El contenido y estructura (pintura, madera, plásticos, textiles, metales, etc.) de un ambiente producirán gases inflamables debido a la pirolisis, cuando son calentados. La cantidad de material pirolizado aumentará en la medida que la temperatura aumente.

La pirolisis puede tener lugar a partir de los 80 °C. La pirolisis de la madera tiene lugar entre los 150-200°C.

De esta definición, se puede deducir que a determinadas temperaturas, cuando el proceso de pirolisis haga que se desprendan la suficiente cantidad de gases, y se alcance el punto de mezcla ideal, todos los materiales combustibles arderán aun en la ausencia de llama cercana, sufrirán un efecto de auto ignición.

Fenómenos en el comportamiento del incendio

Los incendios dentro de sus fases de evolución, pasan por diferentes estadios que aunque tienen como final común un incendio totalmente desarrollado, son particulares para cada caso específicamente hablando, y algunos tienen lugar en función de la forma o de la configuración del espacio donde suceden. Los fenómenos de incendio que han sido estudiados por diversos autores, y por lo mismo son motivo de estudio de este trabajo, son los siguientes:

- Flashover
- Flameover o Rollover
- backdraft



Ilustración 19, Los fenómenos en el comportamiento del fuego van desde la combustión que arde sin llama, hasta la ignición de gases de combustión

FLASHOVER

Cuando se habla de Flashover, es necesario recordar que de la segunda fase del desarrollo de un incendio se ha especificado que cuando ocurren los requisitos de temperatura ($500-600^{\circ}\text{C}$) y potencia de calor radiante ($12 \text{ a } 20\text{Kw/m}^2$) los gases se auto inflaman.

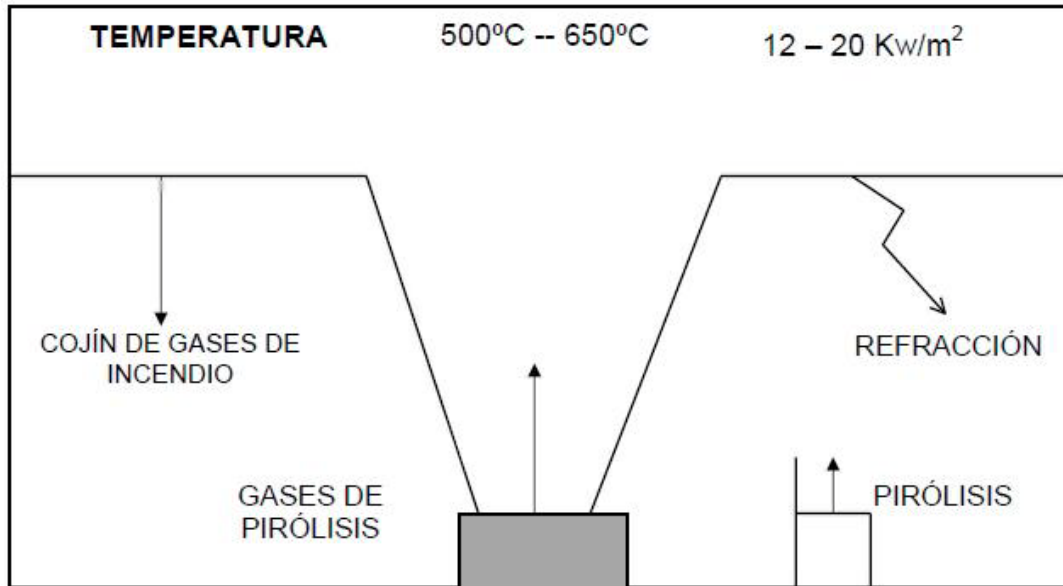


Ilustración 20, condiciones necesarias para el desarrollo del fenómeno Flashover

De acuerdo a las normas estandarizadas ISO, este fenómeno se define de la siguiente manera:

“Transición rápida al estado donde todas las superficies de los materiales contenidos en un ambiente, o un compartimento, se ven involucrados en un incendio de manera súbita”⁷

Al iniciarse el fuego, se desarrolla en las partes bajas del ambiente, recinto o compartimento, debido a la carencia de oxígeno, calentamiento secundario, etc. Este foco inicial da origen a los gases no quemados, los cuales se elevan hacia el techo formando



Ilustración 21, desarrollo de llama inicial en condiciones de Flashover

⁷ Normas ISO, edición 1990

un cojín de gases. Conforme pasa el tiempo, la temperatura y la concentración de gases aumentan de forma que se va generando un cojín de gases de incendio donde el rango de inflamabilidad se ve modificado favoreciéndose una inflamación muy favorable en un punto del LII.



Ilustración 22 desarrollo de capa de gases de combustión

Cuando las llamas llegan a la parte inferior del cojín (de ahí la importancia de la altura de los techos de los ambientes, mientras más bajos sean, antes alcanzan las llamas la cota de incendio) estos gases se inflaman precisamente en ese lugar, incrementándose el efecto de radiación de calor desde el cojín de los gases al resto de los materiales contenidos en el ambiente.



Ilustración 23, condiciones previas al Flashover

Cuando se alcanzan estas condiciones en el recinto de flujo calórico y temperatura descritos, es cuando se produce el fenómeno de Flashover

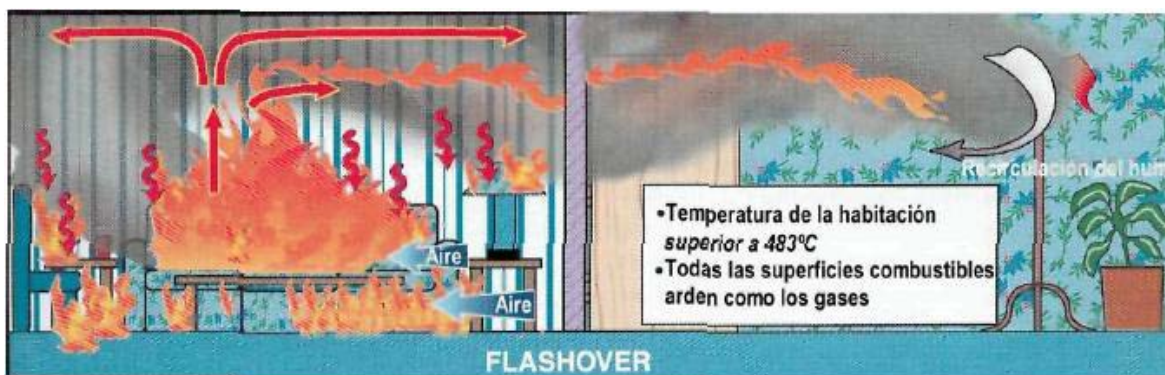


Ilustración 24, Ignición por efecto de Flashover

FLAMEOVER Y ROLLOVER

Los términos Flameover y Rollover describen una condición donde las llamas se mueven en el seno o a través de los gases no incendiados durante la progresión de un incendio,

El Flameover se distingue del Flashover por estos envolvimientos solo de los gases de incendio y no de las superficies de otras fuentes combustibles en el interior del recinto. Esta condición puede ocurrir durante la etapa de crecimiento a medida que la capa de gases calientes se forma en el recinto. Las llamas pueden verse en la capa donde los gases combustibles alcanzan su temperatura de ignición. Esta aportación que agregan las llamas al calor total generado en el recinto no es la condición del Flashover. El Flameover puede observarse también cuando los gases de incendio no quemados escapan del recinto durante las etapas de crecimiento e incendio totalmente desarrollado de un recinto incendiado. A medida que estos gases fluyen desde el recinto incendiado hacia los espacios adyacentes, estos se mezclan con el oxígeno; si se encuentran a su temperatura de ignición, a menudo las llamas en la capa de gases se hacen visibles.

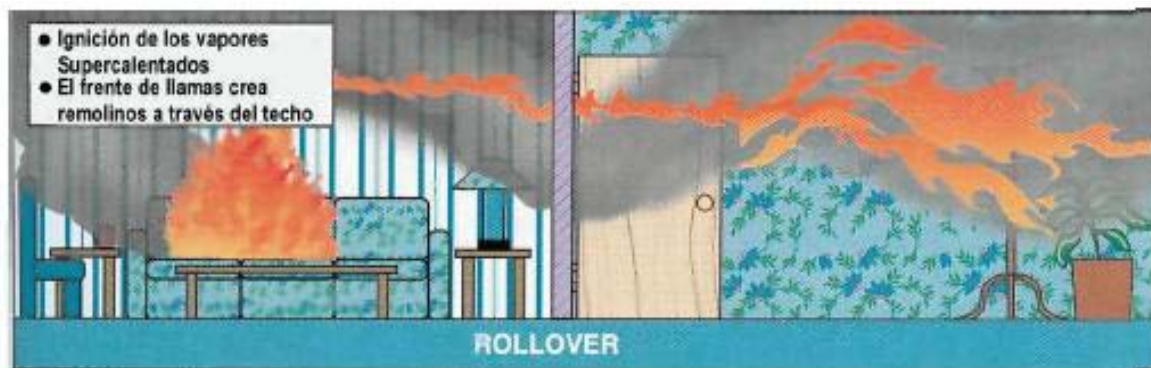


Ilustración 25, efecto Rollover

Backdraft

A medida que un incendio se desarrolla, con el adecuado aporte de aire, el proceso de combustión continuara desarrollándose y creciendo mientras que quede combustible, pero si el suministro de aire en el recinto se restringe, el oxígeno del interior del recinto se consumirá antes de que pueda ser reemplazado.

Esto generara un progresivo descenso de la concentración de oxígeno en los gases de incendio del interior del recinto. Esto causara inicialmente un incremento en la temperatura del recinto. En la medida en que el oxígeno disminuye, provocara que el calor radiado desde la pluma del incendio disminuya y las

llamas comenzaran a apagarse. Sin embargo, esto no resultara en la reducción de los gases inflamables que se están produciendo y distribuyendo a través del



Ilustración 26, llama de fenómeno Backdraft

compartimento hasta que la

temperatura haya disminuido o más exactamente hasta que la inercia térmica pierda potencia. Si se abre una abertura en el compartimento, esto permitirá el aporte de aire fresco, y su mezcla con los gases de incendio, formando así una mezcla explosiva en la zona de interfase, es decir, en la zona donde entran en contacto gases de incendio y aire mientras se den condiciones de flujo laminar entre ambos.

Cuando esto ocurre, y dependiendo del punto en el rango de inflamabilidad donde se produce la inflamación, la onda de presión que se puede generar alcanza valores que pueden llegar a los 10 Kilo pascales, y a este efecto se le denomina Backdraft.

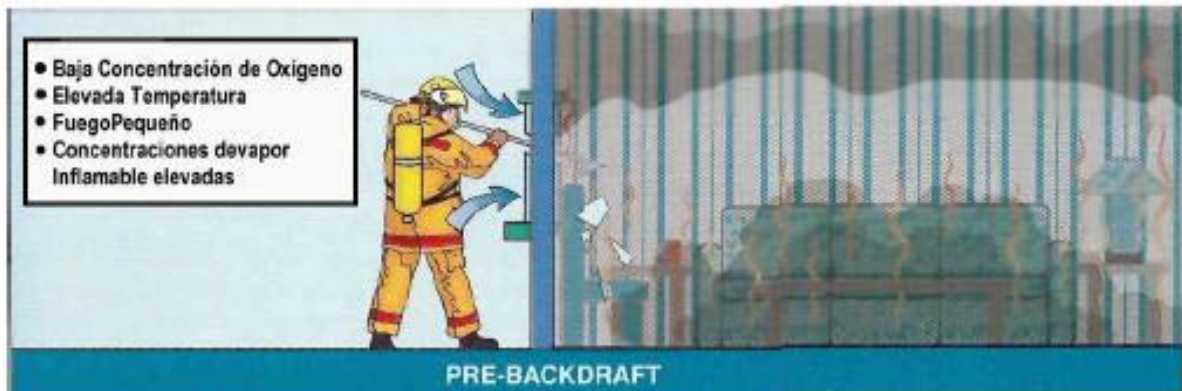


Ilustración 27, condiciones necesarias para que ocurra el fenómeno Backdraft

Del manual de incendios del Reino Unido, se define al Backdraft como:

“La ventilación limitada puede llevar a un incendio en un compartimento a la producción de gases de incendio que contienen proporciones significantes de productos parciales de combustión y productos de pirolisis no quemados. Si estos se acumulan, entonces la admisión de aire cuando se produce una abertura en el compartimento puede provocar

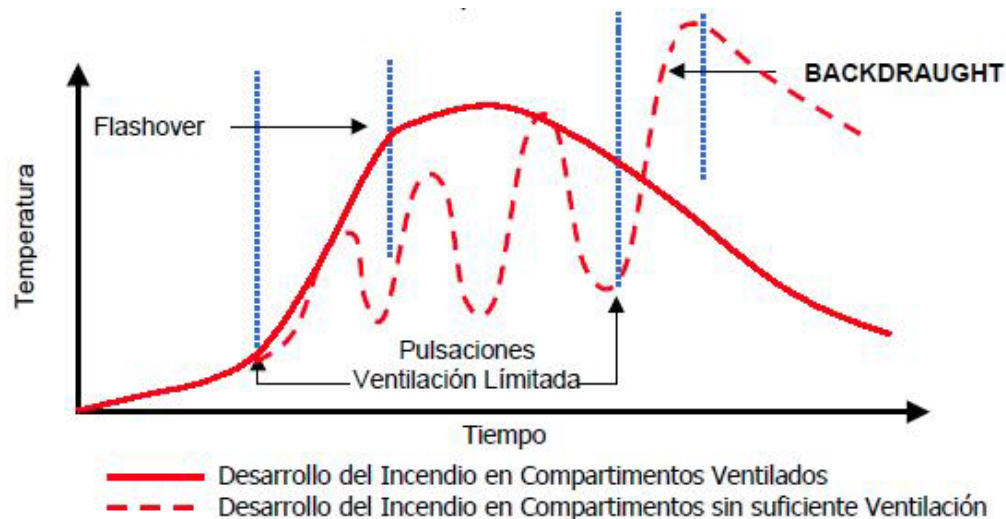


Ilustración 28, tiempo de aparición del fenómeno backdraft en la curva tiempo temperatura

una deflagración súbita. Esta deflagración que se traslada a lo largo de todo un compartimento, y sale por las aberturas, se le conoce como Backdraft”

Las condiciones en las cuales cada una de las fases de incendio o de los fenómenos de incendio ocurre, obedecen a características exactas y muy bien definidas dentro del rango del tiempo, y los límites superior o inferior de inflamabilidad.

Existen algunas características comparativas entre los fenómenos anteriormente descritos, que merecen especial atención, las cuales se muestran en la siguiente tabla.

DIFERENCIA ENTRE FLASHOVER Y BACKDRAFT		
	FLASHOVER	BACKDRAFT
Fase del incendio	fase inicial	fase de arder sin llama
Espacio	recinto ventilado	recinto no ventilado
Agente inductor	temperatura	ventilación
Calor generado por	llamas	brasas
Factores fundamentales	temperatura ignición	energía mínima ignición
Tipo de escenario	estético	dinámico
Tipo de llama	llama libre de difusión	llama premezclada
Onda de sobrepresión	no	frecuentemente
Incendio posterior	generalizado	no necesariamente

Tabla 2, Diferencia entre fenómenos de incendio, comparación entre Flashover y Backdraft, tabla de elaboración propia



Ilustración 29, manifestaciones comunes del fenómeno Backdraft (imágenes superiores), y del fenómeno Flashover (imágenes inferiores)

¿Para qué le sirve al Arquitecto conocer a cerca del fuego, cómo se desarrolla un incendio, cuáles son sus fases, y cuáles son los fenómenos inherentes al fuego?

Todas y cada una de las decisiones que el arquitecto, como diseñador de un proyecto de arquitectura, tome o deje de tomar, cada uno de los factores que el arquitecto conozca o desconozca respecto al tema, tendrán efectos al momento de que ocurra un desastre.

La diferencia entre un diseño planificado arquitectónicamente tomando en cuenta la posibilidad de que ocurra un incendio, y uno diseño que pase por alto los parámetros de protección contra incendios será:

El grado de vulnerabilidad



Ilustración 30, peligros y vulnerabilidades, material didáctico proporcionado en curso de Gestión de riesgos, Fuente: OPS

Que tan vulnerable es una estructura a sufrir daños considerables por fuego, por desconocer la manera en la que un incendio se desarrolla, es responsabilidad del diseñador, que debe de tomar en cuenta, que el grado de vulnerabilidad a incendio de un proyecto de arquitectura será mayor si nunca se toma en cuenta el posible escenario de riesgo que representa el fuego para la vida del usuario de un proyecto de arquitectura que este desproveído de la protección contra incendios necesaria, al momento de que esta sea requerida. ⁸

⁸ Curso "DISEÑO ARQUITECTONICO DE INSTALACIONES SEGURAS" Dr. Ing. Guillermo Reyes, Material didáctico del curso, Julio 2011, Colegio de Ingenieros de Guatemala. Clases Presenciales



⁹ Incendio en la torre Windsor, Madrid, España, año 2005. Fotografía propiedad de Diario El País, Fuente: <http://www.miliarium.com/monografias/rascacielos/CronologiaFuego.htm>

Capítulo 2, COMPORTAMIENTO Y PATRONES DE DETERIORO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION EN CONDICIONES DE CARGA COMBUSTIBLE Y ALTAS TEMPERATURAS

LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION POSEEN MANERAS DE COMPORTARSE FRENTE A LAS ALTAS TEMPERATURAS, Y SUS PATRONES DE DETERIORO ASI COMO LOS PUNTOS DE FATIGA DEBE DE CONOCERSE PARA TENER UNA PERSPECTIVA MAS AMPLIA RESPECTO DE LO QUE ES POSIBLE EXIGIRLE A UN MATERIAL DE CONSTRUCCION.

DADO QUE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION CON LOS QUE SE CONSTRUYE EN LA ACTUALIDAD PROCEDEN DE LA NATURALEZA Y SON MODIFICADOS A SU ESTADO FINAL POR MEDIO DE PROCESOS QUE INVOLUCRAN CAMBIOS QUIMICOS, ES POSIBLE TAMBIEN QUE LA TEMPERATURA PUEDA MODIFICAR LAS ESTRUCTURAS RESULTANTES DE ESOS CAMBIOS QUIMICOS Y DEGRADARLOS DE TAL MANERA QUE ALCANCES ESTADOS LIMITES DONDE SUS PROPIEDADES MECANICAS Y FISICAS SE VEAN ALTERADAS .

EN NUESTRO PAIS, PARA LOS PROYECTOS QUE SE DISEÑAN, PLANIFICAN Y EJECUTAN, COMUNMENTE LOS MATERIALES MAS UTILIZADOS SON:

- CONCRETO ARMADO
- ACERO ESTRUCTURAL
- MAMPOSTERIA (ARCILLA Y CONCRETO)
- MADERA Y AGLOMERADOS
- POLIMEROS
- VIDRIO

POLIMEROS Y VIDRIO

LOS POLIMEROS Y EL VIDRIO SI BIEN NO SON MATERIALES DE CONSTRUCCION, SON AMPLIAMENTE UTILIZADOS COMO ACABADOS, EN EL CASO DEL VIDRIO, TIENE UNA ALTA TRANSMISIBILIDAD DE CALOR, Y ES FRAGIL AL SHOCK TERMICO POR ENFRIAMIENTO RAPIDO, MIENTRAS QUE EN EL CASO DE LOS POLIMEROS, INTERESA LA TASA A LA QUE DESPRENDEN HUMO OPACO AL MOMENTO DE QUEMARSE, APARTE DEL APORTE CALORICO QUE TIENEN EN CUANTO AL PROCESO DE COMBUSTION .



CONCRETO ARMADO

ES UN MATERIAL CONFORMADO POR CONCRETO Y VARILLAS DE ACERO DE REFUERZO. EL CONCRETO ES ELABORADO A PARTIR DE CEMENTO, AGREGADOS (FINOS Y GRUESOS) ADITIVOS Y EN ALGUNOS CASOS FIBRAS DE REFUERZO. LA PRINCIPAL CARACTERISTICA DEL CONCRETO ES SU DENSIDAD, LA CUAL LE CONFIERE ALTA RESISTENCIA A LOS ESFUERZOS DE COMPRESION. EL CONCRETO SUFRE DAÑOS CUANDO ES EXPUESTO A ALTAS TEMPERATURAS, Y EMPIEZA A DEGRADARSE HACIA LOS 400 GRADOS CENTIGRADOS. EL MODO DE FALLA DEL CONCRETO ANTE LA TEMPERATURA ES POR DESCASCAMIENTO, EL CUAL HACE EXPLOTAR EL CONCRETO DEJANDO EXPUESTAS LAS ARMADURAS DEL ACERO DE REFUERZO, OTRO MODO DE FALLO ES POR EL SHOCK TERMICO POR ENFRIAMIENTO RAPIDO, EL CUAL OCASIONA CONTRACCIONES INVERSAS EN EL CUERPO DEL CONCRETO, CAUSANDO FRACTURAS EN LOS MIEMBROS CALENTADOS Y ENFRIADOS RAPIDAMENTE.

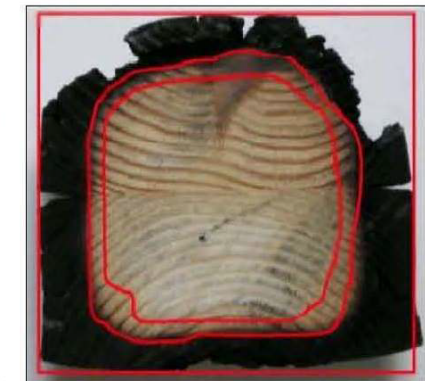


MAMPOSTERIA (ARCILLA Y CONCRETO)

DEBIDO A LA NATURALEZA DE LOS AGREGADOS QUE SON LA BASE DE SU FABRICACION, LA MAMPOSTERIA POSEE UN ELEVADO GRADO DE RESISTENCIA A LA ACCION DEL FUEGO, HA SIDO CATALOGADA COMO MATERIAL INCOMBUSTIBLE, Y DE ALTA RESISTENCIA AL FUEGO. LOS MUROS DE MAMPOSTERIA, SON UTILIZADOS COMO AISLAMIENTO PARA ELEMENTOS MAS FRAGILES (CONCRETO Y ACERO), LA BAJA DENSIDAD DE LOS AGREGADOS (PIEDRA POMEZ) HACE QUE EXISTAN VACIOS DONDE LA PRESION INTERNA PUEDA DISIPARSE, EVITANDO QUE SE FRACTUREN POR EFECTOS DE HINCHAMIENTO O CALOR. LOS MUROS DE MAMPOSTERIA SE DETERIORAN POR PANDEO LATERAL, CUANDO SOLO UNA DE SUS CARAS ES EXPUESTA AL CALOR, LA MAMPOSTERIA DE ARCILLA POSEE MAYOR RESISTENCIA A LAS ALTAS TEMPERATURAS, Y NO PRESENTA DEGRADACIONES CONSIDERABLES CON EL CALOR.

ACERO ESTRUCTURAL

ES UN MATERIAL QUE NACE DE LA ALEACION DEL HIERRO CON EL CARBONO, Y ALGUNAS ADICIONES DE VANADIO, CROMO, NIQUEL Y OTROS ELEMENTOS PARA CONFERIRLE CUALIDADES DE SOLDABILIDAD, ACABADOS, ETC. ACTUALMENTE EL ACERO EN USO EN GUATEMALA ES EL PRODUCIDO BAJO NORMATIVA ASTM A996 GRADO 50. LA PRINCIPAL CARACTERISTICA DEL ACERO ES SU ELEVADA RESISTENCIA A ESFUERZOS DE TENSION, PUDIENDO CUBRIRSE LUCES GRANDES CON PERFILES ESBELTOS. EL ACERO ESTRUCTURAL EMPIEZA A DEGRADARSE AL ALCANZAR LOS 600 GRADOS CENTIGRADOS, SIENDO EL PRINCIPAL FACTOR DE RIESGO SU ELEVADA CONDUCTIVIDAD DE LA TEMPERATURA, PUDIENDO CALENTARSE UNA ESTRUCTURA COMPLETA TENIENDO UN SOLO PUNTO DE CONTACTO CON LA FUENTE DE CALOR,. LOS FALLOS DEL ACERO SON POR DESGARRAMIENTOS LAMINARES, Y POR APLASTAMIENTO DE PERFILES ESTRUCTURALES..



MADERA

LA MADERA SE DEGRADA DE UNA MANERA UN TANTO COMPLEJA, DADO QUE CUANDO ENTRA EN CONTACTO CON EL CALOR O LAS LLAMAS, LA CORTEZA Y EL LIBER SON LAS PRIMERAS CAPAS EN CARBONIZARSE. ESTA CARBONIZACION DETIENE EL PROCESO DE COMBUSTION, HACIENDO QUE ESTA SEA MAS LENTA. LA FALLA DE LA MADERA POR ALTAS TEMPERATURAS SE DA CUANDO LA SECCION RESIDUAL NO SOPORTA MAS LOS ESFUERZOS DE TENSION A LOS CUALES SE VE SOMETIDA, FALLANDO POR DESGARRAMIENTO EN EL SENTIDO DE LA FIBRA, O POR PANDEO Y FRACTURA PERPENDICULAR A LA FIBRA .

COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCION EN CONDICIONES DE CARGA COMBUSTIBLE Y ALTAS TEMPERATURAS

Se ha definido al fuego como un proceso de alteración físico químico que por medio de la oxidación, da lugar a la combustión de un material determinado. La influencia final del fuego sobre los cuerpos, es causar una oxidación y degradación, al punto de consumir y destruir en su totalidad las características físicas y químicas de los materiales que sufren sus efectos.

Es de vital importancia que al momento de planificarse un proyecto de arquitectura, se tenga el conocimiento adecuado a cerca de los materiales de construcción a utilizarse. En nuestro país, recientemente con el cambio de factores de carga en el diseño estructural, se hace necesario conocer los efectos del fuego sobre las propiedades mecánicas de los materiales.

En función del conocimiento que se tenga a cerca de las respuestas de los materiales expuestos a determinadas condiciones de fuego, y sus puntos de fatiga, se tendrá un punto de vista más claro y un criterio más lógico en cuanto

a lo que un material puede soportar, y hasta donde le podemos exigir.



Ilustración 31, Incendio en edificio Windsor, Madrid, España

Cada uno de los materiales de construcción que en la actualidad conocemos y aplicamos, tienen como característica fundamental, la capacidad de carga, en el caso de los elementos estructurales, misma que está directamente relacionada con el modulo de elasticidad, en el caso del concreto, y con el punto de fluencia y el momento de inercia, en el caso del acero estructural. Las maderas, tienen su origen como materiales biológicos vegetales, los polímeros están constituidos por diversas cantidades de compuestos provenientes de fuentes fósiles, y el vidrio, tiene su origen en la fusión a 1500 °C de la arena de sílice con el carbonato de sodio y la caliza. Todos y cada uno de ellos tienen una manera muy particular de reaccionar ante el efecto del calor, y sus propiedades se ven alteradas, en algunos de maneras más rápidas que en otros, y por lo mismo, es necesario que como arquitectos tengamos el conocimiento de cómo se degradan cada uno de ellos al ser expuestos al fuego en un periodo de tiempo determinado.

Dada la importancia de las propiedades mecánicas, se procederá a abordar el tema del comportamiento de los materiales de construcción en condiciones de carga combuStible, y altas temperaturas. Por las tendencias y los materiales así como las tecnologías disponibles en nuestro país, los materiales que se analizarán en esta sección son los siguientes:

- **Concreto Armado**
- **Acero Estructural**
- **Mampostería**
- **Madera y aglomerados**
- **Polímeros y materiales sintéticos**
- **Vidrio**

COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO ARMADO EN CONDICIONES DE ALTA TEMPERATURA

Síntesis preliminar

Una característica fundamental del concreto frente a variaciones de temperatura es la pérdida de su resistencia a la compresión. El aumento de temperatura disminuye la resistencia a la compresión del concreto, esta pérdida se ve aun incrementada si al momento de la variación de la temperatura, aparte de estar sometido al efecto del fuego, se encuentra bajo condiciones de carga.

Del mismo modo, los valores del modulo de elasticidad del concreto, se ven reducidos bajo la acción de temperatura y efectos de carga combinados.

Analizando el comportamiento mecánico del concreto armado en condiciones de incendio, se toma como punto de partida y de referencia principal, que a una temperatura superior a los 380°C, el concreto comienza a deteriorarse, cuando es expuesto sin protección a largos periodos de tiempo de fuego, ya sea con llama directa, o con calor por convección o por radiación.

A 400 °C se produce una pérdida de resistencia entre el 15 y el 25%, según sea el tipo de agregados, (calizos o silíceos) utilizados en la conformación del concreto.

Por encima de los 600°C, deja de tener una resistencia a la compresión viable, y se debilitara aun en mayor medida al enfriarse, o cuando se apague el fuego.

Básicamente, los principales efectos del fuego en el Concreto Armado, pueden resumirse en:

- Daños a la adherencia por salto térmico entre las armaduras de acero y el concreto que las recubre
- Pérdida significativa de espesor de recubrimiento de concreto debido al efecto spalling (descascamiento explosivo) por la explosión del concreto
- Disminución de la resistencia del concreto cuando su temperatura supera los 380°C durante periodos prolongados de exposición
- Disminución de la resistencia de las armaduras de acero de refuerzo cuando la temperatura supera los 250°C
- Daño o destrucción de las juntas o sellos en determinadas estructuras, lo cual puede conducir al colapso estructural.¹⁰

La existencia de debilitamientos en la sección del concreto, permite que las altas temperaturas atraviesen el concreto y lleguen a las armaduras de refuerzo muy rápidamente. El acero, siendo un excelente conductor del calor, incrementa su temperatura en un corto periodo de tiempo, transmitiendo el calor a toda la barra de acero tanto longitudinal como transversal, pero no así al concreto que le rodea.

¹⁰ Faller, George. Identificación de riesgos y el diseño contra incendios. Consejo superior de Investigaciones científicas, Madrid, Marzo 2004.

El acero, por efecto térmico, tiende a dilatarse, efecto que no ocurre con el concreto. Esto produce esfuerzos de compresión y fisuras, después tiene lugar el enfriamiento y la rotura. Es en este momento donde tiene lugar el daño de la adherencia entre concreto y acero de refuerzo, debido a ese salto térmico.

Este fenómeno se produce por un incremento súbito en la temperatura, o bien, luego de que tiene lugar la exposición al fuego, por un enfriamiento brusco, como el producido por una extinción o supresión del incendio de una manera agresiva.

La rotura del concreto por falla en la adherencia en las barras de refuerzo de acero, tiene lugar con el enfriamiento, es decir, cuando ya no existe humo. Por lo tanto, las grietas aparecidas de esta manera son blancas o incoloras, dado que la superficie interior de la misma no está ahumada.¹¹

Temperatura	Que sucede
1000	
900	Las temperaturas del aire en incendios rara vez exceden este nivel pero las de la llama pueden alcanzar los 1.200°C y más aún.
800	
700	
600	Con esta temperatura el hormigón no mantiene su capacidad estructural total.
550-600	Los materiales con base de cemento experimentan un descenso de su capacidad de apoyo.
400	
300	Comienza una pérdida de firmeza pero en realidad sólo los primeros centímetros de hormigón expuestos al fuego soportarán más calor que éste e internamente la temperatura estará por debajo de ésta.
250-420	Se produce una pérdida de recubrimiento con partes del hormigón separándose de la superficie.

Ilustración 32, efectos de la temperatura en el concreto armado, Fuente: Cepreven, protección pasiva contra incendios

Composición del concreto

El concreto es un material de construcción cuya característica es la alta capacidad de cargas en compresión. Los materiales que constituyen un concreto son por lo regular los siguientes:

- Polvo cementante (cemento portland en sus distintas variedades)

¹¹ CEPREVEN, PROTECCION PASIVA CONTRA INCENDIOS, asociación de investigación para la seguridad de vidas y bienes, Madrid, España, 2003.

- Agregados Finos
- Agregados Gruesos
- Agua
- Aditivos en algunos casos
- Fibras
- Aire (atrapado e incluido)



Ilustración 33, componentes del concreto, Fuente: Manual PCA, edición 2002 en español

El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava (piedrín), creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua

Otros materiales cementantes (cementicos, cementosos) y adiciones minerales se pueden incluir en la pasta. Generalmente los agregados (áridos) se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos pueden ser arena natural o artificial (manufacturadas) con partículas de hasta 9.5 mm (3/8 pulg.); agregados gruesos son las partículas retenidas en la malla 1.18 mm (tamiz no.16) y pueden llegar hasta 150 mm (6 pulg.). El tamaño máximo del agregado grueso comúnmente empleado es 19 mm o 25 mm (3/4 pulg. o 1 pulg.). Un agregado de tamaño intermedio, cerca de 9.5 mm (3/8 pulg.) es, algunas veces, adicionado para mejorar la granulometría general del agregado.

La pasta se compone de materiales cementantes, agua y aire atrapado o aire incluido (intencionalmente incorporado). La pasta constituye aproximadamente del 25% hasta 40% del volumen total del concreto. El volumen absoluto del cemento está normalmente entre 7% y 15% y el volumen del agua está entre 14% y 21%. El contenido de aire atrapado varía del 4% hasta 8% del volumen.

EFFECTOS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO EN ALTAS TEMPERATURAS

En lo que se refiere al comportamiento de los materiales de construcción expuestos a altas temperaturas o al fuego, se pueden clasificar los materiales en 2 grupos

- **Combustibles**
- **No combustibles**

La madera, y muchos plásticos por ejemplo, están entre los materiales combustibles, los cuales a temperaturas elevadas comienzan a arder y son destruidos. Por el contrario, los materiales no combustibles, dentro de los que se puede incluir al concreto y al acero, sufren importantes alteraciones, tanto físicas como mecánicas debido a su exposición a temperaturas elevadas.

Respecto del comportamiento del concreto ante el fuego, las siguientes propiedades y sus cambios debidos a altas temperaturas son de importancia por lo que se detallaran a continuación

- **Expansión térmica**
- **Resistencia a la compresión**
- **Resistencia a la flexión**
- **Modulo de elasticidad**
- **Relación de Poisson**
- **Fluencia (creep)**
- **Conductividad térmica**

Expansión térmica

El concreto, como la mayoría de materiales, tiene un coeficiente de expansión térmica positiva, su comportamiento a altas temperaturas o ante el fuego puede diferir considerablemente; dependiendo del tipo de mezcla, los materiales empleados, el rango de temperatura alcanzado, el tiempo de exposición, la temperatura al inicio de exposición, el contenido de cemento, el contenido de agua, de su estado higrométrico, en el momento del cambio de temperatura, de la edad, y especialmente del agregado utilizado, ya que, estos forman la mayor parte de su volumen.

El coeficiente de expansión térmica del agregado influye en el valor del mismo coeficiente para el concreto que contiene dicho agregado, al elevarse el coeficiente del agregado, aumenta el coeficiente del concreto; pero, este ultimo depende también del

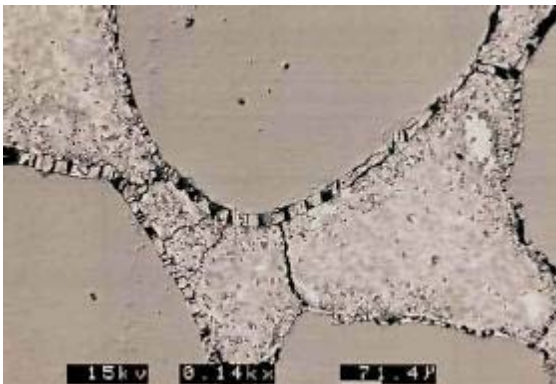


Ilustración 35, separación de la pasta de cemento y de los agregados, por efecto de deshidratación



Ilustración 34, agrietamiento superficial de concreto expuesto a altas temperaturas

Contenido de agregado de la mezcla y en general, de la proporción. Sin embargo, este problema tiene otro aspecto.

Se ha sugerido que si los coeficientes de expansión térmica del agregado grueso y de la pasta de cemento difieren demasiado, un cambio grande en temperatura puede introducir movimiento diferencial y romper la adherencia entre las partículas del agregado y la pasta que las rodea. Sin embargo, posiblemente porque el movimiento diferencial está afectado también por otras fuerzas, como las debidas a la contracción, una gran diferencia entre los 2 coeficientes no es forzosamente perjudicial cuando las variaciones no exceden de 4 a 60 °C. Por lo tanto, la textura del concreto puede permanecer intacta en presencia de incrementos de temperatura, únicamente si los cambios resultantes de la forma de los componentes separados son mutuamente compatibles y los esfuerzos internos pueden ser absorbidos por la pasta de cemento¹².

El coeficiente lineal de expansión térmica varía con el tipo de composición mineral y estructural de la roca madre. Una roca de un solo tipo de mineral, generalmente tiene el promedio de los coeficientes de expansión de sus cristales individuales. Algunos minerales son aniso trópicos, se expanden diferentemente en diversas direcciones, y a través de la orientación de sus cristales. Un mineral amorfo puede tener un coeficiente de expansión más bajo que el mismo mineral cuando es cristalizado. Las rocas que contienen diferentes minerales y diversas formas en sus cristales tienen un complejo coeficiente de expansión térmico que es compuesto y no es lineal con la temperatura. Para la mayoría de las rocas, el coeficiente de expansión es aproximadamente de 0.9×10^{-6} a 16×10^{-6} por grado centígrado, y la mayoría de agregados están entre 5×10^{-6} y 13×10^{-6} por grado centígrado.¹³

La experiencia ha llegado a demostrar que los agregados que contienen cuarzo (cuarzo, arena, granito, etc.) no son adecuados para estructuras expuestas a elevadas temperaturas o al fuego y que los agregados con una expansión pequeña, uniforme y con un bajo contenido de sílice, como las calizas, el basalto y las escorias, con temperaturas de alrededor de 900°C son satisfactorios y mas allá de esta temperatura comienzan a calcinarse y a expandirse notablemente emitiendo gases.

En un artículo respecto de un simposio de la ASTM se clasifica a los agregados en 4 grupos generales de acuerdo a su resistencia al fuego, de la siguiente manera:

- Agregados Calcáreos o carbonatados
- Agregados de silicatos no cuarzosos
- Agregados que evidencian agrietamiento y descascaramiento en ensayos al fuego
- Agregados Silicios o livianos

Los concretos manufacturados con este tipo de agregados, tienen como resultado resistencias diferentes, y de la misma manera, distinto comportamiento ante altas temperaturas.

¹² Diseño y control de Mezclas de Concreto, Manual PCA, Pagina 3

¹³ Comportamiento de miembros de concreto expuestos al fuego, Ing. Omar Gilberto Flores Beltetón, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, año 1989, Pagina 15

Grupo 1, Agregados Calcáreos o Carbonatados

Abarcan las Calizas y las dolomitas, los cuales componen muchos agregados de piedra triturada o pueden encontrarse como sustituyentes de rocas naturales o grava. Se ha dicho que este grupo da los menores efectos destructivos y la temperatura de transmisión más baja siendo esta última retardada por la calcinación de la caliza y las dolomitas, la cual se lleva a cabo para el carbonato de calcio entre los 716 °C y los 979°C, con una disipación de calor de 400 cal/gr. Para el carbonato de magnesio se produce entre los 741°C y los 838°C con una disipación de calor de 340 cal/gr

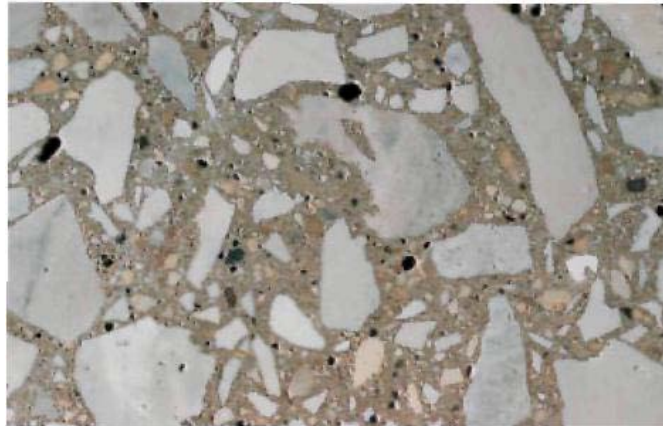


Ilustración 36, concreto con agregados calcáreos

Grupo 2, Agregados de silicatos no cuarzosos

Compuestos principalmente de feldespatos, olivino, anfíbol, piroxena, los que como la hornablenda y la augita no evidencian agrietamiento, o descascaramiento en los ensayos de resistencia al fuego

Estos agregados incluyen muchas rocas comunes tales como el basalto, las diabasa, la dolerita, la andesita, el grava y la sienita. Están, además, la pómez los agregados artificiales tales como el ladrillo desquebrajado, la arcilla expandida, la arcilla esquistosa, las escorias de alto horno. Los puntos de fusión de este grupo están en el rango de 1149 °C a 1260°C.

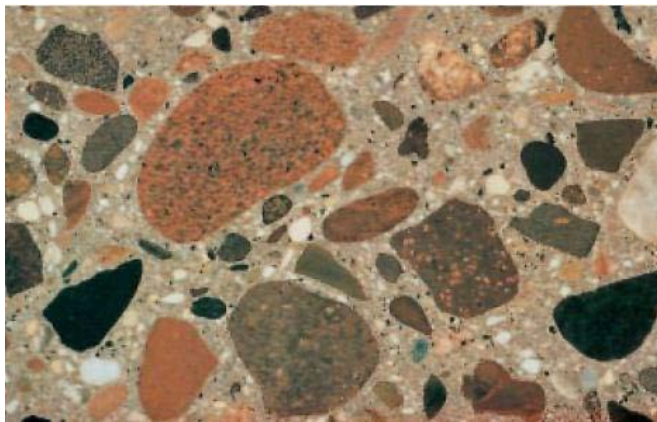


Ilustración 37, concreto con agregados cuarzosos

Grupo 3, agregados que evidencian agrietamiento y descascaramiento en los ensayos al fuego

Comprenden las rocas ígneas cuarzosas, las cuales contienen una cantidad de sílice mayor que los del grupo 1 y 2.



Ilustración 38, agregados con descascaramiento

Están también incluidos dentro de este grupo los granitos compuestos de cuarzo, los feldespatos, los materiales ferro magnésicos, los esquistos cuarzosos como la cuarcita, la piedra de arena, y el gneis.

Grupo 4

Comprenden rocas constituidas principalmente de sílice no mezclado, para así formar silicatos e incluye la cuarcita, el cuarzo, el orsteno y el pedernal; dichos agregados causan agrietamiento, descascaramiento y disrupción del concreto expuesto al fuego, a profundidades de una pulgada y más debajo de la superficie.



Ilustración 39, agregados silíceos

Por otra parte, se ha encontrado que los agregados livianos parecen tener un merito en particular respecto de la resistencia al fuego del concreto, resultando mayor que la obtenida con agregados ordinarios, en vista de que; el concreto de agregado liviano tiene menos tendencia a descascararse, lo cual es común en concreto ordinario; además se reduce la cantidad de calor transmitido a través de una estructura y, finalmente, el concreto liviano posee en general una expansión térmica menor y pierde una proporción menos de su resistencia original cuando se eleva su temperatura.

Los agregados livianos son productos de hornos de altas temperaturas, y así, después de enfriarse poseen una buena estabilidad durante el recalentamiento, el cual es cual es, probablemente, debido a su estructura porosa y a su composición vítrea. La capacidad del agregado liviano de retener humedad en el concreto se ha demostrado que es benéfico en la disipación de calor, aunque, en algunos casos, cuando se retiene demasiada humedad ligada con una estructura vacía muy estrecha, se ha encontrado desventajoso, como sucede con el concreto ordinario. Los agregados livianos incluyen: perlita expandida, vermiculita exfoliada, pómez, escoria expandida, arcilla expandida y esquistos.



Ilustración 40, agregado liviano

Cuando el concreto es calentado, no son únicamente los agregados los que se expanden, la pasta de cemento también cambia de volumen, y se ha encontrado que el coeficiente de expansión de la pasta varía entre 11×10^{-6} y 16×10^{-6} por grado centígrado, pero se han observado valores hasta de 20.7×10^{-6} por grado centígrado.

Resistencia a la Compresión

La resistencia del concreto cuando es calentado a una temperatura en particular o después de calentado y enfriado, depende de las condiciones impuestas. Las variables incluyen:

- Si el concreto está restringido o no durante el calentamiento
- Si la humedad libre está contenida o no durante la exposición
- Si el concreto es sujeto a ciclos térmicos
- Si es ensayado mientras está caliente o después de enfriado
- Si es templado o enfriado lentamente
- Los tipos de materiales empleados
- Tamaño de espesores

Adicionalmente, dependiendo del comportamiento de la pasta de cemento y de los agregados, tendrá valores diferentes de resistencia a temperaturas diferentes.



Ilustración 41, ensayo de compresión al concreto

Dentro de las investigaciones realizadas, se ha determinado la resistencia a la compresión del concreto entre los 93 y los 871°C, para concretos elaborados con agregados carbonatados, silicios y livianos (escorias expandidas). Los regímenes de ensayos incluyeron calentamiento sin carga y ensayos en caliente, calentados a 3 niveles de esfuerzos, y ensayos calientes, finalmente, ensayos después de un enfriamiento paulatino. Los resultados han demostrado:

- El concreto carbonatado y el elaborado con agregado liviano retenía más del 75 % de su resistencia original hasta los 649°C cuando son calentados sin esfuerzos y ensayados en caliente, para concretos elaborados con agregados silicios, la temperatura correspondiente fue de 427°C.
- Cuando es cargado durante el calentamiento, las resistencias a la compresión son del 5% al 25% más altas, pero no es afectado por el nivel de esfuerzo aplicado
- Las resistencias residuales después del enfriamiento son más bajas que las correspondientes a las resistencias a la compresión en caliente
- La resistencia original del concreto tiene un pequeño efecto sobre las reducciones del porcentaje en la resistencia observada.

Si el concreto es templado como podría suceder cuando es mojado por el agua de una manguera cuando ocurre un incendio, como se ha demostrado para temperaturas alrededor de 500°C, hay una gran reducción en la resistencia a la compresión residual que cuando es enfriado lentamente, lo cual es atribuido al shock térmico.

Estudios han demostrado que luego de la ocurrencia de efectos térmicos como los que tienen lugar en los incendios, partes de las estructuras dañadas han sido extraídos núcleos y ensayados a la compresión, y permiten ver el comportamiento de los agregados, de la siguiente manera:

- Las rocas cristalinas ígneas, y metamórficas para agregado, se deterioran más rápidamente que el concreto elaborado con agregados de caliza, a temperaturas de 400°C y, únicamente, permanece el 85% de su resistencia inicial en comparación con el 95% obtenido para las calizas
- El concreto elaborado con agregados de arenisca, mostro una ganancia significativa alrededor de los 300°C después de la cual el deterioro es rápido
- Arriba de los 525°C el concreto elaborado con escoria expandida fue mejor que los otros, en vista de que debajo de esta temperatura fue igual o inferior en su resistencia a la compresión.

La observación a cerca del incremento en la resistencia en el rango bajo de temperatura es algo interesante que algunos investigadores han notado en ciertas condiciones de ensayo, y puede ser explicado por el hecho de que el calor produce endurecimiento por vapor, conduciendo a la hidratación adicional del cemento.

En general se ha encontrado un decremento en la resistencia a la compresión, siendo este pequeño e irregular debajo de los 200°C. a mas de 300°C, existen perdidas definidas.

Resistencia a la Flexión

Las investigaciones muestran un decremento en la resistencia a la flexión que no es del mismo orden y magnitud que los resultados obtenidos en la resistencia a la compresión del concreto hecho con las mismas proporciones de mezcla y de los mismos constituyentes. En general, la declinación de la resistencia a la flexión es mucho mayor que su resistencia a la compresión. Se ha encontrado que la resistencia a la flexión de un concreto elaborado con agregados silicios a 400°C varía hasta en un 25% de su resistencia original. Por otra parte, se han obtenido resultados similares con una reducción del 50% con concreto elaborado con agregado de caliza a 400°C (un nivel de reducción el cual ocurre a más de 600°C en el caso de la compresión)

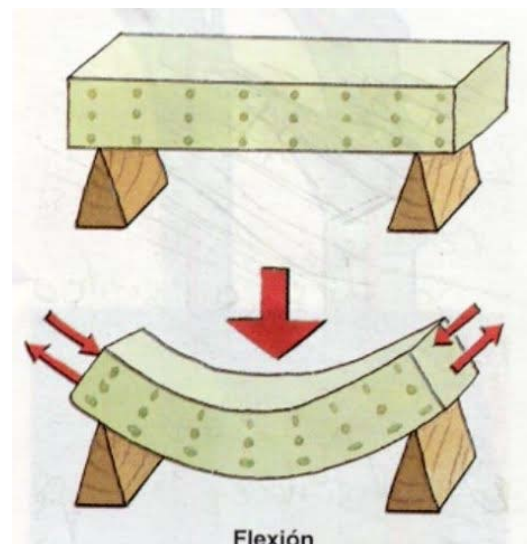


Ilustración 42, capacidad de flexión en el concreto armado

Modulo de Elasticidad

Cuando el concreto es expuesto a altas temperaturas o al fuego, ocurre un decremento en su modulo de elasticidad. Esto afecta fuertemente las deformaciones en una estructura, también es afectada la acción reciproca de las fuerzas internas y externas en estructuras estáticamente indeterminadas, en construcciones de concreto presforzado, y aun en las secciones usuales de concreto reforzado.

Dentro de las investigaciones realizadas, se ha notado en ensayos llevados a cabo en una temperatura de hasta 400°C, que para un mortero o concreto dado (con agregados silicios) que el valor del modulo de elasticidad después del enfriamiento fue esencialmente el mismo que el que prevaleció a temperaturas elevadas, por lo que la reducción del modulo de elasticidad con el incremento de la temperatura es permanente. Se ha notado también que el valor del modulo de elasticidad depende de la relación Agua/Cemento inicial, el régimen de curado, y la edad. Entre los valores iniciales para concreto elaborado con agregados calcáreos en un rango de 3.20 a 7.34×10^{-6} y los valores finales a 760°C en un rango de 0.91 a 2.30×10^{-6} se encontraron algunos beneficios con relaciones Agua/Cemento bajas y secados al aire.

Relación de Poisson

La relación de Poisson es una constante elástica que proporciona una medida del estrechamiento o ensanchamiento de la sección transversal de un material, cuando se estira o se contrae en el sentido longitudinal, y por lo tanto adelgaza o se ensancha en las direcciones perpendiculares a la de estiramiento.

Dentro de las investigaciones realizadas se han medido las frecuencias flexionantes y torsionales de vibración. Debido a las complicaciones de sensibilidad en el procedimiento de investigación, los resultados, no son concluyentes, pero se ha mostrado una tendencia general a declinar con el incremento a la temperatura. También se ha calculado la relación de Poisson pero haciéndolo directamente de la carga axial longitudinal y se midieron las deformaciones transversales, encontrándose un decremento luego de la evaporación del agua; se hicieron cálculos adicionales del modulo de hinchamiento el cual también disminuía con el incremento de la temperatura en una curva paralela a la del modulo de elasticidad.

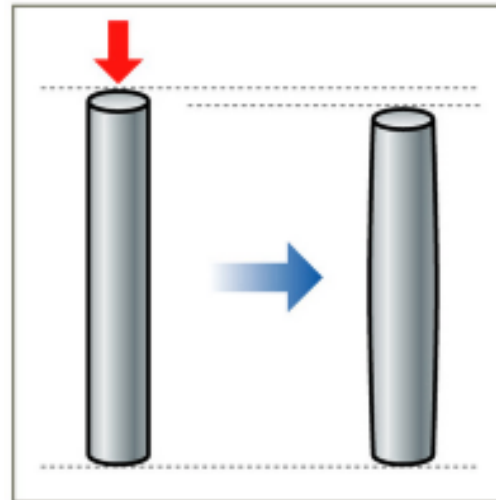
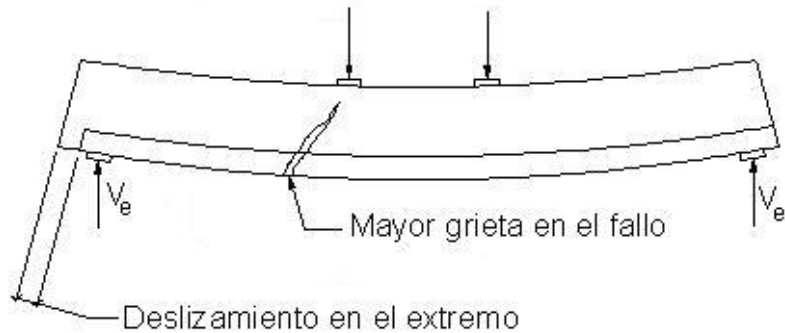


Ilustración 43, relación de Poisson

Fluencia o Cedencia (Creep)

Dentro de las investigaciones realizadas, para concretos de alta resistencia y elaborados con agregados que contenían grava de cuarzo en el rango de temperatura de 93 a 427°C, los resultados demuestran que la forma de las curvas Fluencia-Tiempo a altas



temperaturas son las mismas que la temperatura ambiente, pero el rango de fluencia es mayor cuando el concreto fue sujeto a altas relaciones de Esfuerzo-Resistencia. Se ha encontrado además que la relación esfuerzo-resistencia afecta al rango de fluencia más de lo que la afecta la temperatura. Se ha notado también que no existe una relación lineal entre la fluencia y el nivel de esfuerzos, y finalmente, que el valor de la fluencia es menor con relaciones Agua/Cemento bajas.

Esto se atribuye al desarrollo de micro agrietamientos entre agregados y la pasta, que los rangos de fluencia para el concreto arriba de los 200°C sean más altos que para morteros, y que lo contrario ocurre a temperaturas menores de los 200°C. A más de



Ilustración 45, falla por Cedencia en el refuerzo de acero

400°C se observó que la fluencia se incrementaba muy rápidamente a niveles de esfuerzos bajos por lo que el estado plástico es alcanzado.

La dependencia de la fluencia o Cedencia sobre el contenido de humedad fue considerada, y se encontró que los rangos altos de fluencia ocurren en condiciones de saturación para los cuales no se ha encontrado aun una explicación aceptada.

Recientes investigaciones del concreto bajo condiciones trascendentes a elevadas temperaturas, incluyendo los efectos dependientes del tiempo tales como la fluencia y la

relajación confirman que probablemente, existen patrones muy complejos en su comportamiento.

Conductividad Térmica

La conductividad térmica es la habilidad de un material para conducir calor, y se define como la relación del flujo de calor al gradiente de temperatura. Se mide por la cantidad de calor que se transmite a través de una masa de concreto de área y espesor unitario, cuando existe entre 2 caras una diferencia de temperatura unitaria.

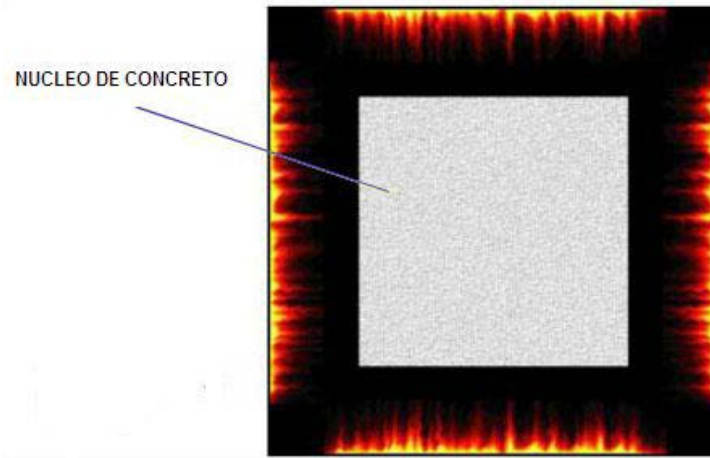
Su estudio es importante en el

comportamiento del concreto a elevadas temperaturas, ya

que junto a la difusividad térmica y al calor específico determinan la progresión interior del incremento de temperatura dentro del concreto, la facilidad con que este soportara los cambios de temperatura, y la extensión del daño que puede ocurrir en el acero o en el concreto durante un incendio.

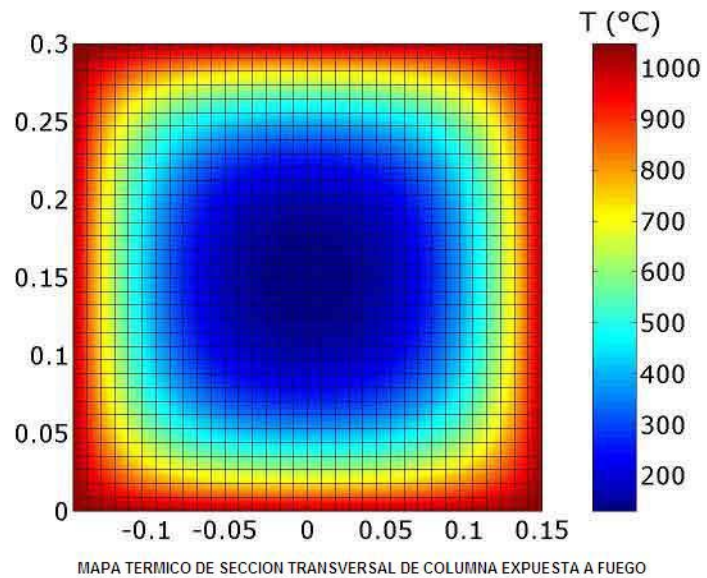
La conductividad térmica del concreto depende de su composición, del carácter mineralógico del agregado

utilizado, de su peso específico y del contenido de humedad.¹⁴



CONDICION DE CARGA POR FUEGO EN UNA COLUMNA AISLADA

Ilustración 46, conductividad del calor al núcleo de una columna de concreto



MAPA TERMICO DE SECCION TRANSVERSAL DE COLUMNA EXPUESTA A FUEGO

Ilustración 47, mapa térmico de temperaturas alcanzadas en una sección de concreto

¹⁴ Comportamiento de Miembros de concreto expuestos al fuego, Ing. Omar Gilberto Flores Beltetón, Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería USAC, año 1989, pagina 18

A temperaturas elevadas interesa un valor bajo, para poder retardar el incremento de la temperatura dentro del concreto. El contenido de humedad juega un papel importante en la conducción del calor del concreto hasta que se completa la deshidratación, ya que después que esto ocurre, los componentes se descomponen, se vuelven porosos, se secan, y se convierten en buenos aisladores del calor.

Para concretos normales la conductividad térmica muestra un decremento considerable a temperaturas elevadas. Un decremento del 50% a 800°C, al compararlo con la conductividad térmica a temperatura ambiente. Para concreto pobre, al compararlo con una mezcla rica, se ha notado un incremento del 20% asumiendo que ambos fueran consolidados completamente. Para una investigación realizada con 16 concretos elaborados con cemento portland tipo I con una gran variable de agregados y con el proceso empleado en la fabricación de unidades de mampostería de concreto se ha confirmado una reducción y se encontró que todas las difusividades llegaron a ser iguales a una temperatura de 600°C.

Difusividad Térmica

La difusividad térmica representa la rapidez de variación en temperatura dentro de una masa y, por lo tanto, indica la facilidad con que el concreto puede sufrir cambios de temperatura.

Se puede deducir que la conductividad y la difusividad varían juntas. Los valores característicos de difusividad del concreto ordinario se encuentran entre 0.002 y 0.006 m²/hora, según sea el tipo de agregado empleado. Los siguientes tipos de rocas se enumeran en orden de menor a mayor difusividad:

- Basalto
- Rolita
- Granito
- Caliza
- Dolomitas
- Cuarzita

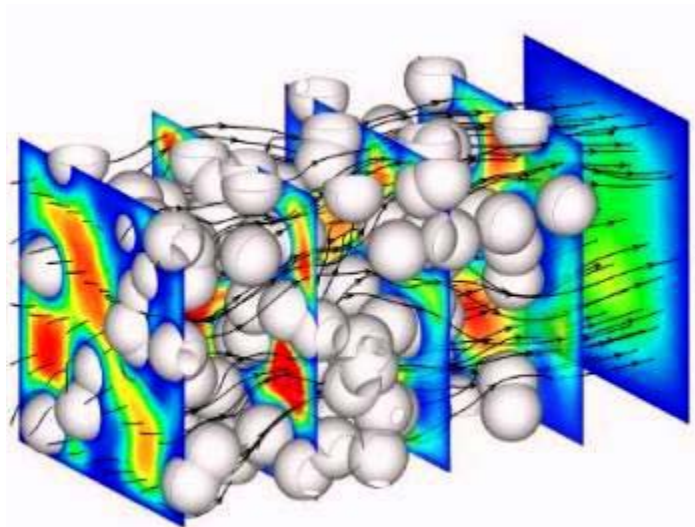


Ilustración 48, difusividad del calor en un cuerpo sólido

Calor Específico

El calor específico que representa la capacidad calorífica del concreto, se afecta poco por la índole mineralógica del agregado, y por la proporción de la mezcla, pero aumenta al elevarse el contenido de humedad del concreto. El calor específico aumenta al subir la

temperatura, y sus valores límites usuales muestran una gran dispersión, pero para concretos ordinarios se estiman de 840 a 1170 J/kg °C, un alto valor del calor específico, incluyendo la contribución de la humedad presente, tiene la ventaja de reducir el calor y retardar el incremento de temperatura durante un incendio.

EFFECTOS DEL FUEGO EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO

La investigación de la resistencia de estructuras en presencia del fuego es un problema bastante complejo, y estudiado a profundidad solo en los últimos años. Debido a que el concreto es un material compuesto, la forma en la que este reacciona es bastante diferente para cada uno de sus componentes al ser expuesto a altas temperaturas. Esta exposición hace que se produzcan cambios físicos y químicos en el concreto que pueden afectar seriamente su capacidad mecánica.

En los proyectos de arquitectura, la estructura tiene el papel de sustentar las edificaciones. Debido a ello, es de suma y vital importancia que se conozcan cuáles son los efectos del fuego en las estructuras, considerando al concreto y al acero de refuerzo como un solo material que actúa como un conjunto para resistir las cargas aplicadas.

Cuando se diseña una estructura, el cálculo y el diseño estructural se hacen con las cuantías de acero balanceadas, persiguiendo que la estructura sea dúctil, y no trabaje en un rango de rigidez que la convierta en una estructura frágil. Por ende, la relación entre el área de sección transversal del concreto y el área máxima de acero que corresponde a la misma dentro de los rangos

elásticos de la estructura, es directamente proporcional, es decir, para una sección transversal de concreto, existe un área máxima de acero, que responde a la capacidad de carga a la que el miembro estructural será expuesto.

Existen muchos fenómenos asociados al efecto del fuego en las estructuras, pero 2 de ellos serán principalmente tratados, debido a la estrecha relación que guardan con la protección contra incendios, que es el tema principal de este estudio:

- **Efecto Spalling (descascamiento explosivo)**
- **Shock Térmico por enfriamiento rápido**



Ilustración 49, daños en un prisma de concreto ensayado al fuego

Efecto Spalling

EFECTO SPALLING				
Clasificación del Spalling	tiempo de ocurrencia	Naturaleza del daño	sintomas audibles	gravedad del efecto
POR AGREGADOS	ENTRE 7 Y 30 MINUTOS	Rajaduras visibles	pequeños estallidos	superficial
EN ARISTAS	ENTRE 30 Y 90 MINUTOS	No violento	ninguno	puede ser severa
SUPERFICIAL	ENTRE 7 Y 30 MINUTOS	Violento	estallidos medianos	puede ser severa
EXPLOSIVO	ENTRE 7 Y 30 MINUTOS	Violento	explosiones fuertes	daño severo
DESLAMINADO	Cuando se pierde capacidad de carga	No violento	ninguno	puede ser severa
POST ENFRIAMIENTO	Durante y despues de enfriamiento por absorcion de humedad	No violento	ninguno	puede ser severa

Tabla No. 3, caracterización del Efecto Spalling en miembros de concreto. Fuente: elaboración propia

El efecto spalling es un término que cubre un fenómeno de daño que puede ocurrir a las superficies de las capas de miembros de concreto cuando son expuestas al fuego. En la actualidad todavía no se comprende bien, y por consiguiente, supone un riesgo tanto para la vida humana, como para la propiedad afectada.¹⁵

El efecto spalling (proceso explosivo de descascaramiento) tiene lugar rápidamente, empezando a los 150°C, como consecuencia del impacto térmico y el cambio de estado

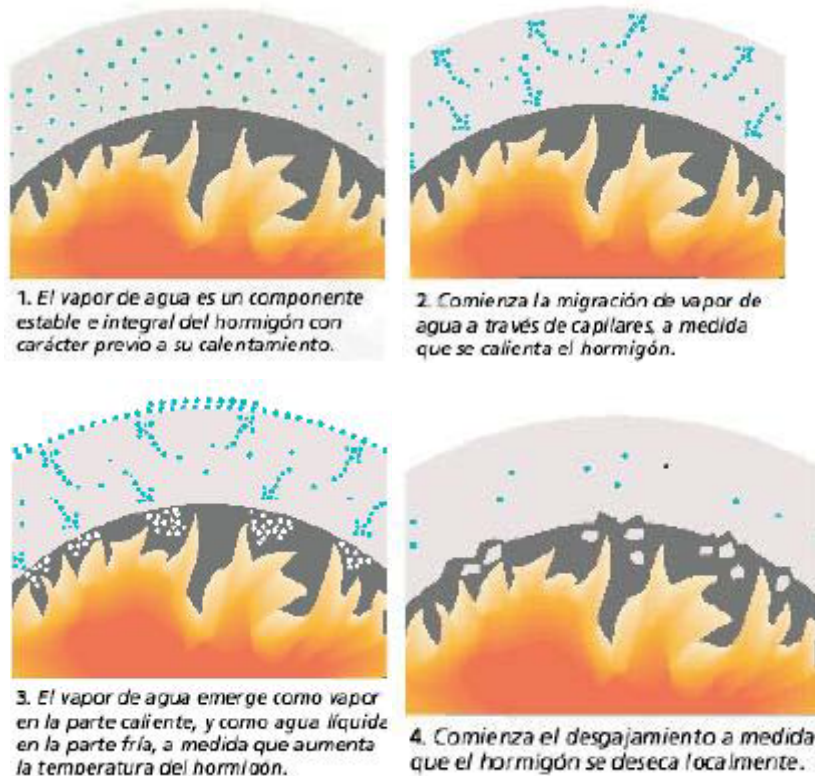


Ilustración 50, efecto de descascaramiento (spalling) en el concreto

¹⁵ Tabla de elaboración propia, Datos facilitados por Dr. Carlos Amado Britez, Tesis de Doctorado, Brasil, 2011

del agua intersticial.

A medida que el agua se convierte en vapor y debido a la densa estructura del concreto, el vapor no puede escapar eficientemente a través de su masa, y la presión aumenta. Cuando la presión del concreto es superior a su resistencia, tiene lugar el efecto spalling, o descascaramiento. Estas fisuras expuestas, dejan al descubierto el concreto “fresco”, hidratado nuevamente por efecto del vapor, y este queda

expuesto a un calor intenso, lo que concluye en el proceso de descascaramiento a mayor velocidad.¹⁶

El efecto spalling es inmediato, por lo que el concreto de recubrimiento explota y es lanzado violentamente durante el incendio, es decir, la superficie interior queda expuesta al humo y al hollín: las grietas por spalling quedan ennegrecidas.

Un spalling masivo puede llevar a la pérdida total de concreto de recubrimiento, dejando al descubierto las armaduras de acero de refuerzo.

Hasta este momento el concreto había evitado que el acero de refuerzo alcanzara grandes temperaturas, por lo que preservaba también su resistencia. Al mismo tiempo, la magnitud del efecto del fuego es tal, que el acero alcanza rápidamente temperaturas superiores a los 250°C, y sobreviene la disminución de la resistencia en las armaduras de refuerzo.



Ilustración 51, diferente grado de exposición de armaduras por efecto de descascaramiento

Al hablar de un incendio en el interior de un edificio, la parte de la estructura más expuesta al fuego y también la más sensible es la cara inferior de los acabados en cielos.

¹⁶ Moss, PJ, Dhakal, RP; Wang, G, THE BEHAVIOUR OF MULTI-BAY REINFORCED CONCRETE SLABS, Engineering Structures, 2008

En este caso, los esfuerzos son de tensión, y fundamentalmente son soportados por las armaduras de acero. De modo que si estas se ven afectadas por altas temperaturas, la disminución de su resistencia se traduce en la transmisión de esfuerzos al concreto, ya exigido por esfuerzos interiores. Este efecto combinado, resulta en la rotura frágil por esfuerzo cortante del concreto, y el colapso por la rotura dados los efectos de los momentos negativos en las armaduras.

En el caso del spalling, no solo supone un daño importante a la estructura. Teniendo en cuenta que este se produce en fases tempranas del incendio, se produce cuando todavía puede haber personas dentro del edificio, o los cuerpos de socorro se encuentran trabajando en la supresión y extinción, así como en el rescate. El concreto que se desprende por efecto spalling, es lanzado de una forma violenta (explosiva) y resulta en una lluvia de escombros, pudiendo provocar lesiones y bloqueando las vías de salida. Se dificulta debido a ello en gran medida la evacuación de personas y el trabajo de los equipos de extinción.

Shock térmico por enfriamiento rápido

Aunque el concreto no es un buen conductor de calor, cuando es expuesto al fuego, de manera gradual va incrementando su temperatura.

En condiciones de incendio, la Exposición prolongada al efecto del fuego permite que el concreto se caliente de maneras no uniformes, pero que poco a poco van alcanzando las capas interiores del elemento estructural.

Una vez alcanzada el área donde se localiza el refuerzo de acero, el progreso de la temperatura continua hacia el núcleo del elemento. Si aun no ha tenido lugar el efecto Spalling, se puede concluir que la masa de concreto del elemento estructural se encuentra completa.

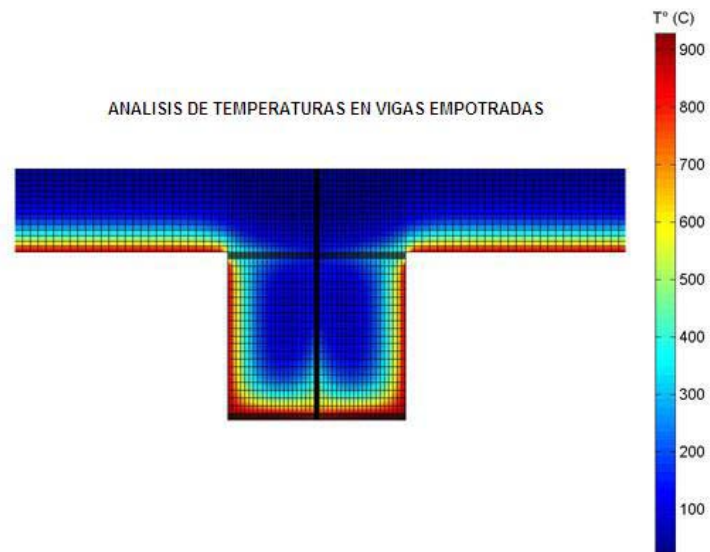


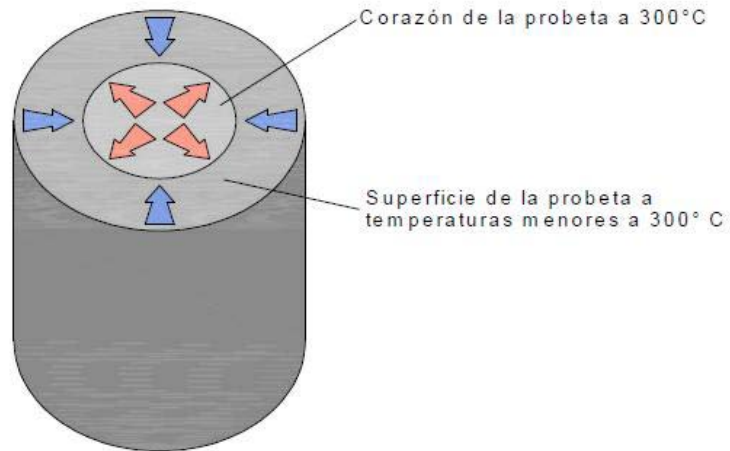
Ilustración 52, gradiente térmico en vigas de concreto

Como promedio, las temperaturas alcanzadas en condiciones de incendio mínimas son de 300°C y más. Cuando elementos de concreto a estas temperaturas son enfriados bruscamente, muchas veces por los propios sistemas de supresión de incendios sugeridos, la superficie del elemento que entra en contacto con el agua baja de temperatura más rápidamente que el núcleo de la misma.

Esta disminución de temperatura conlleva una reducción proporcional del volumen del concreto, sin embargo, debido a que el decremento de la temperatura exterior de los elementos es rápida, al no encontrarse a la misma temperatura el núcleo del elemento, no acompaña de manera proporcional esta reducción del volumen exterior.

Se tiene de esta manera una situación de movimientos de diferente magnitud confinados debido a la diferencia de temperaturas entre el interior del elemento y su superficie, lo cual termina por crear una serie de esfuerzos y fisuras que debilitan al concreto.

A este efecto se le conoce como Shock Térmico, y es una de las razones por las cuales el concreto enfriado rápidamente pierde más resistencia que un concreto que ha sido enfriado



por métodos menos bruscos.

Ilustración 53, efecto de contracción y fisuración por shock térmico

EFFECTOS DEL FUEGO EN CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA

En los últimos años, la industria de la construcción ha mostrado un interés significativo en el uso de concreto de alta resistencia (HSC, HIGH STRENGTH CONCRETE, por sus siglas en inglés). Esto es debido a las mejoras en funcionamiento estructural, tales como la durabilidad y su



Ilustración 54, efectos del fuego en concretos de alta resistencia

resistencia que puede proveer, versus una mezcla de concreto de alta resistencia.

El concreto de alta resistencia, que ha sido ampliamente utilizado en aplicaciones como puentes, estructuras aisladas, y proyectos de infraestructura, se ha extendido también su uso en columnas de edificios

A menudo, columnas de concreto de alta resistencia forman el núcleo estructural que transmite la carga principal hacia una cimentación y debido a esto la provisión de medidas de seguridad contra incendios apropiadas para estas columnas es una de las exigencias principales de seguridad en el diseño de las edificaciones. La base para esta exigencia puede ser atribuida al hecho de que, cuando otras medidas para contener el paso de fuego fallan, la integridad estructural es la última línea de defensa contra el colapso total.

17

Generalmente, los miembros estructurales (especialmente los de concreto de resistencia normal) muestran buen funcionamiento bajo situaciones de fuego. De cualquier manera, los resultados de algunos estudios han mostrado que existen diferencias bien marcadas entre las propiedades del concreto de resistencia normal y el concreto de alta resistencia, expuestos a altas temperaturas. Más allá, la preocupación se ha desarrollado en cuanto a la presencia del explosivo efecto spalling cuando el concreto de alta resistencia es expuesto a elevadas temperaturas rápidamente, como en el caso de un incendio.

Fuentes de investigación específicas al respecto, indican que el funcionamiento del concreto de alta resistencia es diferente al de resistencia normal y puede no tener un buen funcionamiento en condiciones de fuego. Además, el efecto spalling bajo condiciones de fuego es uno de las mayores preocupaciones debido a la baja permeabilidad en el concreto de alta resistencia. El efecto spalling del concreto expuesto al fuego ha sido observado bajo condiciones de laboratorio y bajo efectos de carga de fuego real. El efecto spalling, que resulta en la pérdida rápida de la masa de concreto durante un incendio, expone las capas profundas del concreto a temperaturas de fuego¹⁸, incrementando de esta manera la tasa de transmisión de calor de las capas interiores del miembro al acero de refuerzo.

La teoría indica que el efecto spalling es causado por una sobrepresión en los poros del concreto durante las condiciones de elevadas temperaturas. El concreto de alta resistencia se cree más susceptible al efecto del spalling y de la sobrepresión en los poros, debido a que comparado con el concreto de resistencia normal, tiene menos permeabilidad.

La elevada presión del vapor de agua generada durante la exposición al fuego no puede escapar por los poros debido a la baja permeabilidad y a la alta densidad del concreto de

¹⁷ Forquin, P; DYNAMIC FRAGMENTATION IN CONCRETE UNDER IMPACT AND SPALLING TESTS, International Journal of Fractures, año 2010

¹⁸ Ali, F.A. STRUCTURAL PERFORMANCE OF HIGH STRENGTH CONCRETE COLUMNS IN FIRE, Paginas 1001-1002, Worcester, Ma. USA Edición 2002.

alta resistencia, y esta presión, a menudo alcanza el punto máximo de saturación por vapor dentro del miembro de concreto.

A 300°C la presión alcanzada es más o menos equivalente a 8 mega pascales (1160 PSI), dichas presiones internas son excesivamente altas para ser resistidas por la mezcla de un concreto de alta resistencia, con una fuerza diseñada para resistir tensiones internas de aproximadamente 5 mega pascales (725 PSI). Datos de varios estudios muestran que predecir el funcionamiento en condiciones de fuego del concreto de alta resistencia y en presencia del efecto spalling en particular, es bastante complejo desde que este es afectado por un número variable de factores.¹⁹

Comportamiento de Columnas de Concreto de Alta Resistencia

Se han conducido estudios a cerca del comportamiento de las columnas de concreto de alta resistencia, y luego de las pruebas efectuadas se ha podido concluir que, existen muchos factores en el comportamiento de las columnas de concreto de alta resistencia, y que de estos factores, 2 son de suma importancia,

- Área de sección transversal del concreto
- Configuración del refuerzo de acero transversal

Estos 2 temas se tratan mas a profundidad en el capítulo 5 en el tema de protección pasiva.

Exceptuando la resistencia, tanto el concreto de resistencia normal, como el de alta resistencia tienen características físicas similares. Durante condiciones de elevadas temperaturas, tiene lugar un cambio en el área de sección transversal de una columna de concreto, de alta resistencia.

La variación de la sección transversal de las columnas en concretos de alta resistencia puede ser atribuida en parte a la variación térmica y a las propiedades mecánicas de los agregados y a la alta compacidad (baja porosidad) del concreto de alta resistencia. La baja porosidad de este afecta la medida de incremento de la temperatura hasta que las fisuras, fracturas y desprendimientos de masa por efecto spalling ocurren. Largas fisuras y desprendimientos de masa considerables ocurren en columnas de concreto de alta resistencia a partir de un tiempo de exposición de aproximadamente 3 horas.



Ilustración 55, daño por fuego en una columna de concreto en condiciones reales

¹⁹ National Research Council Canada, GUIDELINES FOR RESISTANCE DESIGN OF HIGH-STRENGTH CONCRETE COLUMNS, mayo 2005, pagina 6

Tanto las columnas de concreto de resistencia normal, como las de alta resistencia, se expanden hasta que el acero de refuerzo se deforma y luego se contraen, llegando de esta manera al punto de falla. La deformación inicial de las columnas es debida principalmente a la expansión térmica del concreto y del acero de refuerzo. En el caso de las columnas de concreto de alta resistencia, la deformación es significativamente menor que en el caso de las columnas de concreto de resistencia normal. Esto puede ser atribuido en parte al bajo coeficiente de expansión térmica de los concretos de alta resistencia, y al lento aumento de temperatura en el concreto de alta resistencia durante las etapas iniciales del incendio, debido a su alta compacidad. Cuando el acero de refuerzo en la columna gradualmente se deforma debido al incremento de la temperatura, la columna se contrae. Cuando el acero de refuerzo se deforma, el concreto carga con un incremento progresivo de porciones cada vez más grandes de la carga. La resistencia del concreto también decae con el tiempo y por último, cuando la columna no puede soportar más la carga, ocurre el colapso.²⁰

En esta etapa, el comportamiento de la columna depende de la resistencia del concreto. Existen contracciones significativas en el concreto de resistencia normal, pero estas conducen al concreto a una gradual falla dúctil. Las contracciones en las columnas de concreto de resistencia normal son inferiores. Esto puede ser atribuido al hecho que el concreto de alta resistencia se hace frágil en temperaturas elevadas.

El efecto Spalling en el concreto de alta resistencia es mucho más severo que en el concreto normal, en condiciones caracterizadas por rápidos aumentos de temperatura o por altas intensidades de fuego. Las llamas ocasionadas por hidrocarburos son una amenaza más severa para este caso.

LOSAS Y VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS Y NO RESTRINGIDAS

La resistencia al fuego en miembros de concreto, simplemente apoyados sujetos a flexión, depende principalmente del incremento de temperatura alcanzado en el acero de refuerzo. El colapso generalmente ocurre cuando a consecuencia del calentamiento, la resistencia del acero a altas temperaturas se reduce al esfuerzo en el acero. Cuando se tiene una viga o una losa expuesta al fuego, simplemente apoyada, esta tiene la libertad de poder expandirse.

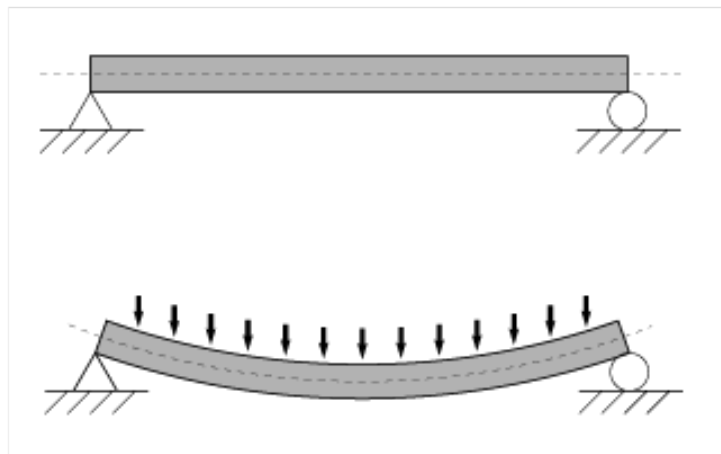


Ilustración 56, condición de losa simplemente apoyada no restringida

²⁰ Matesova, D. FACTORS AFFECTING THE RESISTANCE OF CEMENTITIOUS MATERIALS AT HIGH TEMPERATURES, año 2006, paginas 78, 79

Generalmente, se asume que en condiciones de incendios, la carga viva y la carga muerta permanecen constantes. Sin embargo, las resistencias de los materiales se ven reducidas por efectos térmicos, por lo que la capacidad de retener momentos se reduce debido al incremento de temperatura.

El funcionamiento de los elementos estructurales se ve afectado debido a que el concreto, en condiciones de exposición



Ilustración 57, exposición de armaduras por efecto de descascaramiento

prolongada a altas temperaturas, pierde su capacidad de cargas a compresión, y el acero de refuerzo, a elevadas temperaturas, deja de ser efectivo como refuerzo a tensión y empieza a fluir en el rango plástico, para deformarse permanentemente, y alcanzado este punto, el colapso de vigas o losas es inevitable.

Debido a las condiciones de apoyo para este tipo de sistemas estructurales, la resistencia de las losas y de las vigas sin restricción, simplemente apoyadas, se ve disminuida, posiblemente por el efecto de deslizamiento que sufren debido a la cedencia del acero que sirve de refuerzo a tensión, y dado que el concreto ya ha dejado de funcionar a compresión, las deflexiones, y las deformaciones suceden conforme el tiempo de exposición al fuego es más prolongado.

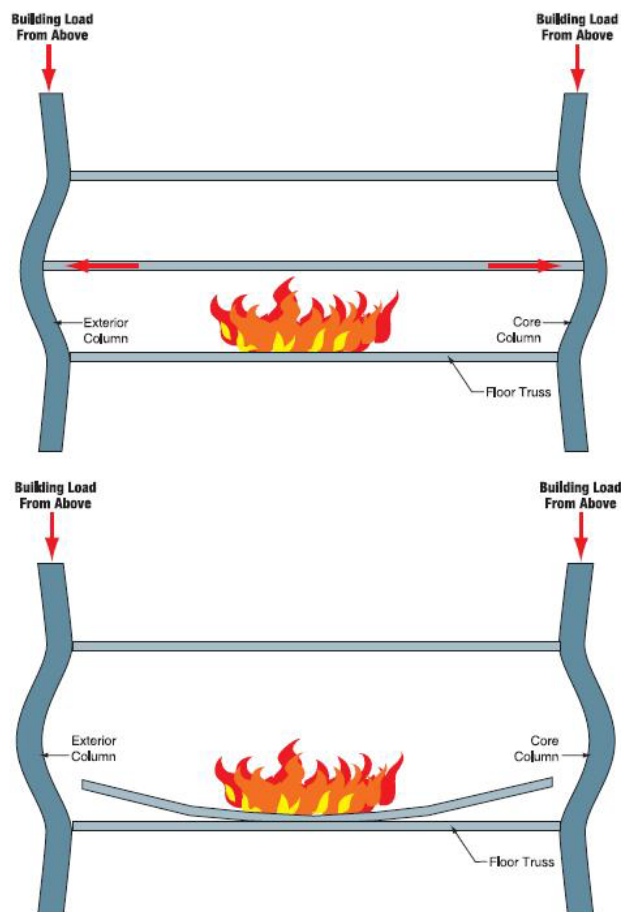


Ilustración 58, falla estructural por fuego en losas simplemente apoyadas

Cuando ocurre este tipo de daño, ya ha tenido efecto el descascaramiento y desprendimiento del revestimiento, perdiéndose considerables masas de concreto dejando expuesto al acero de refuerzo a las altas temperaturas, haciendo la estructura más vulnerable al colapso por la falla en el refuerzo a tensión.

LOSAS Y VIGAS CONTINUAS

Los elementos estructurales que son continuos o estáticamente indeterminados experimentan cambios en la distribución de esfuerzos cuando se exponen a condiciones de altas temperaturas.

Dichos cambios resultan de gradientes de temperatura entre los miembros estructurales, o bien, debido a los cambios de la resistencia de los materiales a altas temperaturas. Las vigas y las losas continuas, sujetas a esfuerzos de flexión y sin una restricción axial muestran una resistencia al fuego notablemente más alta que los miembros estructurales simplemente apoyados, de las mismas dimensiones y clases de materiales.²¹

Para el caso de las vigas continuas, las cuales han sido expuestas al fuego en su superficie inferior, se deduce que la parte inferior de la viga llega a calentarse y a expandirse más que la parte superior de la viga, esta diferencia de calor causa que los extremos de la viga tiendan a levantarse de sus apoyos, incrementando de esta manera el valor de la reacción en el interior del apoyo. Esta acción trae como

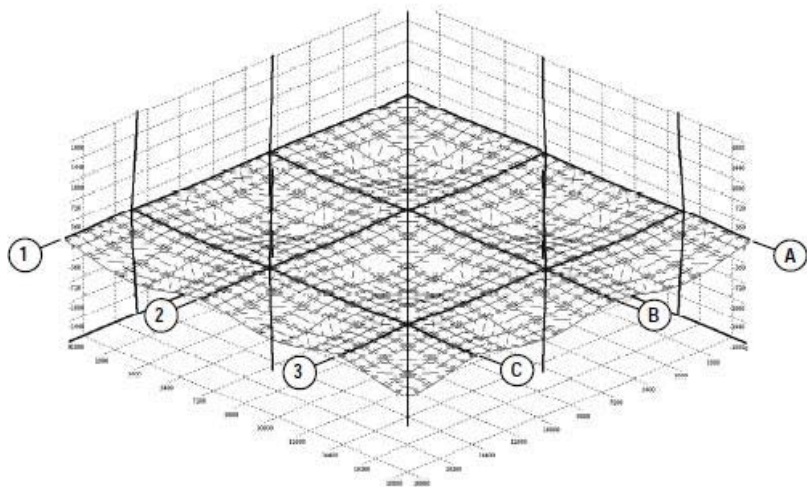
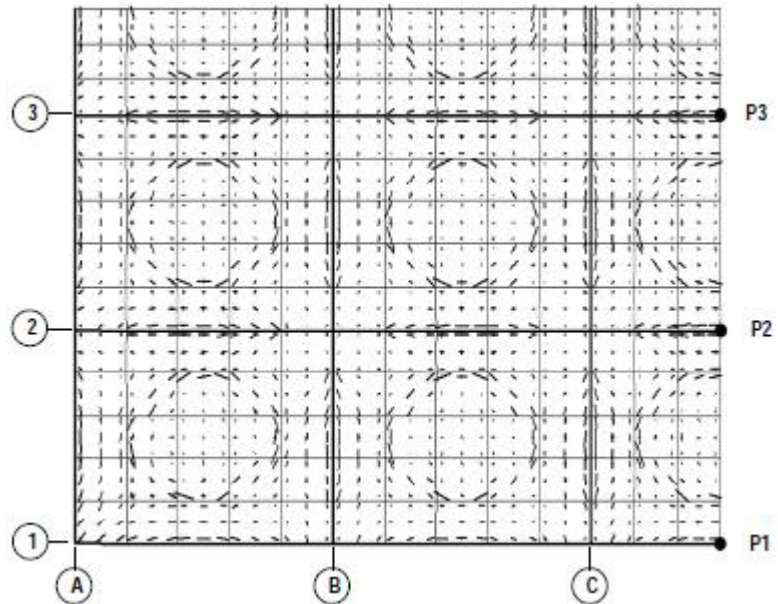


Ilustración 59, falla estructural en losas por debilitamiento de armaduras

²¹ Huang, Z., Platten, A., NON LINEAR FINITE ELEMENT ANALYSIS OF PLANAR REINFORCED CONCRETE MEMBERS SUBJECTED TO FIRE, ACI structural Journal, año 1997, paginas 272-282, extracto

consecuencia una redistribución de los momentos, provocando que el momento negativo en el interior de los apoyos se incremente, mientras que los momentos positivos decrecen. De esta manera, se logran condiciones favorables en las regiones medias de los claros, ya que se aligeran los momentos de esa región, en tanto que las regiones de apoyo sufren esfuerzos en mayor grado.

Durante el curso de un incendio, se asume que el refuerzo de momento negativo permanece más frío que el refuerzo de momento positivo ya que esta mejor protegido. Generalmente la redistribución que ocurre es suficiente para causar la fluencia del acero de refuerzo en la región de apoyo y el decremento positivo puede ser calentado a temperaturas más altas antes que la falla estructural ocurra.²²

Así, resulta aparente que la resistencia al fuego de vigas o de losas continuas de concreto reforzado es, significativamente mayor que el de una viga simplemente apoyada cargada con la misma intensidad de momentos.

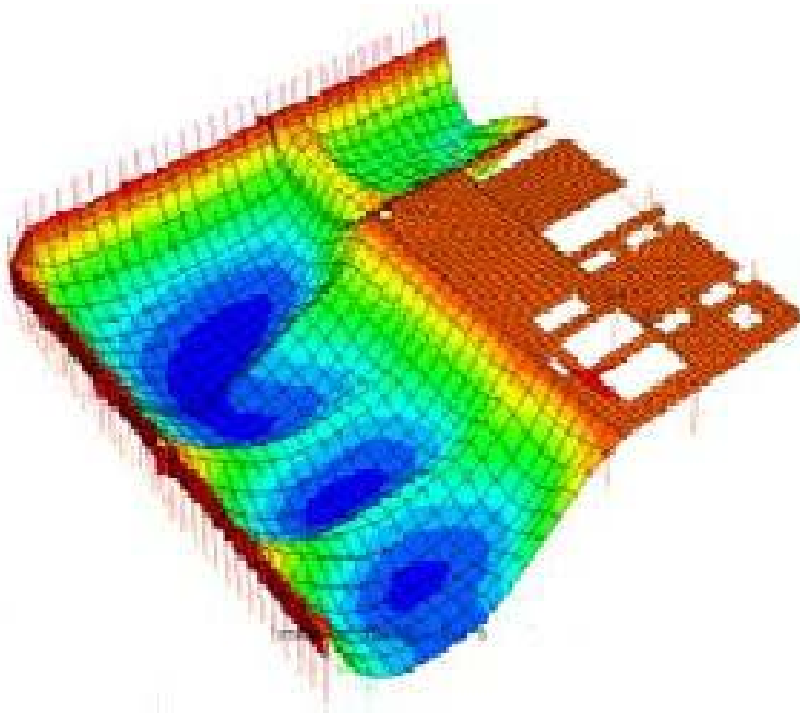


Ilustración 60, mapa térmico de la acción del calor en un sistema de losas y vigas continuas

²² Figuras, obtenidas de MODELLING MEMBRANE ACTION OF CONCRETE SLABS IN COMPOSITE BUILDINGS IN FIRE, PART I, THEORETICAL DEVELOPMENT. Año 2003, pagina 109

COMPORTAMIENTO DEL ACERO ESTRUCTURAL EN CONDICIONES DE ALTA TEMPERATURA

Síntesis preliminar

Una de las características principales del acero estructural expuesto a altas temperaturas, es que por su propia naturaleza es un excelente conductor del calor. Por lo tanto, los efectos de las altas temperaturas se transmitirán a todo el sistema estructural, que este interconectado.

En Guatemala, anteriormente era utilizado el acero estructural A35 y A36, actualmente según normativa AGIES NSE6, Capítulo 10, el acero estructural recomendado para construcción es el acero producido bajo reglamentación ASTM A992 Grado 50.²³



Ilustración 61, sistema constructivo de acero estructural

Comúnmente hablar de un sistema constructivo en acero estructural, implica la interacción del acero y del concreto, ya sea en un sistema mixto por estructura portante de acero y losas de concreto, o en un sistema en el que los miembros de acero estructural se encuentran revestidos por concreto. Existen pocas aplicaciones en las cuales se hable de un sistema que sea completamente en acero, aunque existen algunas que permiten hacerlo.

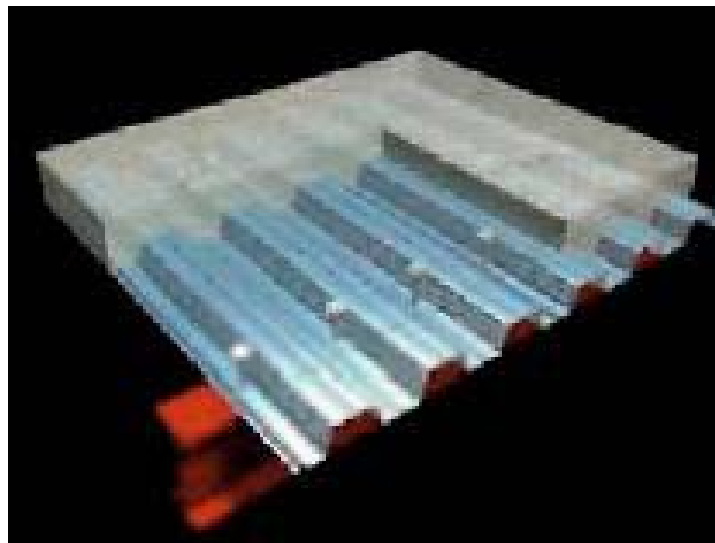


Ilustración 62, sistema estructural mixto, acero y concreto

En el capítulo anterior, se ha examinado de una forma aplicable a la arquitectura, y acorde al conocimiento del estudiante de la Facultad de Arquitectura, el comportamiento y las reacciones del concreto en condiciones de alta temperatura. Como ya hemos dicho, los sistemas

²³ Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica AGIES, Norma NSE6, Capítulo 10, edición 2010.

estructurales a base de acero estructural, son sistemas mixtos, porque utilizan en concreto como superficie de aplicación de cargas, y el acero como material de apoyo para la transmisión de las mismas hacia la cimentación y luego hacia el suelo.

Acero estructural, composición química

El acero es básicamente una aleación o combinación de hierro y carbono, en cantidades que pueden oscilar entre un 0.05% hasta un máximo de 0.02%. Algunas veces otros elementos de aleación específicos tales como el Cromo o el Níquel se agregan con propósitos determinados.

El acero es en su mayoría hierro altamente refinado, llevado por distintos procesos a una pureza de más del 98%, y su fabricación comienza con la reducción de hierro, producto del arrabio, el cual más tarde se convierte en acero.



Hierro, mineral en estado natural

Ilustración 63, hierro en estado puro, mineral sin procesar

El hierro puro es uno de los elementos del acero, por lo tanto consiste solamente de un tipo de átomos. No se encuentra libre de en la naturaleza ya que químicamente reacciona con facilidad con el oxígeno del aire para formar Oxido de hierro (herrumbre) el oxido se encuentra en cantidades significativas en el mineral de hierro, el cual es una concentración de oxido de hierro con impurezas y materiales térreos.



Carbon, mineral en estado natural

Ilustración 64, carbón mineral, en estado natural

Los aceros para la construcción son aceros aleados, estructurales, que contienen una porción determinada de vanadio, molibdeno y otros elementos, además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre, que los aceros al carbono normales. El contenido de su aleación varía desde 0.25% a un 6%. La adición de algunos materiales en mínimas cantidades es hecha con el propósito de mejorar algunas de sus

condiciones, para favorecer procesos de soldabilidad, adherencia de productos anticorrosivos, etc.

EFFECTOS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL ACERO ESTRUCTURAL EN ALTAS TEMPERATURAS

La resistencia al fuego de todas las construcciones de acero estructural, depende de la capacidad de resistir esfuerzos, así como de su eficiencia para la transferencia de cargas, el cual si no es debidamente protegido de las altas temperaturas que puede ocasionar un incendio, comienza a debilitarse a tal punto, que le es imposible soportar carga. Por lo anteriormente expuesto, se hace necesario conocer el cambio sufrido en las propiedades mecánicas del acero a temperaturas elevadas. Para este estudio son de importancia las siguientes propiedades:

- **Expansión térmica**
- **Resistencia y límite de fluencia**
- **Modulo de elasticidad**
- **Deformación hasta la rotura**
- **Conductividad térmica y calor específico.**

EXPANSION TERMICA

El coeficiente de expansión térmica del acero varía con la temperatura, de una manera diferente a la del concreto pero, generalmente a altas temperaturas su valor esta cercano al del concreto.²⁴

Los cambios en el coeficiente de expansión térmica del acero a temperaturas elevadas están relacionados con los cambios de fase y la composición cristalina del acero, su valor se incrementa con la temperatura hasta los 649°C y decrece a cero en el rango de los 816°C, luego, se incrementa otra vez.

El coeficiente de expansión térmica promedio para el acero estructural entre la temperatura ambiente y 37.8°C según la AISC es de 0.0000117 por grado centígrado, y para temperaturas mayores viene dado por la siguiente expresión:

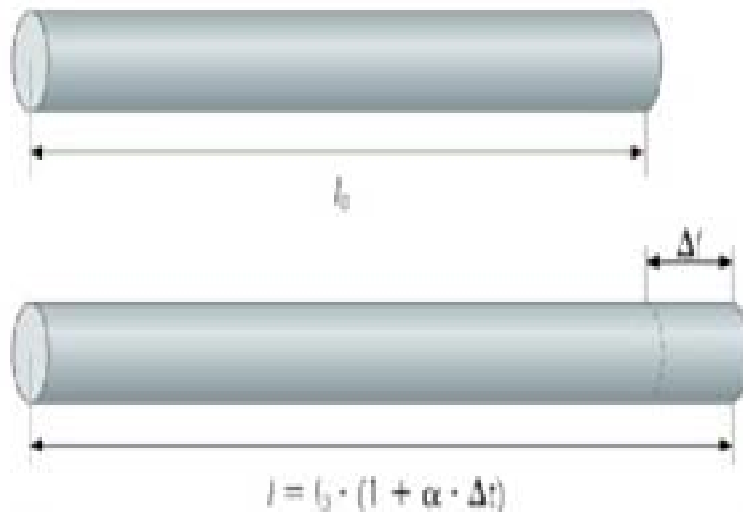


Ilustración 65, expansión térmica del acero por efecto de temperatura

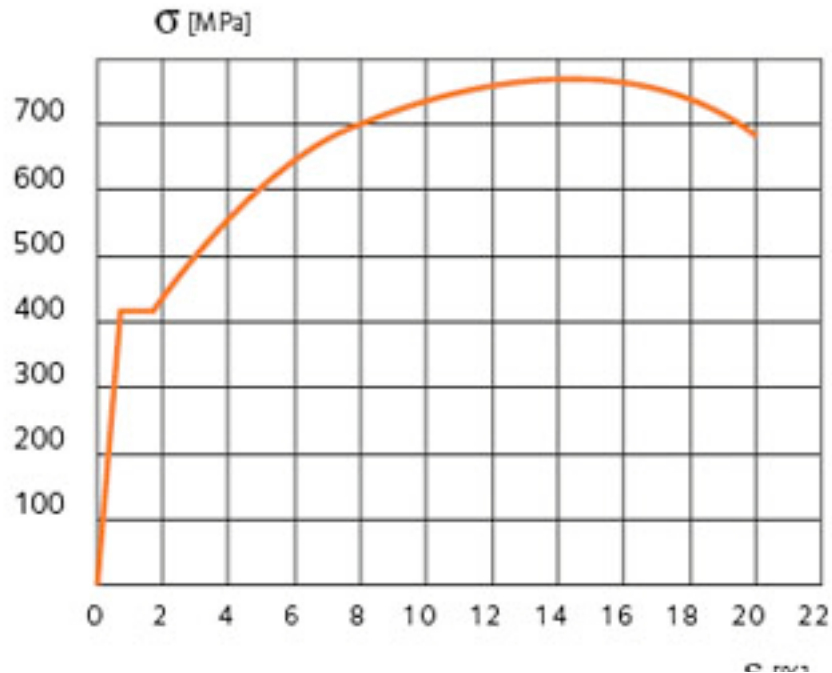
²⁴ Manual of Steel Construction, American Institute of Steel Construction AISC

$$= (11 + 0.0036 \theta) * 10^{-6} / \text{grado centígrado}$$

En la cual “ θ ” es la temperatura en Grados Centígrados.

RESISTENCIA Y LÍMITE DE FLUENCIA

La resistencia del acero decrece con el aumento de la temperatura. La influencia de la temperatura sobre la resistencia en ciertos tipos de acero, está relacionada con el límite de fluencia de los aceros estructurales, y las resistencias últimas para varillas de acero aliadas de alta resistencia usadas en concreto presforzado y para aceros estructurales o rolados en caliente, es levemente más alta a temperatura arriba de los 260°C



que cuando están a temperatura ambiente, luego, decrece linealmente hasta los 370°C y entre los 500 y 600°C se ha reducido más de la mitad de su valor inicial.

Finalmente, a 700°C permanece menos del 20% de su resistencia a la fluencia original.

Finalmente, a 700°C permanece menos del 20% de su resistencia a la fluencia original.

Contrariamente a la concepción equivocada que se tiene, el límite de fluencia de las varillas aliadas de alta resistencia para concreto presforzado no es menor que las de las

Varillas de refuerzo ordinario, y es a los 650°C que sus valores coinciden (acero estructural y acero de alta resistencia)²⁵

MODULO DE ELASTICIDAD

El modulo de elasticidad es la constante elástica que relaciona una medida de la tensión y la deformación unitaria de los materiales en el rango elástico.

Representando el esfuerzo en función de la deformación unitaria para el acero estructural, se obtiene una curva semejante a la mostrada en la grafica. Durante la primera parte de la curva, el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria, y se encuentra el material

²⁵ Petterson, O., Magnussen, S. Thor, J., FIRE ENGINEERING DESIGN OF STEEL STRUCTURES. Año 1,976

trabajando en la región de la curva elástica. Cuando se disminuye el esfuerzo, el material vuelve a su longitud original.

Si se sigue aumentando el refuerzo la deformación unitaria aumenta rápidamente, pero al reducir el esfuerzo, el material no recobra su longitud inicial, y la deformación se hace permanente hasta la falla del material.

El módulo de elasticidad del acero decrece con el incremento de la temperatura, pero, no tan excesivamente como en el concreto.

La variación en aceros ferríticos permite notar que el decremento es constante hasta los 480°C y a más

de esta temperatura el módulo decrece en un rango alto. La mayoría de los investigadores indican que el módulo de elasticidad no depende de la micro estructura del acero.

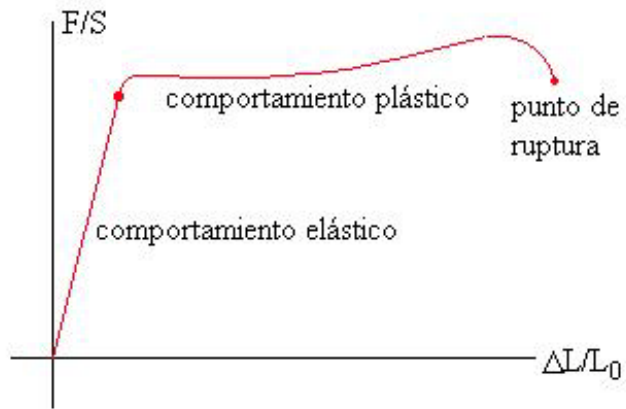


Ilustración 67, grafica esfuerzo - deformación

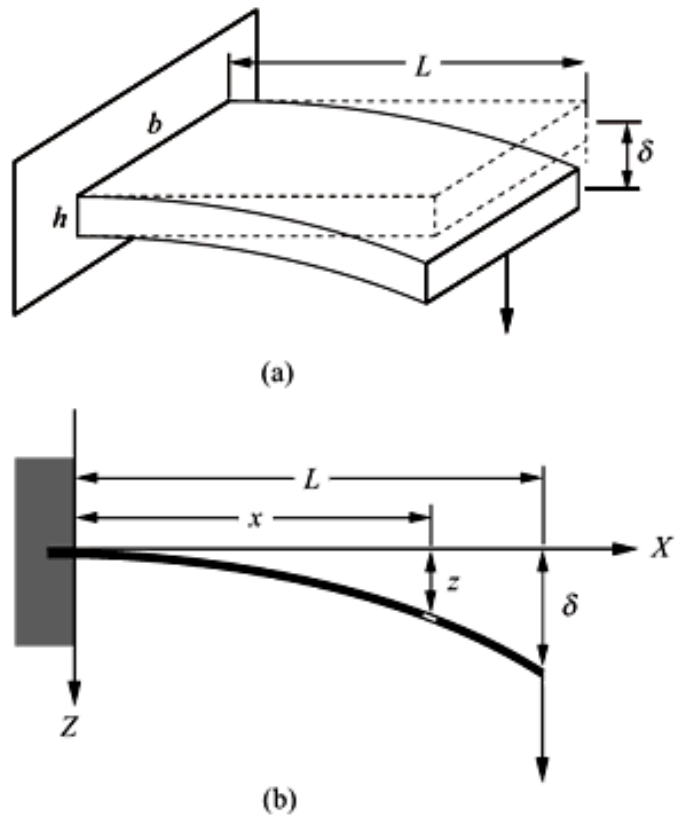


Ilustración 68, elasticidad del acero

DEFORMACION HASTA LA ROTURA

El acero, al estar expuesto a fuego, por efecto de temperatura sufre deformaciones importantes en su estructura física y química. Una de ellas es la rotura hasta la deformación.

En condiciones de deformación en frío, el acero estructural sufre un cambio por tensión, en donde al momento de disminuir la sección,

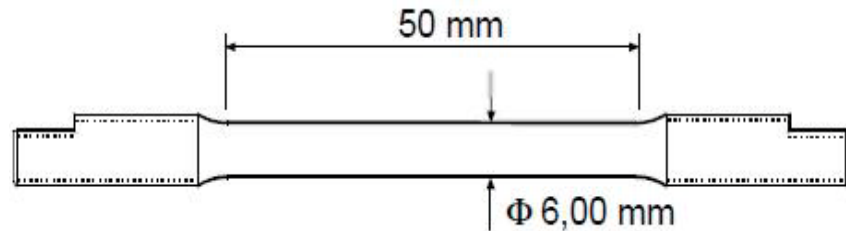


Ilustración 69, deformación de una barra de acero en tensión

se produce un cambio en la estructura física del acero, y tiende a generar una mayor resistencia, hasta que alcanza el punto de fatiga, y la deformación y rotura son inevitables.

En altas temperaturas, el fenómeno que ocurre es que la capacidad del acero de resistir esfuerzos de tensión, se ve alterada notoriamente, debido al efecto del calor. Esto ocasiona que tanto por la modificación del modulo de elasticidad, como por la masa ablandada del acero, se deforme más rápidamente, y tenga más problemas por rotura que un acero estirado en frío.

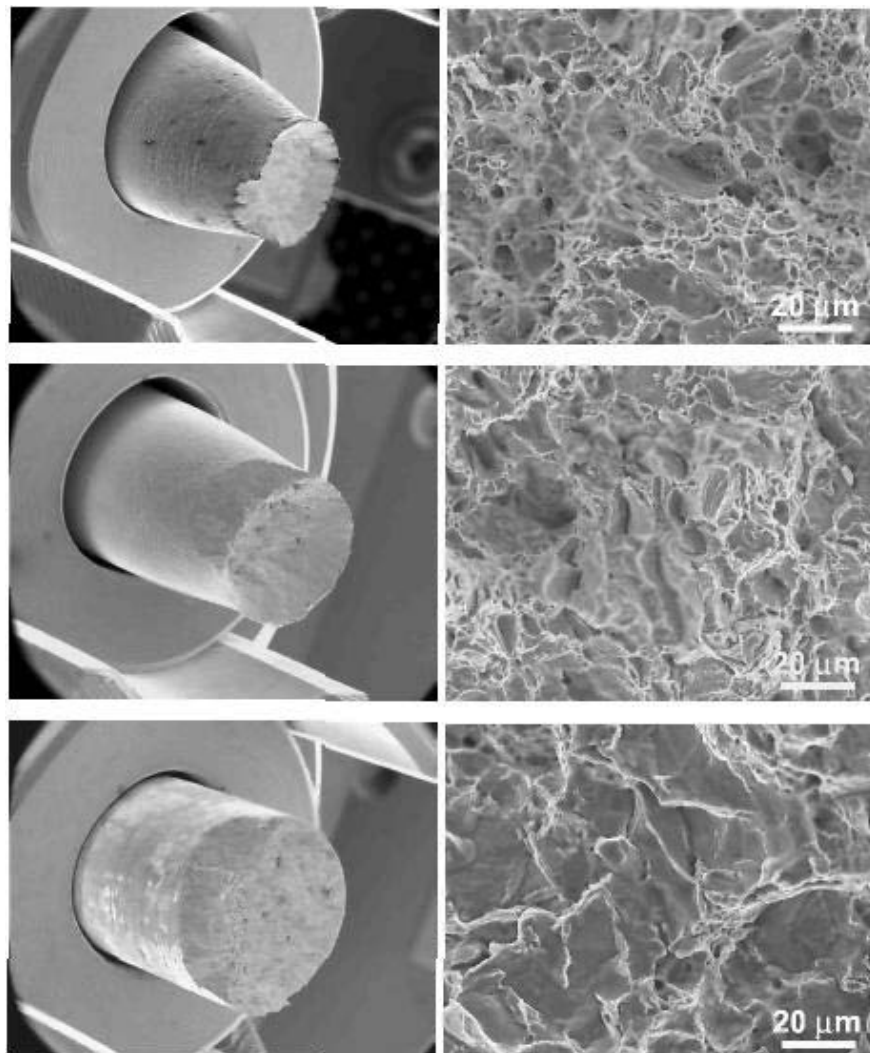


Ilustración 70, deformación hasta la rotura en probetas de acero, fotografías y microfotografías de probetas ensayadas en caliente

El cambio en la deformación hasta la rotura, de un acero dulce bajo la influencia de las altas temperaturas, se puede notar que debajo del 200°C decrece rápidamente, pero en regiones de temperaturas mayores se incrementa y a los 600°C la deformación de falla es aproximadamente el doble de lo que es a 20°C.

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA Y CALOR ESPECÍFICO

La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción del calor. En otras palabras, la conductividad térmica es también la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras moléculas adyacentes o a sustancias con las que está en contacto.

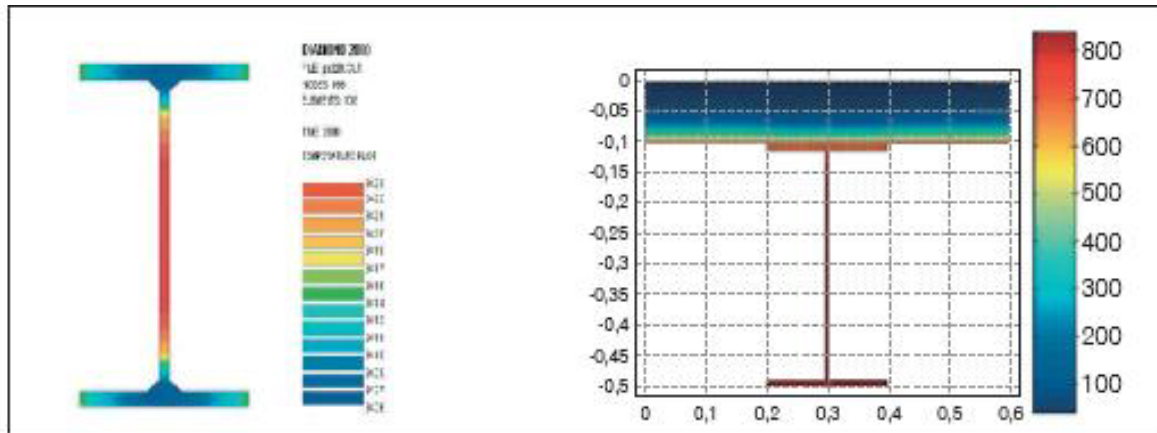


Ilustración 71, conductividad de un perfil de acero, mapa de gradiente térmico

La conductividad térmica es una magnitud inversa. Su inversa es la resistividad térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor.²⁶

La conductividad térmica de los aceros normalmente usados en la construcción disminuye con el incremento de la temperatura. El coeficiente de transferencia de calor del hierro puro y del acero estructural con un contenido de carbón de 0.8% es la tasa que normalmente se encuentra hablando de transferencia de calor para la mayoría de los aceros estructurales.

Es importante destacar que a comparativamente bajas temperaturas, por ejemplo en el inicio de un incendio, los coeficientes de transferencia del calor del acero son de 30 a 50 veces más grandes que los del concreto, esto afecta por consiguiente el comportamiento de miembros estructurales reforzados durante su exposición al fuego.

El calor específico del acero y el hierro se incrementa con el ascenso de temperatura. Así, a temperatura ambiente el calor específico del acero es, aproximadamente,

$$C = 0.11 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{C}$$

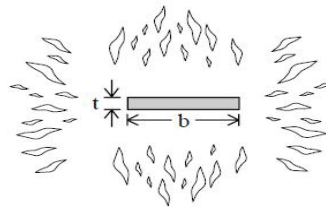
Y a 800°C es de

$$C = 0.2 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{C}$$

²⁶ Diccionario Enciclopédico Océano UNO, edición 1998

Factor de Masividad o de forma

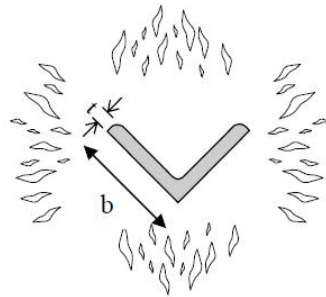
De acuerdo también al tipo de perfil de acero, y de su masividad, así será también forma en la que el calor será conducido, o irradiado según



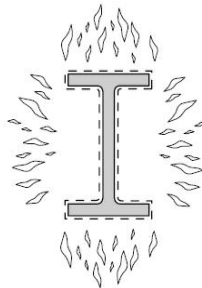
$$\frac{u}{A} = \frac{2(b+t)}{bt}$$

sea el caso.

Este es un concepto bastante importante a ser tratado, el de la masividad, debido a que influencia de una manera directa la temperatura a ser transmitida durante la ocurrencia de un incendio. Factor de Masividad o de forma, es una relación entre el area expuesta al fuego y el volumen calentado de un cuerpo. En el caso de las vigas, el factor de masividad puede ser expresado por la relación entre el perímetro expuesto al fuego (U) y el area de sección transversal (A)

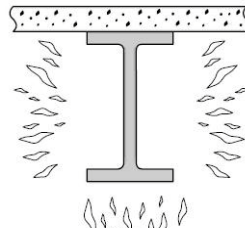


$$\frac{u}{A} = \frac{2}{b}$$



$$\frac{u_m}{A} = \frac{\text{perímetro da seção da peça de aço}}{\text{Área da seção da peça de aço}}$$

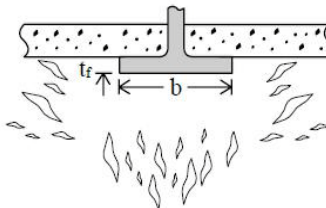
A continuación, se presentan algunas condiciones de transferencia de calor dependiendo del tipo de perfil estructural del que se esté



$$\frac{u}{A} = \frac{\text{perímetro exposto ao incêndio}}{\text{área da seção transversal}}$$

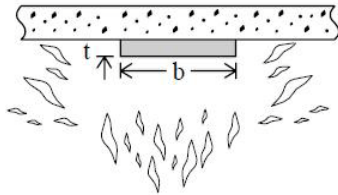
hablando:

Resulta un factor de suma importancia tomar en consideración que la relación temperatura-tiempo, son funciones directas del factor de masividad para los perfiles con diferentes tipos de sección transversales.

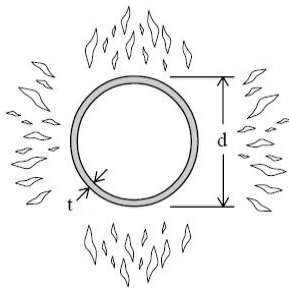


$$\frac{u}{A} = \frac{b + 2t_f}{bt_f}$$

Se ha determinado que para los perfiles laminados, cuanto más esbelta sea su sección transversal estructural, mayor será su factor de masividad, y por consiguiente, su calentamiento será más rápido que para una sección de menor esbeltez.²⁷



$$\frac{u}{A} = \frac{b + 2t}{bt}$$



$$\frac{u}{A} = \frac{d}{t(d-t)}$$

EFFECTOS DEL FUEGO EN LAS ESTRUCTURAS DE ACERO

Las estructuras de acero, como ya se hizo mención, son en su mayoría sistemas mixtos, que necesitan en la mayoría de los casos de proyectos arquitectónicos del concreto para poder funcionar como una obra de arquitectura terminada.

Los perfiles de acero que en la actualidad se pueden utilizar en los proyectos de arquitectura, varían en formas y dependiendo del diseño estructural y de los requerimientos arquitectónicos, (ya que debemos recordar que la estructura está supeditada a la arquitectura y no al revés) y es por ello que existe gran cantidad de perfiles utilizables en la construcción con acero estructural.

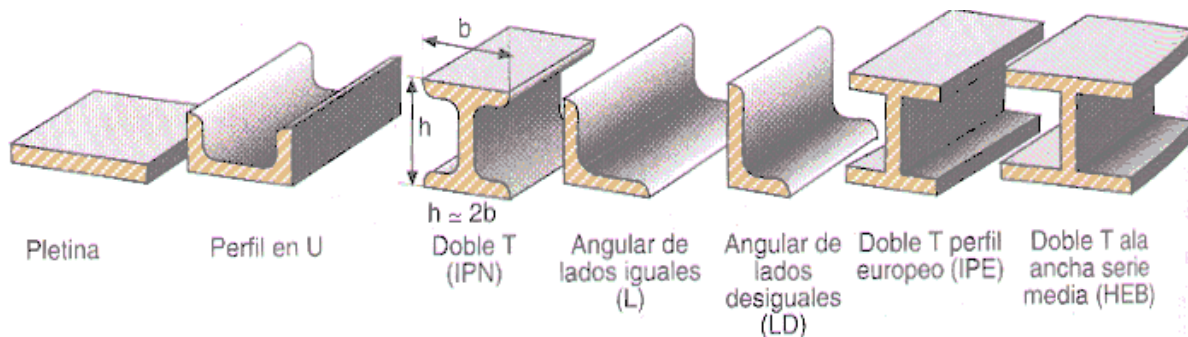


Ilustración 72, perfiles de acero estructural más usados en la construcción

²⁷ Elicarlos Vionet Scaramussa Correia, COMPORTAMENTO, ANALISE E PROCEDIMENTOS DE AUTOMATIZAÇÃO NO DIMENSIONAMENTO AO FOGO DE ESTRUTURAS DE AÇO, tesis de Graduación, Brasil, 2007. Pagina 60, texto y figuras cortesía del autor.

Las estructuras de acero, tienen múltiples aplicaciones en el campo de la arquitectura, y debido a ello, varía tanto su tipología desde el punto de vista estructural, como desde el punto de vista materiales de construcción.

Los miembros estructurales pueden ser:

- totalmente de acero estructural, en el caso del diseño de marcos de acero para sustento estructural de edificios, estructura para techos en forma de marcos compuestos por vigas o tijeras, estos manufacturados a partir de los principales perfiles de acero existentes, ya sea laminados en caliente o rolados en frío, lo cual les confiere diferentes propiedades y aplicaciones dentro de un sistema estructural dado para un determinado proyecto de arquitectura.
- mixtos, perfiles de acero embebidos en concreto o perfiles de acero rellenos de concreto, o sistemas portantes de losa cero, tridilosa (losas de concreto apoyadas sobre estructuras tipo Joist),
- armaduras tridimensionales, como soporte para techos o estructuras utilitarias, según sea el caso.



Ilustración 73, Perfiles de acero tipo WF

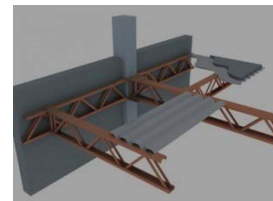


Ilustración 74, losa apoyada sobre vigas joist

Ambos elementos tienen una manera diferente de reaccionar en condiciones de incendio dado que en el caso de los elementos totalmente de acero estructural, dependen únicamente de su masa de acero y del módulo de elasticidad para poder resistir y transmitir la carga de una manera eficiente, dado que el material se encuentra expuesto en su totalidad a los efectos del fuego, por lo que sufrirá los daños por exposición en todo el miembro estructural, y no tendrá ningún material de aporte que absorba o retrase los efectos de la conductividad de calor propia del acero.

En el caso de los elementos mixtos, tienen diferente manera de reaccionar ante el fuego, y aunque obedece inicialmente a exigencias de carga y solicitaciones de servicio del diseño estructural, también se les diseña de esta manera pensando en la resistividad al fuego que un sistema de esta naturaleza puede proporcionar a los miembros estructurales del proyecto arquitectónico que se esté diseñando.

Miembros estructurales totalmente de acero

El acero es un magnífico conductor de calor. Un sistema estructural de marcos de acero estructural, es mantenido en sujeción por medio de uniones pernadas (atornilladas) o uniones soldadas efectuadas con soldaduras de arco. Los efectos de las temperaturas en el acero, como ya se ha dicho, afectan tanto el módulo de elasticidad, y la deformación hasta la rotura. Ambos efectos resultan en el colapso, debido a que el acero estructural bajo efecto de las altas temperaturas al momento de verse afectado su módulo de

elasticidad, pierde su capacidad de carga, y de acuerdo al tipo de uniones del que se esté hablando, puede inducir una falla por deslizamiento de elementos estructurales de sus apoyos ya sea en acartelamientos, traveses o ménsulas (de concreto o de acero según sea el caso)

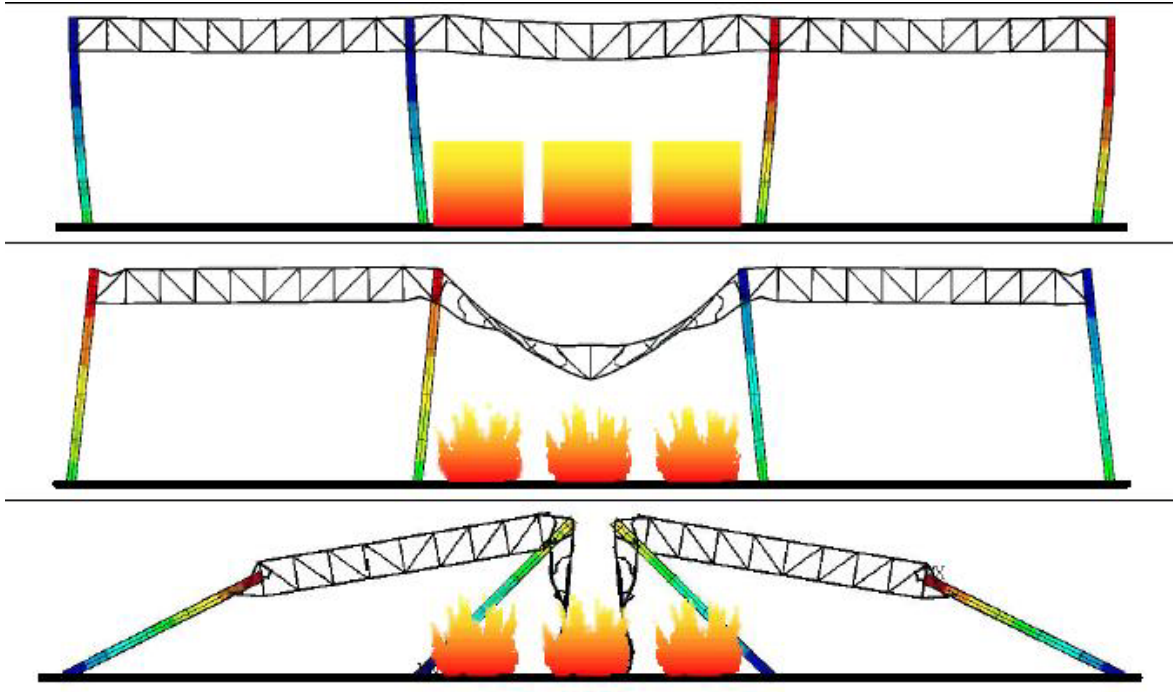


Ilustración 75, Falla por ductilidad en estructuras de acero compuestas

El acero, al momento estar expuesto a efectos de altas temperaturas, reaccionara de diferente manera si está trabajando por flexión pura bajo efectos de carga, como en el caso de las vigas que soportan losas de concreto, si está trabajando como una viga de conexión sujeta a efectos de tensión o de compresión puras según sea el caso, o de las condiciones de sujeción, si son rígidas, pernadas, soldadas o móviles, de acuerdo al diseño estructural.

Fallas por deslizamiento en apoyos

Tienen lugar en los empotramientos en los marcos estructurales. En un sistema de estructura de acero, todos y cada uno de sus componentes están interconectados por medio de placas de unión, ya sea soldadas o atornilladas. Debido a esto, al momento de haber un decrecimiento

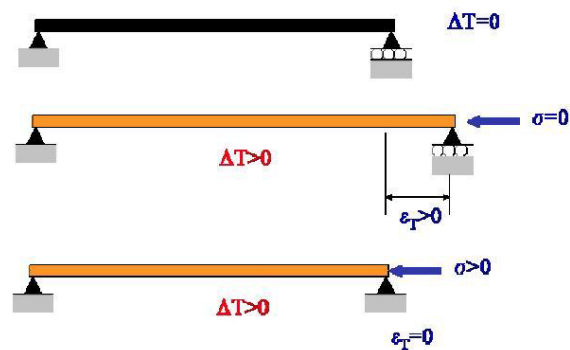


Ilustración 76, elongación del acero por temperatura

en el modulo de elasticidad de los materiales, los apoyos estarán sometidos a solicitaciones de servicio que involucraran efectos de corte en los pernos de

las placas de unión, efecto que variara conforme la viga que está conectada con ellos vaya cediendo por efectos de temperatura o por shock térmico, y tendrá lugar una falla

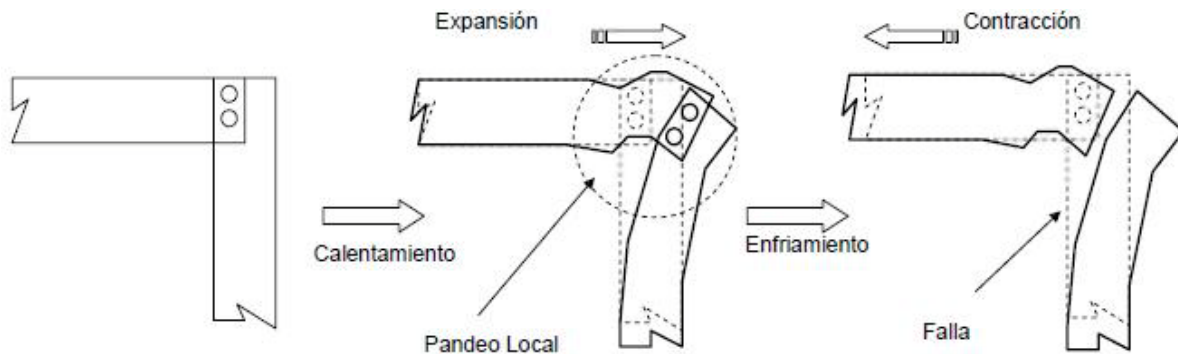


Ilustración 77, falla por deslizamiento y ductilidad en piezas de acero en altas temperaturas

combinada por dilatación, corte o cizalladura y por contracción en el elongamiento de los materiales. La variación en la dilatación de longitud del miembro estructural, juega un papel muy importante en este efecto dado que mientras mas se dilate el material, mayor será el efecto de corte en los pernos de unión de los apoyos, propiciando que la falla sea inevitable.²⁸

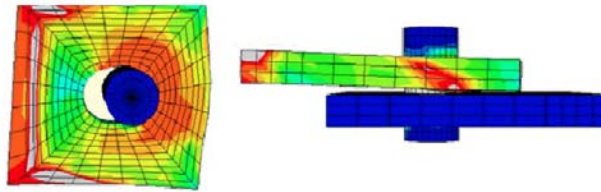


Ilustración 78, falla por corte en apoyos articulados en altas temperaturas

Fallas en perfiles compuestos perforados (Vigas Celulares)

Los perfiles compuestos de acero estructural rolado, muchas veces se ven modificados para disminuir peso (masa) y economía de costos, persiguiendo secciones que sean eficientes y que a la vez sean livianas.

Este tipo de perfiles ofrecen ventajas a la arquitectura del proyecto, dado que permiten el diseño y la construcción de marcos mas esbeltos y livianos, a la vez



que permiten vigas de configuraciones curvas y de

Ilustración 79, proceso de corte de alma de vigas WF en fabrica

²⁸ Dr. Tiziano Perea Olvera, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, material educativo para curso resistencia de materiales.

secciones variables, debido a que se ha eliminado peso en el cuerpo del perfil.

Los sistemas de vigas con secciones celulares, tienen comportamientos específicos bajo condiciones de fuego y de carga, siendo afectados por pandeo lateral, por torsión, y fallan en

múltiples ocasiones por efectos de compresión.

Debido a la esbeltez y al coeficiente de masividad, este tipo de secciones, aunque sean más livianas y con un coeficiente de carga que las haga eficientes, las vuelve susceptibles a rápidos incrementos de temperatura, con la respectiva fatiga del material por falla de su sección media (alma)

Las fallas comúnmente observadas en este tipo de perfiles

son por aplastamiento en la sección donde se reduce la cantidad de masa de acero que soporta los esfuerzos.



Ilustración 80, Estructura de Vigas Celulares de acero

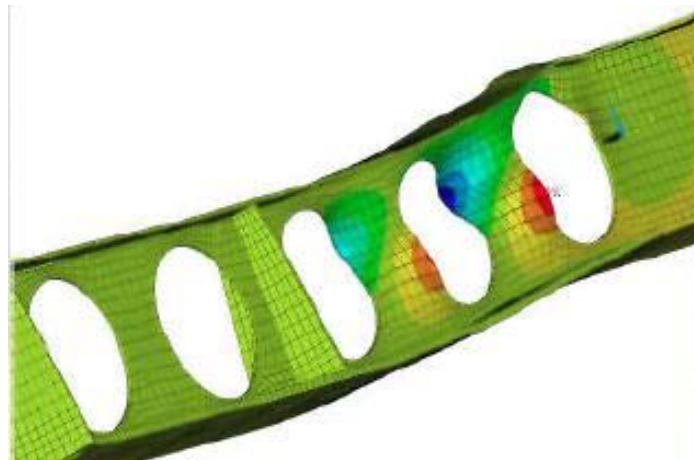


Ilustración 81, modelo digital de deformación (pandeo lateral) por efectos de fuego en viga celular



Ilustración 82, Viga Celular dañada por fuego en un incendio real

Fallas Tipo Diafragma en losas de concreto apoyadas en estructuras de acero

Como ya se ha dicho, el acero estructural es un sistema mixto, que trabaja al mismo tiempo con superficies de concreto.

Los elementos portantes, en el caso de las vigas, por lo regular son miembros de perfil WF, los cuales son posicionados para transmitir las cargas hacia el sistema de columnas principal, y de ahí hacia la cimentación.

La capacidad del acero para poder soportar esfuerzos de tensión, se ve disminuida con el aumento de temperaturas, dando origen a que los elementos utilizados como vigas conectoras de transición de carga, sean estas primarias o secundarias, se vean afectadas por efectos de pandeo, fluencia, deformación o

incluso rotura de miembros estructurales, aunque

generalmente la mayor parte del tiempo que estas fallas tienen lugar, lo hacen a tensión, y tiene lugar una falla de tipo diafragma, en las cuales la viga de acero transmite la temperatura a la lamina de refuerzo que a su vez soporta el concreto. Este, al verse afectado por efectos térmicos, se fisura, y permite el paso de la temperatura al acero de refuerzo dentro de él, haciendo que este también alcance su punto de fluencia, y llegue al colapso.

Tipicamente, este tipo de fallas dan lugar a hundimientos de las superficies de las losas, que generalmente quedan soportadas solo por sus extremos, y se hunden por la parte del centro.

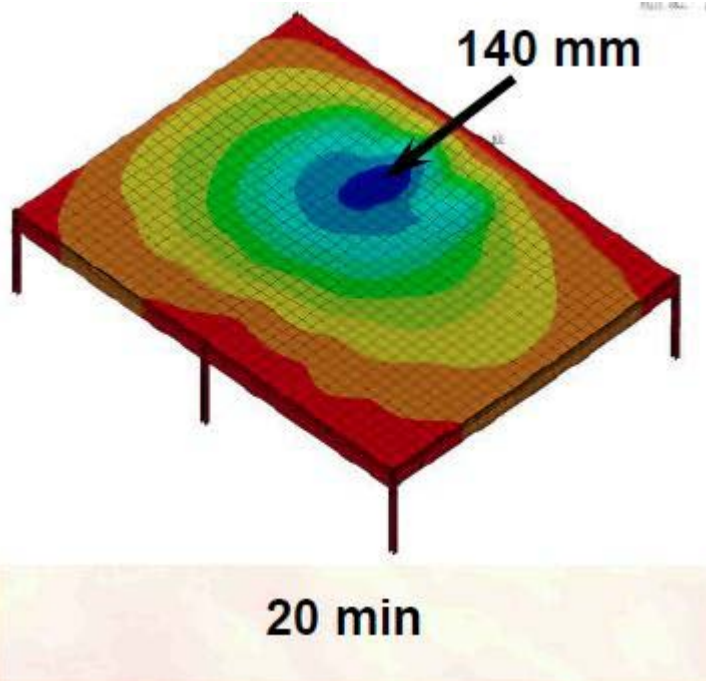


Ilustración 83, modelo digital de falla tipo diafragma en losas de concreto apoyadas en vigas WF

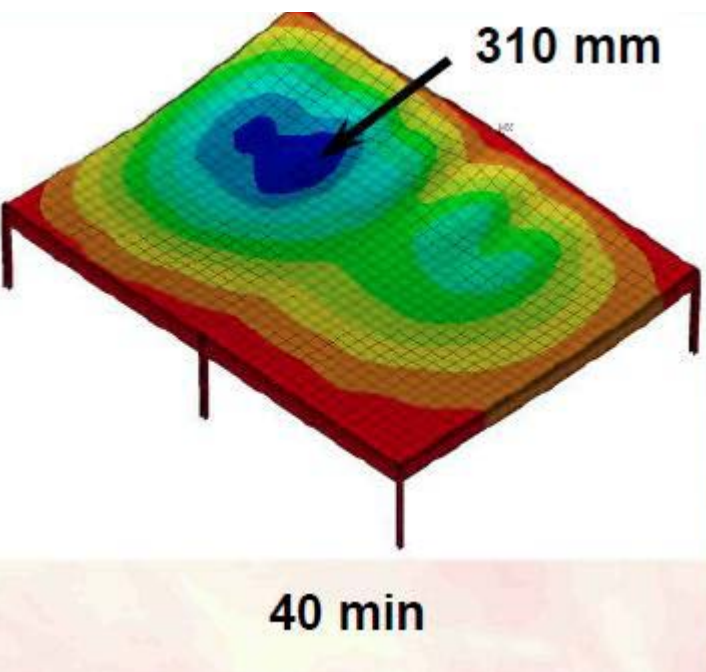


Ilustración 84, modelo digital de falla tipo diafragma en losas de concreto apoyadas en vigas WF, 40 minutos de exposición



Ilustración 85, Colapso por falla tipo diafragma en una estructura mixta de acero y concreto

FALLAS POR FUEGO EN COLUMNAS TUBULARES DE ACERO

En la construcción de algunos proyectos de arquitectura, se utilizan perfiles tubulares de acero estructural como columnas, esto, debido a la versatilidad que ofrecen tanto por su geometría, como por su capacidad de carga. Se debe tener en cuenta que por lo general, la resistencia al fuego de elementos estructurales de acero sin revestimiento es de 30 minutos.²⁹



Ilustración 86, perfiles tubulares (columnas tubing) de acero estructural

Los principales factores que influyen en la resistencia al fuego de las columnas

de perfiles tubulares de acero son:

- nivel o sollicitación de carga
- forma y tamaño de la sección transversal
- longitud de pandeo

Como sistema constructivo, la condición en la cual estos perfiles pueden funcionar es:

²⁹ Guía de diseño para columnas de perfiles tubulares estructurales sometidas a fuego, L. Twilt, R, Hass, W. Klingsch, M. Edwards, D, Dutta, editorial CIDECT, Alemania, 1996

- secciones huecas, sin armadura
- secciones solidas, con armadura y rellenas de concreto

las columnas de seccion hueca, sin armadura, simplemente de acero, poseen solo una resistencia al fuego limitada. Dependiendo del nivel de carga y del factor de forma (solidez) puede conseguirse una resistencia al fuego de 15 a 20 minutos, en casos excepcionales se lograra una resistencia al fuego de 30 minutos.

Las columnas de secciones solidas tubulares con armadura y rellenas de concreto tienen una capacidad portante mucho mayor que el de las columnas vacias, y sin proteccion. Con este tipo de configuracion estructural puede lograrse hasta 30 minutos de resistencia al fuego, y mientras aumenta su seccion transversal, y añadiendo acero de refuerzo mayor, se puede incrementar la resistencia por fuego hasta a 120 minutos.

ambos perfiles, tiene diferente manera de reaccionar frente a condiciones de temperatura, en funcion de cómo sean utilizados en el proyecto, y basicamente a efectos de este estudio, se toma en cuenta 2 factores importantes a tener en cuenta al momento de diseñar contra incendios:

- respuesta mecanica
- respuesta termica

Respuesta Mecanica

La respuesta mecanica del material, es el parametro que indica la temperatura a la cual la columna se agotara, y alcanzara su estado de temperatura critica.



Ilustración 87, falla por fatiga de una columna tubular de sección cuadrada, deformación por efecto de temperatura y aplastamiento

Respuesta Termica

La respuesta termica del material, es la evolucion de la temperatura en el perfil de acero, con o sin proteccion.

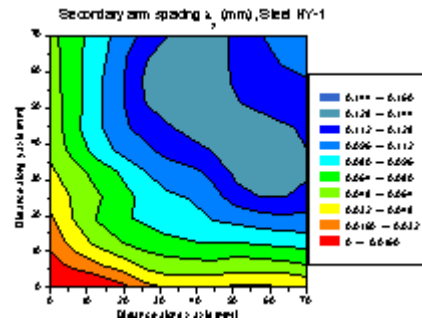


Ilustración 88, mapa de respuesta térmica

Fallas

Los perfiles rellenos de concreto, alcanzaran su punto de falla por el calor inducido del tubo exterior hacia el concreto. Debido al efecto de hinchamiento en los agregados, y a la expansión termica en el acero de refuerzo dentro del concreto de relleno, esto inducira presiones internas en el cuerpo de la columna de acero, y por calor, se debilitara, dando lugar a deformaciones que induciran el colapso, generalmente por efectos de pandeo y de ruptura o desgarramiento en el cuerpo del tubo de acero.



En los puntos de union, generalmente en los lugares donde se dan las uniones soldadas, debido al efecto de la temperatura, y estrechamente ligado con la cedula del perfil tubular (espesor) pueden tener lugar desgarramientos laminares, inducidos el debilitamiento del cuerpo de acero, lo que dara lugar a falla por deslizamiento de vigas que no encontraran la condicion de apoyo en las paredes de un miembro estructuralmente

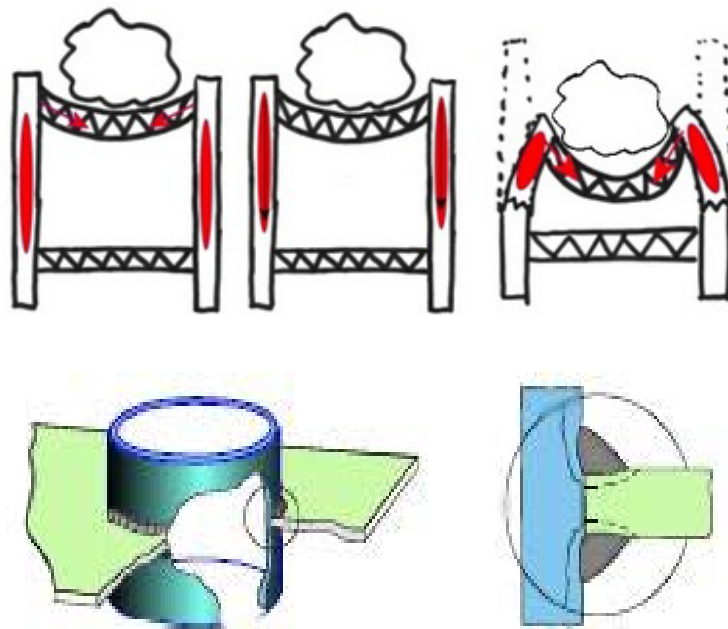


Ilustración 89, falla por aplastamiento y por desgarramiento laminar en columnas de acero

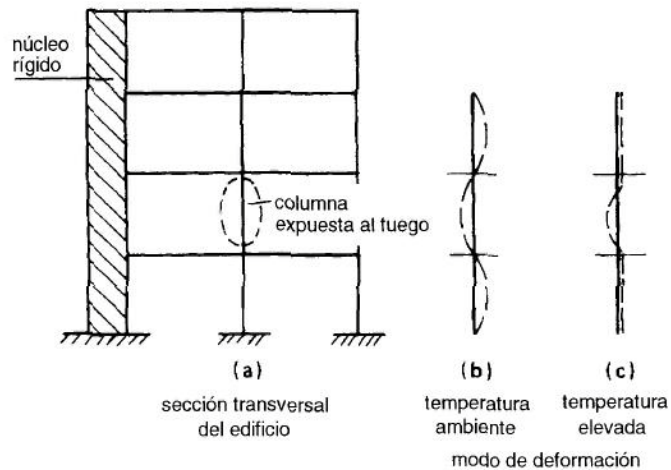
debilitado por el calor.

En el caso de las columnas de perfiles tubulares huecas, su comportamiento ante el fuego es diferente.

Como ya se menciona, la resistencia al fuego de estas es de únicamente un máximo de 30 minutos. El acero estructural, alcanza su punto de temperatura crítica hacia los 650 °C, donde pierde toda su capacidad de carga.

Se debe de recordar, que al momento de darse el colapso de una estructura por fuego, todos los miembros estructurales se encuentran solicitados por carga para sostener el peso propio de la estructura, por lo que el modo de falla que se presentara en el caso de las columnas huecas sera por Pandeo Lateral, y por aplastamiento.

Ilustración 90, fallas por pandeo y aplastamiento en perfiles tubulares y en secciones solidas tipo WF



COMPORTAMIENTO DE LA MAMPOSTERIA EN CONDICIONES DE ALTA TEMPERATURA

Síntesis preliminar

La mampostería es uno de los sistemas constructivos más resistentes al fuego que existen. De hecho, las piezas que conforman un sistema de mampostería (block de concreto, ladrillo de barro cocido) han sido definidas por múltiples códigos internacionales como materiales no combustibles.

En Guatemala, las piezas que conforman la mampostería como sistemas constructivos, tienen su origen en materiales que,

- tienen un largo tiempo de reacción frente al efecto del fuego
- reaccionan endureciéndose aún más ante la presencia del fuego.

El sistema de mampostería que en Guatemala se conoce, es hecho a partir de dos materiales principales:

- block de concreto (mezcla semiseca de piedra pómez y cemento portland conformado por proceso de vibración)
- Ladrillo de barro cocido (arcillas calcinadas a altas temperaturas)



Ilustración 91, piezas de mampostería de concreto y de arcilla



Mampostería, composición química

Bloques de Concreto

Los bloques de concreto, son hechos a base de piedra pómez y cemento portland. La piedra pómez es una roca volcánica ígnea, con composición química de trióxido de silicio, óxido de calcio y trióxido de aluminio, con poca densidad, lo cual le confiere la característica de ser un



Ilustración 92, agregado tipo pómez, para blocks de concreto

agregado ligero, y alta porosidad. El trióxido de silice Tiene un punto de ebullicion o de reaccion de 2,355°C. Expuesto a altas

Figura 79, piedra pomez como agregado liviano

temperaturas, reacciona con el oxigeno del ambiente, formando una capa de silice que impide el proceso de oxidacion y de combustion.

Ladrillo de Barro cocido

Los ladrillos de barro cocido, son elaborados a partir de arcillas, siendo estas constituidas en su mayoria por materiales sedimentarios de particulas de silicatos hidratados de alumina, ademas de otros minerales como el caolin, la montmorillonita y la illita, así como hidroxisilicatos de magnesio e hidroxisilicatos de aluminio. El ladrillo de barro cocido, es cocido a temperaturas de entre 900 a 1100°C, lo que le confiere su color rojizo y su dureza.



Ilustración 93, arcilla en estado natural

Los sistemas de mamposteria, aunque tienen puntos de falla en condiciones de alta temperatura, estos son ocasionados por causas externas a ellos, ya que por la composicion quimica y su naturaleza incombustible, no tienen aporte de llama, no aportan temperatura, son malos conductores del calor, y no aportan carga combustible.³⁰

FALLAS POR TEMPERATURA EN LOS SISTEMAS DE MAMPOSTERIA CONFINADA O MAMPOSTERIA REFORZADA

En los ensayos realizados al fuego en muros de mamposteria, sea esta confinada o reforzada, generalmente el criterio que se asume como efecto es la transferencia del calor de la superficie o cara del muro no expuesta, en vez de por consideraciones de sollicitacion estructural.

Se asume este criterio, dado que durante los ensayos efectuados la experiencia ha demostrado que muy pocos muros de mamposteria fallan a consecuencia de la carga por



Ilustración 94, ensayo de temperatura en muro de mampostería de concreto

³⁰ Protección frente al fuego, Revista Inmueble Técnica, noviembre 2010

fuego.

La única consideración estructural a tomar en cuenta en los muros es la adecuada colocación de las juntas de dilatación, ya que con la intensidad del calor, inevitablemente se expandirán y podrían inducir esfuerzos.

Uno de los efectos de mayor importancia y que es inherente al sistema constructivo son las características relacionadas con la masa térmica. Esta estará condicionada por el tamaño y el tipo de elementos usados en la mampostería, los tipos y la localización de los aislamientos, los tipos de materiales usados para el acabado final, así como la densidad de los elementos, el clima y la orientación del edificio así como

las condiciones de la exposición al calor.

La masa térmica describe la habilidad de los materiales para almacenar o retener el calor.

Debido a su comparativa alta densidad y calor específico, la mampostería provee una masa térmica de almacenamiento de calor bastante eficiente.

Los muros de mampostería permanecerán tibios o fríos mucho tiempo después de que la fuente emisora del calor o las bajas temperaturas hayan desaparecido. Esta condición, a cambio, reduce efectivamente las cargas por frío o por enfriamiento, moderando las temperaturas interiores de los ambientes que están detrás de la cara no expuesta a la temperatura.

En estudios conducidos, se ha logrado determinar que existen 3 fenómenos detectados al momento de efectuar ensayos a muros con carga por fuego en uno solo de sus lados:

- Desecación y deshidratación progresiva en la pasta de cemento aglomerante en el block
- Reacción química de los materiales y deterioro de algunas de sus propiedades, en rango de temperatura de 550°C a 600°C

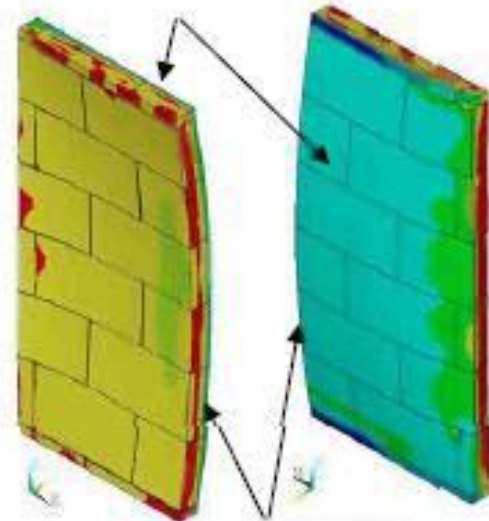
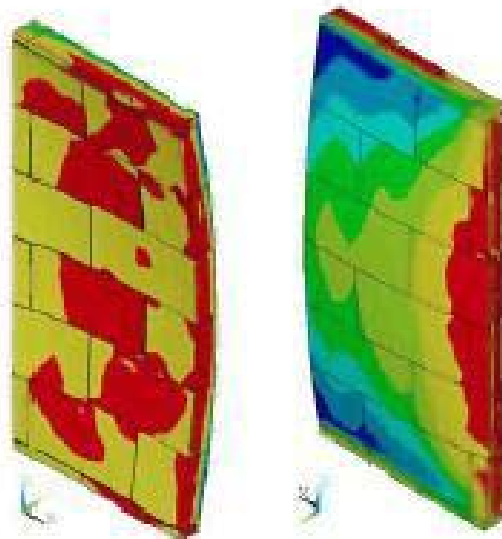


Ilustración 95, pandeo lateral en muros expuestos a fuego



- Comportamiento de deformación tridimensional (pandeo por compresión por efecto de carga) por el efecto de carga de fuego en un solo lado

Los análisis efectuados en ensayos de carga por fuego a muros en un solo lado, han demostrado la influencia de parámetros relevantes en la resistencia de los muros de block de concreto que han sido bien definidos. El comportamiento de los muros de mampostería de block de concreto son influenciados por los siguientes factores:

- Espesor del muro
- Nivel de carga vertical axial
- Tensión térmica
- Condiciones de sujeción del muro en sus contornos (si es confinado o si es reforzado)

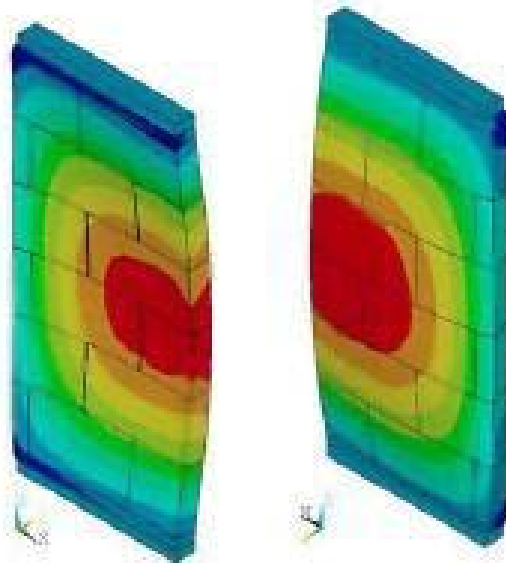
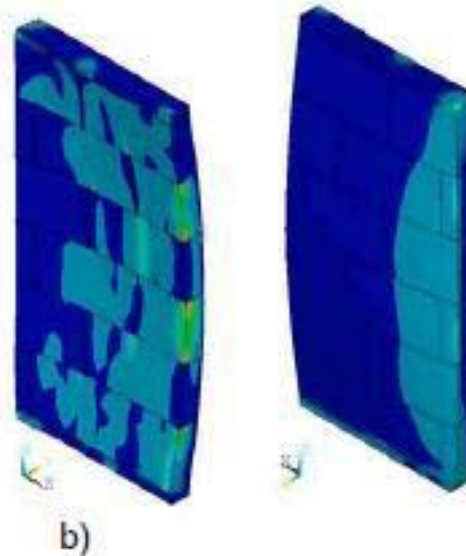


Ilustración 96, Efectos pandeo-tensión en muros cargados por fuego en una sola de sus caras

Las fallas por pandeo lateral en los muros de mampostería (confinada o reforzada) ocurren cuando una sola de sus caras está expuesta al fuego. La temperatura induce una variación en el tamaño de los agregados, en el lado expuesto al fuego, mientras que el lado que permanece sin efectos de fuego, mantiene una temperatura estable. Esto induce que la expansión en los agregados no ocurra de manera uniforme, lo que da lugar a que el calor se concentre en uno solo de los lados.

Esto, resultará en que una de las caras, la que está expuesta al fuego, sufra efectos de compresión, mientras que la cara que no está expuesta, sufrirá efectos de tensión, provocando la aparición de agrietamientos en el lado que no está expuesto directamente al calor.³¹



³¹ Simulation of the fire resistance of calcium silicate masonry walls, Technische Universität Dresden, 2010

COMPORTAMIENTO DE LA MADERA EN CONDICIONES DE ALTA TEMPERATURA

Síntesis preliminar

La madera, aun siendo considerada un material combustible, resulta un producto con características muy particulares, cuando se le utiliza en estructuras resistentes al fuego. Al quedar la superficie de una pieza de madera expuesta a temperaturas elevadas durante periodos de tiempo prolongados a la acción del fuego experimenta una



Ilustración 97, estructura de madera de vigas macizas

descomposición química o pirólisis que genera gases inflamables, que comenzarán a arder, resultando una carbonización superficial.

La conductividad térmica de la madera es de por sí baja, y la del carbono considerablemente menor, por lo que hacia el interior de la madera no carbonizada los incrementos de temperatura y consecuentemente las reducciones de las propiedades mecánicas serán moderadas.

El carbono, genera por su parte un estrato que limita tanto la conducción del calor hacia la madera interior, como también el paso de los gases inflamables que constituyen el combustible del fuego desde el interior hacia el exterior. De esta forma, pese a ser combustible, cuando se le utiliza empleando piezas de dimensiones transversales suficientemente grandes, la madera puede tener cierta resistencia al fuego.³²

Constitución y Composición química de la madera

Los componentes principales de la madera son la celulosa, un polisacárido que constituye alrededor de la mitad de la materia total, la lignina, que es un polímero resultante de la unión de varios ácidos y alcoholes fenilpropiónicos y que proporciona dureza y protección, y la hemicelulosa, cuya función es actuar como unión de las fibras. Químicamente, la composición de la madera es 50% carbono, 42% oxígeno, 6% hidrógeno y 2% nitrógeno.

³² Fornater Jochen, Fire Behaviour of timber, derived timber products and wooden components, Institute of structural engineering, university of natural resources and applied life sciences, Vienna Austria, 2003.

Las distintas capas que componen la madera son:

- Nucleo
- Duramen
- Albura
- Cambium
- Liber
- Corteza

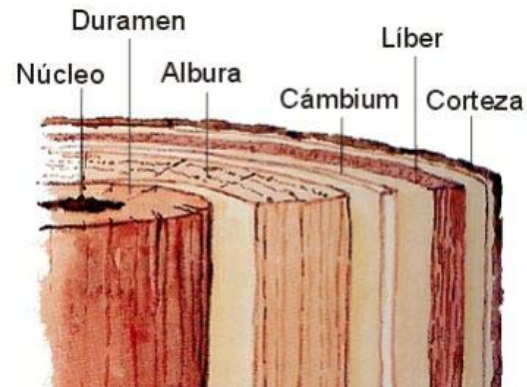


Ilustración 98, composición de la madera

Comportamiento mecánico de la madera y modos de fallo en condiciones de incendio

Cuando la madera se expone a un foco de calor, su contenido de humedad disminuye en la zona directamente afectada al alcanzarse el punto de ebullición del agua. Este hecho es detectable por la sudoración que aparece en su superficie. Si el aporte de calor se mantiene hasta llegar a una temperatura aproximada de 270°C, comienza el desprendimiento de vapores que, en caso de seguir aumentando la temperatura, son susceptibles de arder. Este proceso llamado pirólisis de la madera, produce su descomposición en gases según las temperaturas alcanzadas.



Ilustración 99, secciones de madera rectangular para vigas

La madera y sus productos derivados están formados principalmente por celulosa y lignina, que al ser compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno, hacen de ella un material combustible.

A pesar de su combustibilidad, si la madera no se somete a llama directa, esta no comenzará a arder sino hasta que alcance una temperatura de aproximadamente 400°C. aun siendo expuesta a llama directa, no se producirá la ignición hasta que no llegue a temperaturas en torno a los 300°C.

Puede considerarse que la madera presenta un buen comportamiento sometida a un incendio en fase de pleno desarrollo debido a que su conductividad térmica es muy baja.

Esto lleva a que la combustión, alimentada por el oxígeno, se desarrolle únicamente en la superficie de la pieza.

Tras la combustión de la superficie se origina una capa exterior carbonizada, que protege a otra capa interior contigua en la que se produce la pirolisis. Por último, en el interior de la pieza, queda la madera sin afectar por el fuego.

La alta capacidad aislante de la capa carbonizada, del orden de unas seis veces superior a la de la madera a temperatura ambiente, permite que el interior de la pieza se mantenga a una temperatura mucho menor y con sus propiedades físico-mecánicas constantes. Así, la pérdida de capacidad portante del elemento se debe, principalmente a la reducción de su sección, y no tanto al deterioro de las propiedades del material.

El comportamiento de la madera en caso de incendio puede variar dependiendo de factores como los que se apuntan a continuación:

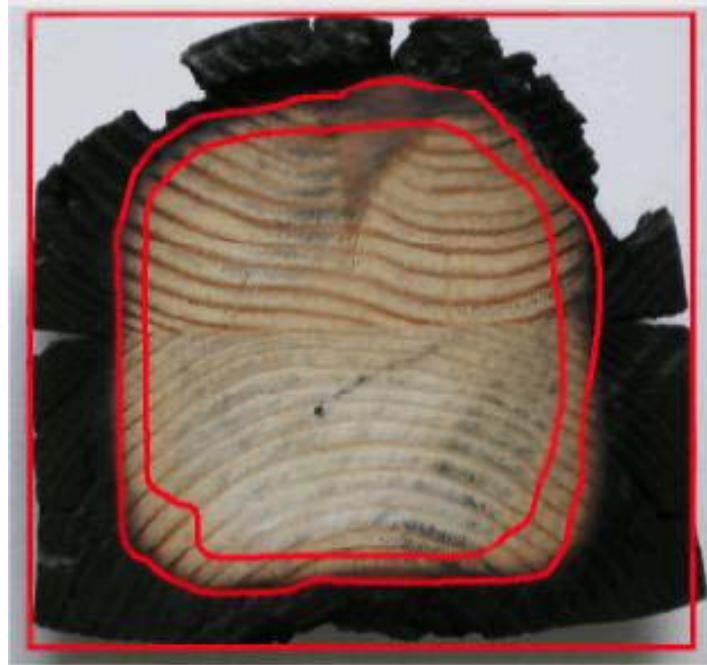


Ilustración 100, carbonización de la madera

- La relación entre la superficie y el volumen de la pieza. Las secciones estrechas y con aristas vivas aumentan esta relación, conduciendo a un comportamiento frente al fuego menos favorable. Por ejemplo, en piezas de pequeña sección resultan más fácil la ignición y la propagación de la llama

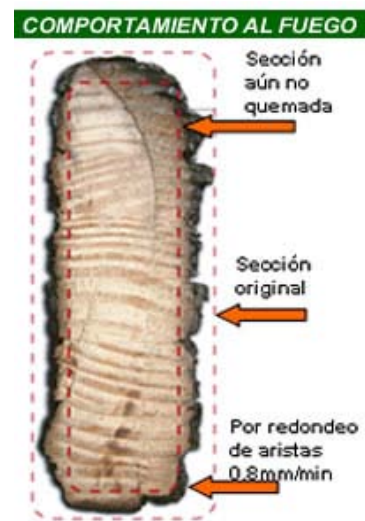


Ilustración 101, relación volumen superficie de una pieza de madera

- La existencia de fendas (nudos). Las hendiduras en el sentido de las fibras de la madera incrementan los efectos del fuego. La madera laminada, que a penas contiene fendas, presenta una velocidad de carbonización menor que la madera maciza.



Ilustración 102, nudo en una sección de madera

- La densidad de la madera. Las diferentes especies de madera se comportan frente al fuego de forma diferente en función de su densidad. Si la densidad es alta, comienza a arder con menos facilidad y la combustión es más lenta.



Ilustración 103, densidad de distintos tipos de madera, natural y aglomerada

- El contenido de humedad. En edificación, la mayoría de las estructuras de madera presentan un contenido de humedad que varía entre el 8% y el 15% aproximadamente, lo que implica que por cada tonelada de madera deben evaporarse entre 80 y 150 Kg de agua antes que entre en combustión. No obstante, este factor se considera en la velocidad de carbonización debido a la poca variación del contenido de humedad que se da en la práctica.

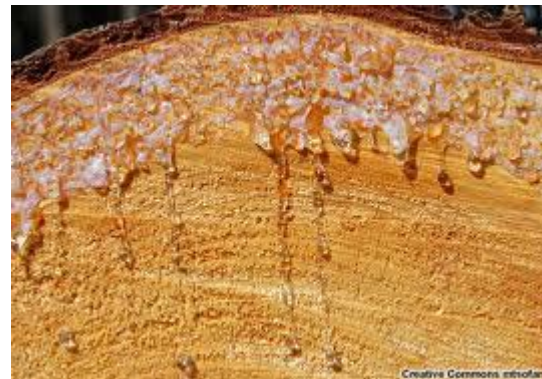


Ilustración 104, contenido de humedad en la madera

La acción térmica sobre la madera causa su degradación a través del proceso de combustión de sus componentes y de la liberación de vapor, gases combustibles y carbono. Esto reduce su capacidad de carga debido a la disminución de la sección transversal por carbonización y a las variaciones de sus propiedades de resistencia y rigidez, ocasionadas por la exposición a las altas temperaturas.

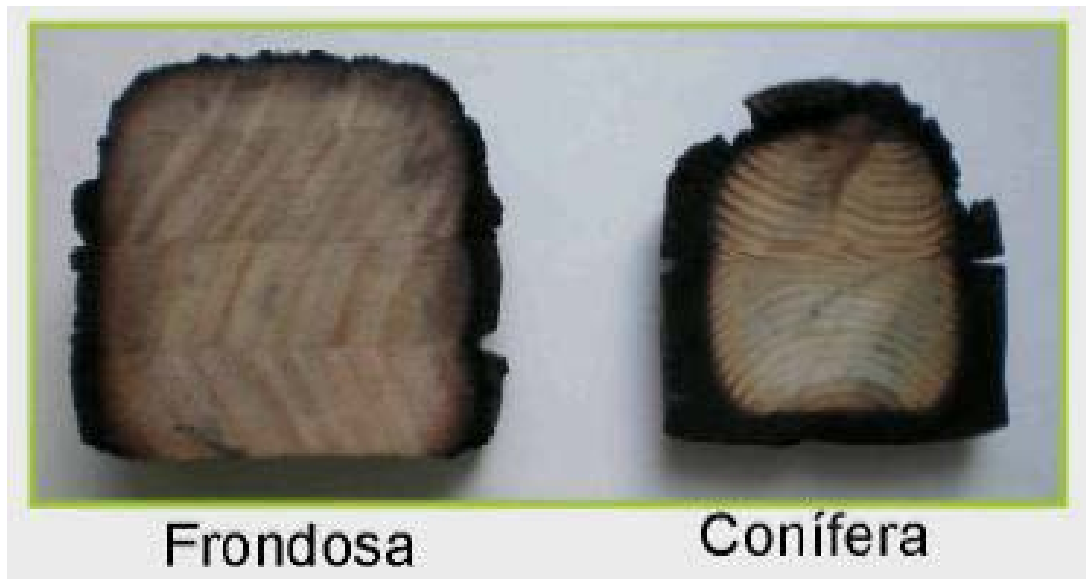


Ilustración 105, efecto de carbonización de la madera dependiendo de su especie y densidad

En la madera, la reducción de la capacidad portante se debe, principalmente a la disminución gradual de la sección transversal, la cual se carboniza y a la reducción de su resistencia y rigidez. En lo que respecta al estudio de la madera como material estructural, la formación de carbono es un parámetro crucial, teniendo en cuenta la pérdida de rigidez del miembro estructural, resultante de la reducción de su sección transversal.

Tasa de Carbonización

La tasa de carbonización es uno de los principales efectos que contribuyen al colapso de las estructuras de madera en condiciones de incendio. Es por lo tanto, un importante factor dimensional para la evaluación de la estabilidad de los elementos estructurales de madera y de su capacidad portante, en situaciones en las cuales esta se encuentre expuesta al fuego. Esto, aunque dentro de la sección, la madera no está expuesta a



Ilustración 106, formación de beta de carbono en madera quemada

temperaturas suficientes para causar carbonización, las elevadas temperaturas provocan la reducción de sus propiedades mecánicas a través de la degradación de sus componentes químicos.

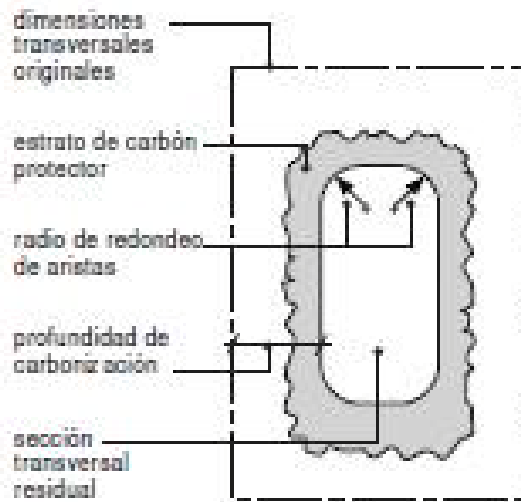


Ilustración 108, pérdida de masa por efecto de carbonización

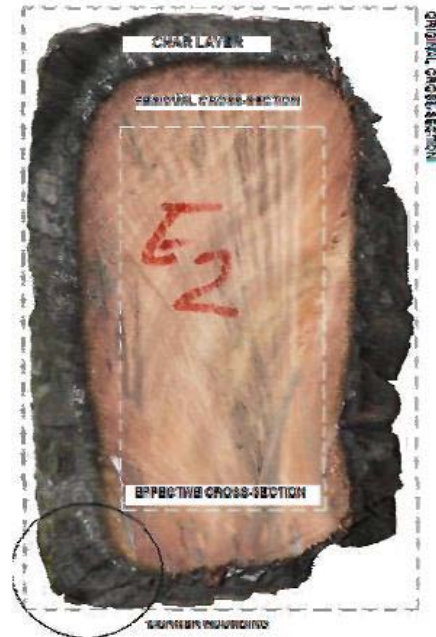


Ilustración 107, redondeo de aristas por carbonización



Ilustración 109, efecto de carbonización en una viga de madera expuesta a fuego, nótese la sección residual

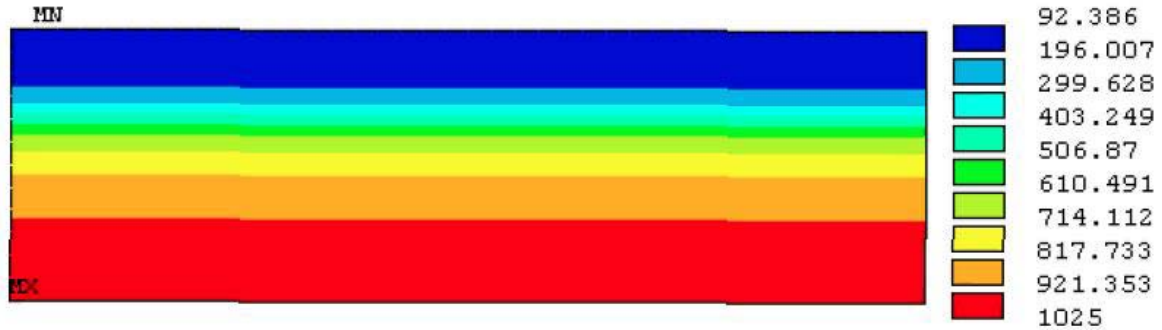


Ilustración 110, Mapa térmico de gradiente de temperatura de viga expuesta a fuego, temperatura mínima ambiente 92°F, máxima en condición de incendio 1025°F

Gradiente de temperatura y redondeo de aristas

Estudios realizados han demostrado que la temperatura cerca de la superficie de la madera tiende a alcanzar un estado de equilibrio con la temperatura del ambiente externo. Dentro de la sección, las propiedades aislantes del carbon y la baja conductividad termica, contribuyen a mantener lento y a una temperatura practicamente constante el proceso de degradacion por efecto termico.³³

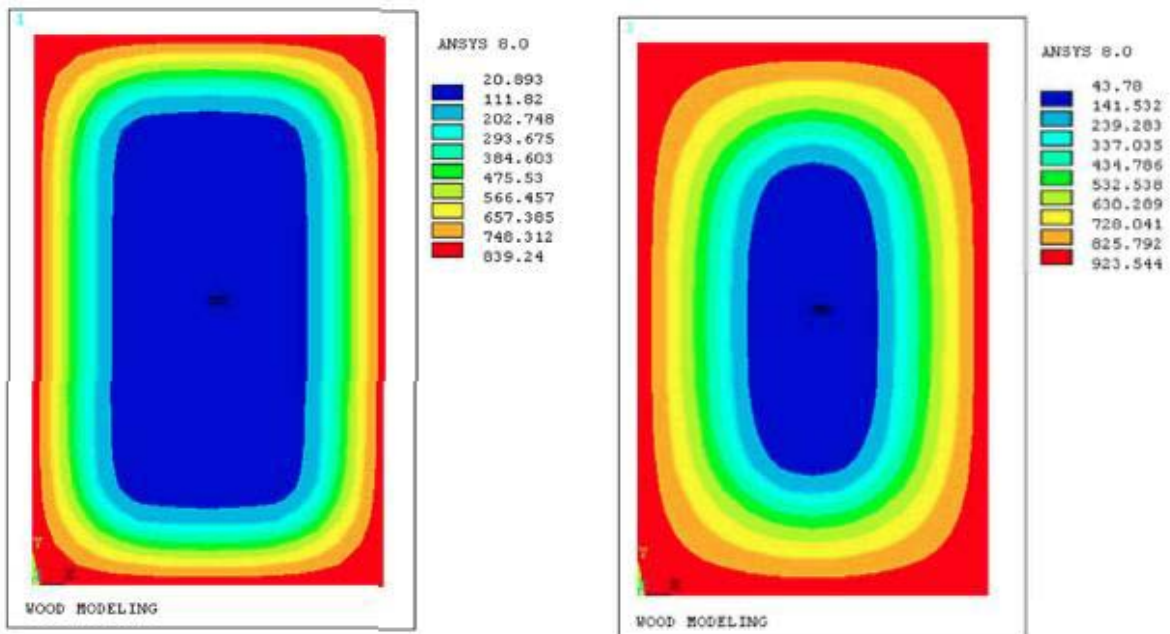


Ilustración 111, gradiente de temperatura en una viga expuesta al fuego

³³ Edna Moura Pinto, Ronaldo Regobello, Jorge Munaier Neto, Carlito Calil Junior, Estudio Teórico sobre la degradación térmica de la madera, Ciencia y Tecnología de las Maderas, Brasil, 2007



En condiciones de fuego, los sectores adyacentes a las aristas de las piezas de madera expuestas al fuego quedan sometidos a temperaturas mas elevadas que las zonas centrales por quedar expuestas al calor desde dos superficies convergentes. Esto condiciona carbonizaciones incrementadas en torno a la arista, la que gradualmente va experimentando un redondeo.

Ilustración 112, redondeo de aristas en una sección rectangular de madera

Seccion Residual

El termino seccion transversal residual, corresponde a la superficie de madera no carbonizada remanente luego de transcurrido un determinado tiempo desde el inicio del incendio.

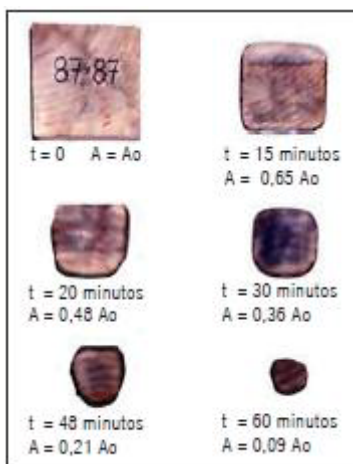


Ilustración 113, sección residual de una viga de madera expuesta diferentes rangos de tiempo

COMPORTAMIENTO DE LOS POLIMEROS EN CONDICIONES DE ALTA TEMPERATURA

Las propiedades mecánicas de los polímeros pueden ser especificadas utilizando los mismos términos que se utilizan para las propiedades mecánicas de los metales, tales como

- Modulo de elasticidad
- Resistencia a la tensión
- Resistencia al impacto
- Fatiga por carga ultima

Las propiedades mecánicas de los polímeros muestran una marcada dependencia a parámetros tales como

- Temperatura
- Cargas de tensión
- Forma

Adicionalmente, el peso molecular y la temperatura relativa cercana al punto de cristalización juegan un papel importante en el desempeño mecánico de los polímeros en altas temperaturas.³⁴



Ilustración 114, Estado Allianz Arena, Alemania. La membrana esta hecha a base de polímeros y llena de gas, que puede cambiar de color dependiendo de la estación y temporada

³⁴ Kailas Satish V., Material Science , APPLICATIONS AND PROCESSING OF POLYMERS, Indian Institute of science, Bangalore India,

Hoy en día, el empleo de plásticos y polímeros termoestables en la construcción es más común de lo que se puede imaginar. Gracias a los adelantos tecnológicos, se dispone de materiales con propiedades específicas que responden a diferentes necesidades, y que ayudan en el proceso de la producción en las líneas de construcción actuales.

Existen muchos polímeros que son utilizados en la construcción a nivel mundial, dentro de los cuales podemos citar:

- Cloruro de polivinil (PVC)
- Poliuretano (PU)
- Poliestireno expandido (EPS)
- Polietileno de Alta Densidad (HDPE)
- Polipropileno (PP)
- Tereftalato de Polietileno (PET)

Todos y cada uno de los plásticos anteriormente descritos, juegan un papel importante en los proyectos arquitectónicos, ya sea en instalaciones, aislamientos, acabados, mobiliario.

Dos de los polímeros anteriormente citados, son los de uso más conocido dentro del medio Guatemalteco de la construcción, y por lo tanto, el análisis en cuanto a sus propiedades mecánicas y a su respuesta a condiciones de alta temperatura se hará principalmente respecto a

- **Cloruro de Polivinil (PVC)**
- **Poliestireno Expandido (EPS)**

Las propiedades mecánicas de los polímeros cambian dramáticamente con la temperatura, yendo de comportamientos frágiles como el vidrio a temperaturas bajas, a comportamientos maleables como la goma de caucho a elevadas temperaturas. Los polímeros totalmente cristalinos y translúcidos, se comportan de una manera frágil, mientras que los polímeros no translúcidos se comportan

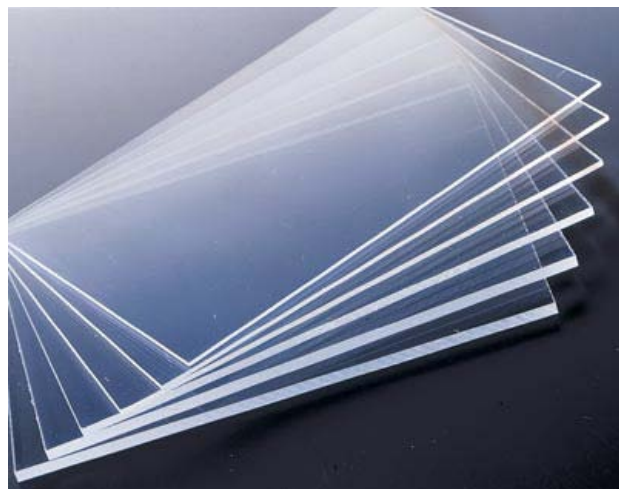


Ilustración 115, plástico policarbonatado

con una deformación plástica.

Cloruro de Polivinil (PVC)

Síntesis preliminar

el cloruro de polivinil (pvc) es un polímero termoplástico. Se presenta como un material blanco que comienza a reblandecerse alrededor de los 80°C y se descompone alrededor de los 140 °C. tiene una elevada resistencia a la abrasión, junto con una baja densidad,

buena resistencia mecánica y al impacto, lo que lo hace común e ideal para la edificación y para la construcción.

Es utilizado comúnmente en la manufactura de tuberías, ventanería, pisos, revestimientos para muros, debido a sus características físicas.

Mientras que la mayoría de los polímeros termoplásticos dependen casi en un 100% de las materias primas procedentes del petróleo o del gas, la dependencia del PVC es cloro, obtenido de la sal común, lo cual le confiere cualidades muy peculiares de respuesta frente al fuego. Una vez que el cloro forma parte del PVC, resulta tan inerte como la sal original, confiriendo al PVC dos propiedades muy importantes:

- Compatibilidad con un gran número de aditivos
- Mejor comportamiento frente al fuego que el de las resinas poliolefinicas.

una de las principales características del PVC rígido, o sin plastificantes, es que es difícilmente inflamable, y solo sigue ardiendo si se mantiene una llama aplicada directamente sobre él.

Comportamiento del Cloruro de Polivinilo (PVC) en condiciones de alta temperatura

Existen varios factores claramente identificados al momento de hacer pruebas del material sometido a ensayos por alta temperatura. Los factores que han dado los resultados más significativos en cuanto a patrones de comportamiento del material en presencia de fuego o de alta temperatura, son los siguientes:

- Ignición
- Propagación de llama
- Velocidad de liberación de calor
- Opacidad de humo



Ilustración 116, Tuberías PVC para conducción de agua potable



Ilustración 117, muestra de Ventanería de PVC

- Toxicidad de humo

Resistencia a la ignición

La resistencia a la ignición, se mide generalmente aplicando a las probetas de prueba llamas estandar de diversos tamaños o calor radiante a diversos niveles de flujo. La mayoría de las formulaciones de PVC son difíciles de prender, aunque algunos tipos altamente plastificados pueden ser una excepción. Por lo general las probetas de PVC arden únicamente en las cercanías de la llama de prueba o zona radiada y no permiten la propagación.

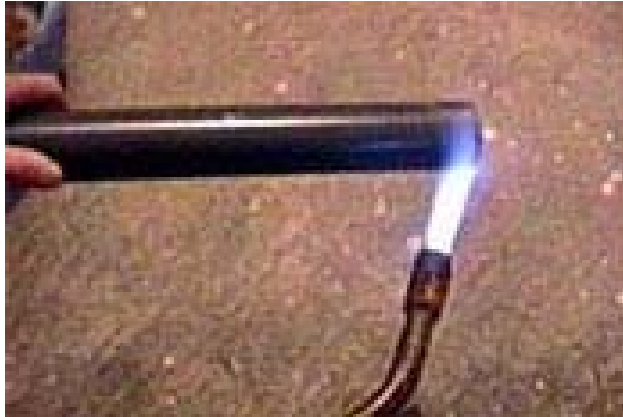


Ilustración 118, aplicación de llama directa a tubo PVC

Muchas clases de PVC contribuirán a la propagación del fuego únicamente si hay una aplicación constante de cantidades significativas de calor al componente.

Datos producto de los ensayos y estudios sobre el comportamiento de ignición del PVC confirman que el PVC es difícil de incendiar incluso por fuentes potentes de ignición y funciona mucho mejor en este aspecto que muchos otros materiales poliméricos y naturales.

Propagación de la llama

Los ensayos de propagación de llama, han suministrado datos sobre la rapidez con que una probeta de prueba se quema una vez que se han prendido y como mantienen la combustión. Evidentemente, lo más deseable es una baja propagación total de la llama, y una velocidad de propagación baja ya que de ellas depende la magnitud general del incendio, y son el factor clave para determinar los peligros originados por el humo, los gases tóxicos, y los gases corrosivos. Todos los tipos de PVC, excepto algunas fórmulas altamente plastificadas, funcionan muy bien en las pruebas de propagación de la llama.

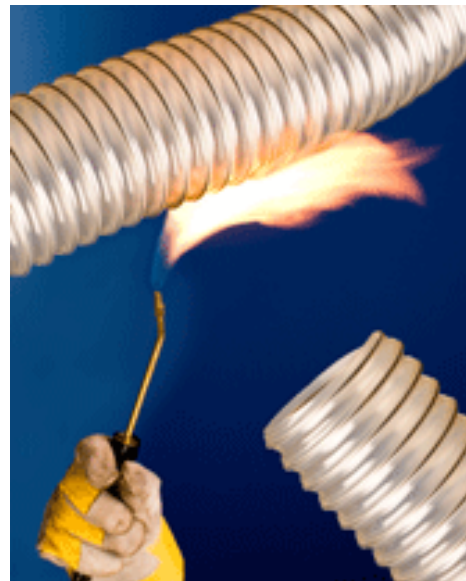


Ilustración 119, Llama sobre ducto flexible PVC

Los compuestos de PVC ensayados, han mostrado por lo general una distancia de encendido inferior a los 25mm, y una velocidad de propagación de la llama de menos de 50mm por minuto.

Se han ensayado probetas de material, donde este se encuentra en posición horizontal, emulando las características de revestimiento de un piso, donde se ha aplicado llama en posición vertical adyacente, para comprobar los efectos de la propagación horizontal del material. Los productos de PVC muestran una baja propagación de la llama aun en condiciones horizontales con cargas de fuego puntuales.

Velocidad de liberación de calor

Todos los materiales liberan calor cuando se queman, y la cantidad y velocidad de la liberación del calor es un factor clave para determinar la velocidad de la propagación de un incendio, y en última instancia, su magnitud. Un incendio, en el que los productos y materiales implicados liberan bajas cantidades de calor, tendrá menos probabilidades de



Ilustración 120, Velocidad de liberación de calor

propagarse o provocar la combustión súbita generada que un incendio con materiales que produzcan gran liberación de calor. La velocidad de liberación de calor máxima, es mucho menor a partir de compuestos de PVC que de otros materiales poliméricos, y de un orden similar al de la madera. El calor total liberado en los tres primeros minutos después de la ignición es una medida muy importante para conocer la contribución potencial de un material a la propagación del incendio y los compuestos de PVC han demostrado funcionar muy bien, aun sin materiales de protección.

Opacidad de Humo

La velocidad a la cual se emite el humo dependerá de la composición del material, de la intensidad del fuego y del suministro de oxígeno. Eligiendo cuidadosamente los tipos de composición, se puede lograr una reducción significativa de la emisión de humo. Los materiales ignífugados, incluyendo muchos compuestos de PVC, no se prenden en condiciones de “modo con llama”, excepto en la zona de contacto de la llama piloto. En condiciones sin llama, las muestras de PVC producen densidades de humo similares a las de la madera. En condiciones con llama, el PVC produce más humo que la



Ilustración 121, humo de combustión de PVC

Toxicidad del Humo

La clasificación ISO del cloruro de hidrógeno en relación con el monóxido de carbono está clasificada por la clasificación de toxicidad de materiales Mundial, la que emplea tres categorías: nocivo, tóxico y muy tóxico. Tanto el monóxido de carbono como el cloruro de hidrógeno están clasificados como nocivos. Estudios han demostrado que el cloruro de hidrógeno de los incendios en los que está presente el PVC es especialmente irritante y corrosivo. Al momento de efectuar análisis químicos, se demostró que cuando el PVC se quema, nunca se encuentra gas cloro entre los productos de descomposición.

Poliestireno Expandido (EPS)

El comportamiento frente al fuego del poliestireno expandido por sí solo, no es completamente significativo. El material como tal, está generalmente cubierto por otro material que es el que determina el comportamiento final frente al fuego, el Poliestireno Expandido (EPS) solo se ve afectado tras el fallo del material de recubrimiento.

Como la mayoría de los materiales orgánicos, la espuma de poliestireno es combustible. En la práctica, su comportamiento frente al fuego depende de las condiciones bajo las que se utilice, así como las propiedades inherentes del material.

Las propiedades inherentes dependen de si la espuma está hecha o no de material retardante de fuego. La mayoría de los productos de EPS han sido fabricados durante décadas en calidad retardante al fuego. Esta característica se consigue añadiendo al material una cantidad muy pequeña de un agente retardador de fuego, generalmente menor al 1 %. El retardador polimeriza en la estructura molecular y es insoluble en agua, lo que asegura que no hay desprendimientos desde el material al



Ilustración 122, Poliestireno Expandido



Ilustración 123, losa prefabricada con bovedillas de Poliestireno Expandido

medio ambiente. Las investigaciones muestran que las propiedades de retardo del fuego permanecen durante décadas.

El comportamiento frente al fuego del EPS con retardante al fuego es significativamente diferente del EPS estandar. Expuesto al fuego, el EPS con retardante se retrae apartandose de la fuente de calor. La probabilidad de ignicion del material se reduce significativamente y las chispas de soldadura o los cigarrillos normalmente no lo hacen arder. Otro efecto del retardador de fuego es que sus productos de descomposicion sofocan la llama: en cuanto se aparta la fuente de calor, la llama se extingue.

La reaccion frente al fuego debe evaluarse no solo sobre el material o producto, sino a nivel de elemento de edificacion o construccion. Una regla basica de diseño con el EPS y otros materiales plasticos de aislamiento es no utilizarlo sin recubrimientos.

Sintesis Preliminar

El poliestireno expandido o poliestireno expandible, es un polimero que contiene un agente expansivo. Se obtiene mediante un procedimiento de polimerizacion del monomero de estireno, con adiccion de pentano. Los plasticos celulares fabricados a base de este polimero poseen una estructura formada por millones de finas celulas cerradas, rellenas de aire y a nivel molecular, se trata de hidrocarburo puro, no posee elementos quimicos como el carbono o el hidrogeno.

Dado que el analisis a efectuar es el comportamiento al fuego del material, este comportamiento dependera no solo de la naturaleza quimica, sino en buena medida del estado fisico y de la localizacion del material. De este modo, los factores mas importantes a considerar al analizar el comportamiento en riesgo de incendio del poliestireno expandido, son:

- Densidad del material expandido y forma del producto

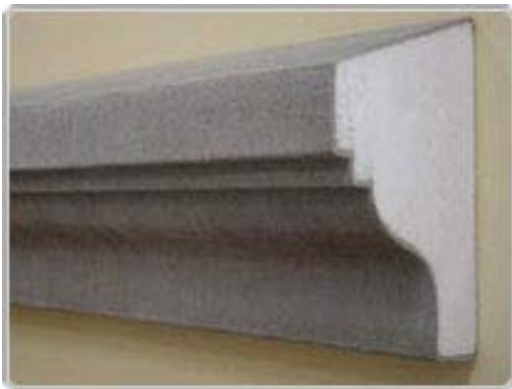


Ilustración 124, Poliestireno Expandido para molduras y relleno de juntas

- Su vinculación a una posible fuente de ignición



Ilustración 125, molduras en remate de chimeneas

- Las condiciones de adhesión a un sustrato o revestimiento



Ilustración 126, Poliestireno en diversas aplicaciones constructivas

- La localización del producto (que influya en la transferencia del calor)



Ilustración 127, Poliestireno utilizado en acabados finales interiores

Los parámetros principales a tomar en cuenta en cuanto al comportamiento frente al fuego del Poliestireno Expandido (EPS) son:

- Calor de combustión
- Toxicidad de humo por combustión
- Oscurecimiento por humo

Calor de combustión

El calor producido por el material ardiendo es uno de los factores que determinan como se desarrolla el fuego, este es el motivo por el que la carga de fuego es a menudo uno de los criterios de las reglamentaciones y debe calcularse en la fase de diseño. El valor calorífico del EPS por kilogramo es de 40 Mj/kg, es decir, dos veces más que los productos de madera, con 20 Mj/kg. Sin embargo, el 98% del volumen de EPS es aire, con una densidad de uso habitual del 15 a 20 kg/m³, lo que conduce a una baja contribución a la carga de fuego global.



Ilustración 128, ensayo de combustión, generación y opacidad de humo en Poliestireno expandido

Toxicidad de humo por la combustión de EPS

La contribución del EPS a la producción de humo y gases tóxicos depende de la cantidad de material de aislamiento disponible y de la densidad del material. La importancia relativa de esta contribución viene determinada por la participación del EPS en la carga de fuego total. Como se ha mencionado previamente, la contribución del EPS y otros materiales de aislamiento en la carga de fuego total generalmente es muy poca, alrededor del 3% máximo.



Ilustración 129, combustión de pieza de Poliestireno expandido al aire libre, nótese la cantidad de humo que se genera en condiciones de combustión con llama

Adicionalmente, el aislamiento de EPS esta normalmente cubierto por un material de acabado superficial como mortero de yeso, ladrillo, madera o acero que protege al EPS durante la primera parte del incendio. Inicialmente, la superficie de la construcción se calienta tras el inicio del fuego. Posteriormente el calor fluye a través de la construcción. Si el calor penetra en el EPS, dentro de la construcción, el material no arde, pero se comprime por el calor, y finalmente se funde. Solo si el material de la superficie se quema completamente y el EPS fundido se



Ilustración 130, Combustión de EPS

Expone a llamas, entonces el EPS contribuirá al fuego y producirá humos y gases de combustión. Normalmente, el fuego consume solo una parte del material de EPS fundido, dejando el resto como una resina solidificada tras el incendio.

Las toxinas del humo de la combustión del EPS fueron investigadas por TNO en 1980. Los resultados probaron que el EPS produce considerablemente menos humos tóxicos que los materiales naturales como la madera, lana o corcho.

Oscurecimiento por humo

La toxicidad es un efecto del humo y el oscurecimiento, o densidad del mismo, es otro. La producción de humo es de particular importancia para los materiales de edificación utilizados en las vías de escape. El comportamiento de la construcción con respecto a la producción de humo tras ese tiempo, generalmente no tiene importancia. Normalmente en las situaciones finales de uso el EPS está cubierto por revestimientos como yeso, morteros, ladrillos, hormigón (concreto) o acero. Estos materiales protegen al EPS durante esta fase del incendio. Cuando el EPS se expone directamente a la fuente de calor, se quema y produce una considerable cantidad de Humo Negro y denso, que es proporcional a la masa consumida.



Ilustración 131, Humo de combustión de EPS en ensayo

COMPORTAMIENTO DEL VIDRIO EN CONDICIONES DE ALTA TEMPERATURA

El vidrio es una sustancia híbrida, porque no es ni un sólido, ni un líquido, sino que se halla en un estado vítreo en el que las moléculas, aunque están dispuestas de forma desordenada, tienen suficiente cohesión para presentar rigidez mecánica.

El ingrediente principal del vidrio es la sílice, obtenida a partir de arena, pedernal o

cuarzo.



Ilustración 132, Vidrio aplicado como cerramiento exterior

El sustantivo cristal es utilizado muy frecuentemente como sinónimo de vidrio, aunque es incorrecto debido a que el vidrio es un sólido y no un cristal propiamente dicho.

La historia del vidrio tiene comienzos inciertos, aunque vidrio producido naturalmente en el medio ambiente ha sido usado desde la edad de piedra. Se sabe que en Mesopotamia se usó con fines decorativos desde el 2500 AC.

Síntesis preliminar

El vidrio es un material que es utilizado como cerramiento vertical, y no se le utiliza como un sistema portante estructural, sino más bien como delimitación espacial. Debido a ello, al momento de analizar su comportamiento en altas temperaturas, no se hace énfasis en sus propiedades mecánicas, sino más bien en la manera en la que reacciona ante la presencia de fuego.

El vidrio como material, tiene su origen en la fusión de varios elementos, a temperaturas superiores a los 1200°C. Una

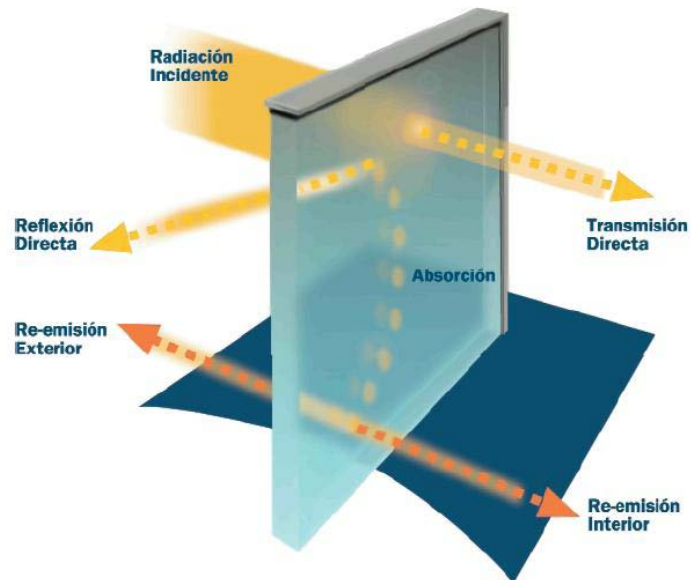


Ilustración 133, mecanismo de transferencia de calor a través del vidrio

de las características principales del vidrio expuesto al fuego, es que es un excelente conductor del calor. El vidrio, a diferencia de los metales, permanece del mismo color cuando está frío que cuando está extremadamente caliente, esto antes de alcanzar el punto de flujo plástico, es decir, no existe manifestación visual que indique el gradiente de temperatura alcanzado.

Composición química del Vidrio

Los componentes principales del vidrio, se encuentran fácilmente en la naturaleza: Sílice, Cal y Carbonato de sodio. Los materiales secundarios que son adicionados, comúnmente se agregan para dar propiedades especiales al producto terminado, o bien, para facilitar el proceso de fabricación. De la mezcla de los materiales secundarios con las materias primas básica en el porcentaje correcto se pueden obtener diferentes tipos de vidrio, los cuales pueden ser clasificados de acuerdo a su composición química. Dentro de cada tipo a su vez hay numerosas composiciones distintas.

De acuerdo a su composición química, y a los materiales secundarios adicionados, una posible clasificación se establece de la manera siguiente:

- Vidrios sodo-cálcicos
- Vidrios Plomados
- Vidrios Borosilicatados
- Vidrios especiales

De estos, el vidrio plomado no resiste altas temperaturas, o cambios súbitos en la temperatura, es muy susceptible al shock térmico, y su resistencia a químicos corrosivos (humos de combustión) no es buena.

Entre los vidrios especiales, el vidrio de silicio al 96% es el más resistente a la temperatura, y soporta muy bien el shock térmico por enfriamiento súbito en temperaturas superiores a los 900°C

El vidrio más comúnmente utilizado en la construcción es la variedad de vidrios Sodo-cálcicos, esto, por su elevada capacidad de transmisión de luz, lo que lo hace ideal para usar como vidrio en ventanas. Es químicamente inerte, aunque no es resistente a químicos corrosivos.

Transferencia del calor

El calor se transmite a través de un vidrio de tres maneras:

- Por su condición de sólido transmite el calor por conducción
- Por su característica transparente



Ilustración 134, transferencia de calor

- En ambos casos intervienen fenómenos de convección superficial

Conducción

El calor se transmite por conducción a través de un medio material (sólido, líquido o gaseoso) las moléculas calientes comunican parte de su energía de vibración a sus vecinas más frías, continuando dicho

proceso a lo largo de todo el material

Convección

Esta forma de transmisión de calor es propia de los líquidos y gases. La diferencia de temperatura provoca diferencias de densidad que a su vez dan lugar a movimientos en el fluido; el más caliente sube y es reemplazado por otro más frío

Radiación

Todo cuerpo emite energía electromagnética de manera continua. La cantidad de energía y el espectro de emisión dependen de la temperatura del cuerpo y de sus propiedades emisivas. Este

mecanismo no precisa de contacto material por lo que tiene lugar incluso en el vacío.

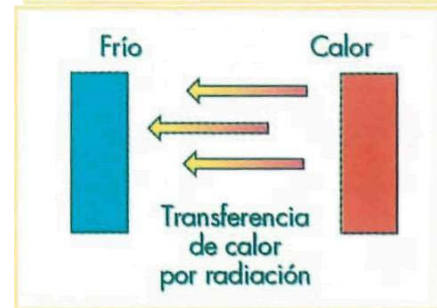
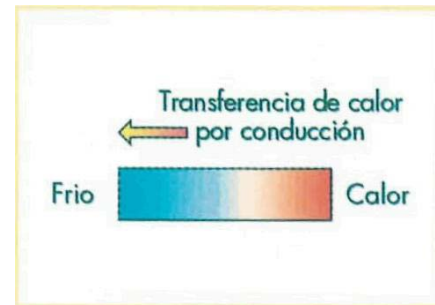


Ilustración 135, modos de transferencia de calor en una superficie de vidrio

Tipo de fallas en el vidrio por efectos del fuego

Shock Térmico

El concepto de shock térmico se refiere a la ruptura del vidrio al sufrir un cambio drástico de temperatura. Sucede cuando el material sólido se quiebra por sometimiento a un brusco aumento o descenso de la temperatura. Las Ventanerías, o fachadas de vidrio son principalmente vulnerables a este tipo de efectos, esto debido a su bajo nivel de tenacidad, a su baja conductividad térmica y a su alto coeficiente de expansión térmica.



Ilustración 136, shock térmico en superficie de vidrio caliente enfriada de forma brusca

La variación de temperatura ocasiona que diferentes partes de un objeto se expandan más que otras, haciendo que la tensión del objeto no sea uniforme, y el resultado es la fractura. Este fenómeno tiene lugar especialmente cuando el vidrio que no es templado o termo endurecido, es enfriado por una corriente de agua, estando el cuerpo del vidrio sometido a carga de fuego y por ende a altas temperaturas.

Tensión térmica por dilatación

Cuando un vidrio es expuesto a altas temperaturas, ocurre otro fenómeno debido a su naturaleza. El vidrio al calentarse, absorbe el calor, y se expande. Al mismo tiempo, sus bordes, por estar en contacto directo con otro material, tal como asientos directos sobre concreto, perfiles de anclajes a suelos, muros, etc., se calientan a una tasa más lenta, permanecen a una temperatura más baja que el resto del cuerpo del vidrio, ocasionando que existan diferentes gradientes de temperatura en una misma superficie de material, provocando una tensión desigual por carga térmica. El efecto similar ocurre cuando existe un decremento rápido de la temperatura de exposición y el calor que está almacenado en el cuerpo del vidrio.

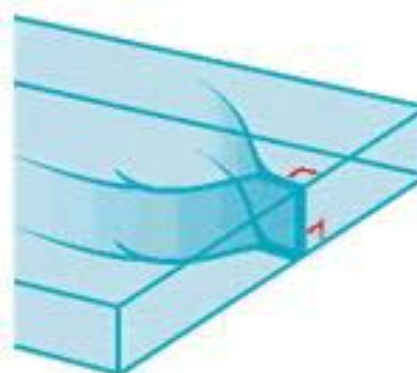
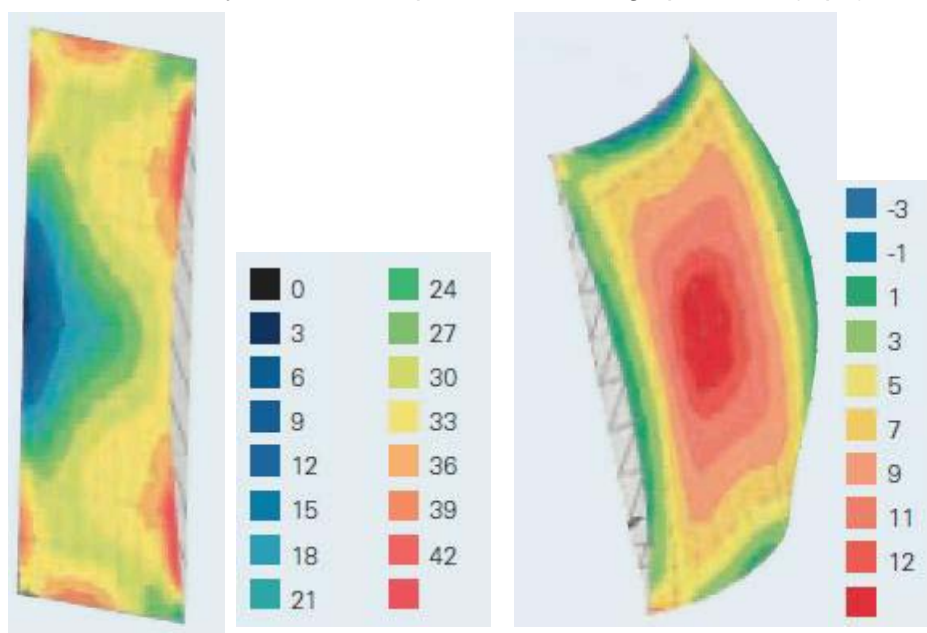


Ilustración 137, fisuras por dilatación en vidrio

Imágenes de paneles de vidrio sometidos a carga de fuego de 200°C, donde se muestra las zonas en mayor tensión, expresadas en mega pascales (Mpa)³⁵



³⁵ Glass Handbook, G. James primera edición, 1999

¿Por qué debe conocer el Arquitecto la capacidad de los materiales de construcción, y sus modos de falla frente al fuego?

Los proyectos de arquitectura que se planifican tomando en cuenta todos y cada uno de los factores de riesgo, en los posibles escenarios que puedan ocurrir, deben de cumplir con los siguientes requerimientos:

- A. conservar su capacidad portante**
- B. Proteger a las personas de humo y de gases nocivos**
- C. Aislar a las personas del calor**
- D. Facilitar la intervención de cuerpos de socorro**



Ilustración 138, condiciones que debe soportar un proyecto de arquitectura ante la eventualidad de un incendio

El diseño contra incendios es una herramienta que debe de tomar en cuenta el arquitecto al momento de planificar un diseño arquitectónico que cumpla con los parámetros necesarios para permitir una evacuación de las instalaciones donde ocurra un incendio.

Para que la evacuación pueda darse, la estructura debe estar en capacidad de resistir su propio peso, conservar el equilibrio estático, y soportar la carga de fuego adicional, condición que puede ser lograda si se conoce los puntos de falla de cada uno de los materiales, y se diseña para que las condiciones de evacuación puedan darse aun dentro del rango elástico de los materiales.

De la misma manera, existen materiales que a pesar que no representan riesgo estructural, las emanaciones de los mismos ponen en riesgo la vida del usuario, y esto es un parámetro que debe de tomarse en cuenta al momento de proponer un diseño arquitectónico que cumpla con parámetros de seguridad internacional, así como los respectivos rangos de resistencia normados para cada uno de los materiales de construcción.

En la medida que se conozca las propiedades físico-mecánicas, así como el comportamiento de cada uno de los materiales en condiciones de altas temperaturas, se contara con un mejor criterio de selección de materiales, así como de aplicación de las medidas de protección respectivas que permitan que la estructura pueda permitir una evacuación total de usuarios, y de la misma manera, se mantenga en pie y pueda darse la oportunidad de rehabilitarla y abrirla de nuevo al público.



CAPITULO 3

CARGA COMBUSTIBLE Y TIEMPO DE EXPOSICION EQUIVALENTE, DEFINICIONES Y PARAMETROS DE CÁLCULO PARA PROYECTOS DE ARQUITECTURA

Capítulo 3, CARGA COMBUSTIBLE Y TIEMPO DE EXPOSICION EQUIVALENTE, PARAMETROS DE CALCULO PARA PROYECTOS DE ARQUITECTURA

PARA PODER DISEÑAR UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS QUE SEA CAPAZ DE SUPRIMIR LA COMBUSTION Y QUE NO ESTE SOBREDISEÑADO, ES NECESARIO QUE SE SEPA DE UNA MANERA MUY APROXIMADA, CUANTO PODER CALORIFICO EXISTE DENTRO DE LOS RECINTOS QUE SE DESEA PROTEGER.

ES NECESARIO QUE EL ARQUITECTO RECUERDE QUE LOS AMBIENTES QUE PROPONE, NO PERMANECERAN VACIOS, SINO QUE SE PONDRAN DENTRO DE ELLOS DETERMINADO MOBILIARIO PARA EL USUARIO. CUANDO OCURRE UN INCENDIO, TODAS Y CADA UNA DE LAS PIEZAS DE ESTE MOBILIARIO, SE CONVERTIRAN EN COMBUSTIBLE, Y GENERARAN UN DETERMINADO VOLUMEN DE ENERGIA CALORIFICA POR UNIDAD DE AREA EN METROS CUADRADO

SE DEBE DE APRENDER A CALCULAR 2 PARAMETROS DE SUMA IMPORTANCIA PARA EL DISEÑO CONTRA INCENDIOS:

- CARGA COMBUSTIBLE O CARGA POR FUEGO
- TIEMPO DE EXPOSICION EQUIVALENTE

CARGA COMBUSTIBLE (CARGA POR FUEGO)

SE CONOCE COMO CARGA COMBUSTIBLE O CARGA POR FUEGO A LA CANTIDAD TOTA DE CALOR QUE SE DESPRENDE DE LA COMBUSTION COMPLETA AL INCENDIARSE UN EDIFICIO O PARTE DE EL. ESTA ENERGIA CALORICA PROVIENE DE LA SUMA DEL PODER CALORIFICO DE CADA UNO DE LOS MATERIALES QUE COMPONEN LOS ELEMENTOS QUE SE ENCUENTRAN DENTRO DEL EDIFICIO, ACABADOS, MOBILIARIO Y EL MATERIAL DEL CUAL ESTA CONSTRUIDO EL EDIFICIO, CUANDO ES COMBUSTIBLE.



ES POSIBLE ESTIMAR LA CARGA COMBUSTIBLE O CARGA POR FUEGO POR METRO CUADRADO PARA DETERMINADO PROYECTO PARA EL CUAL SE ESTE PLANIFICANDO LA PROTECCION.

SE DEBE DE SABER QUE TODOS Y CADA UNO DE LOS CONTENIDOS EN EL RECINTO SE VERAN ENVUELTOS EN EL PROCESO DE COMBUSTION, DE TAL MANERA QUE LIBERARAN ENERGIA CALORIFICA. DE ACUERDO A SU MASA Y VOLUMEN, SE PUEDE ESTIMAR LA CANTIDAD DE CALOR QUE LIBERARAN Y APORTARAN AL FUEGO, Y DE ESTA MANERA TENER UN RESULTADO BASTANTE APROXIMADO DE LA CARGA A LA CUAL ESTARA EXPUESTO EL PROYECTO AL MOMENTO DE OCURRIR EL INCENDIO.



TIEMPO DE EXPOSICION EQUIVALENTE

SE DEFINE COMO TIEMPO DE EXPOSICION EQUIVALENTE A LA DURACION DEL PERIODO DE CALENTAMIENTO SEGUN LA CURVA TIEMPO TEMPERATURA DE UN FUEGO NORMALIZADO, QUE PRODUCE EL MISMO EFECTO EN LA ESTRUCTURA CON RESPECTO AL FALLO, QUE LA EXPOSICION A UN INCENDIO REAL EN EL SECTOR DE INCENDIO CONSIDERADO.

EL TIEMPO DE EXPOSICION EQUIVALENTE SE CALCULA COMO EL PRODUCTO DE 3 FACTORES, LOS CUALES SON:

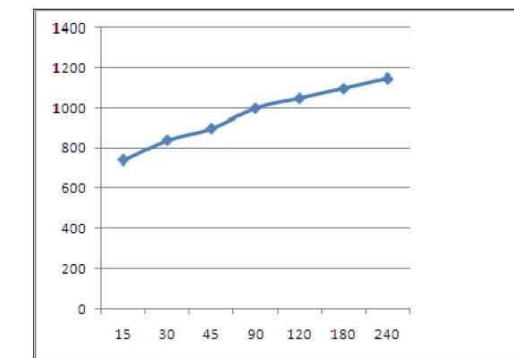
- CARGA COMBUSTIBLE O CARGA POR FUEGO
- FACTORES DE VENTILACION EN EL RECINTO
- PROPIEDADES TERMICAS DE LAS PAREDES DEL RECINTO

PARA EFECTOS DE LA PLANIFICACION DE UN SISTEMA CONTRA INCENDIOS, ES NECESARIO APRENDER A CALCULAR EL TIEMPO DE EXPOSICION EQUIVALENTE, PORQUE ESTE PARAMETRO RESULTANTE, PERMITIRA QUE PODAMOS CALCULAR O ESTIMAR LA DURACION Y EL PODER CALORIFICO CONTRA EL CUAL SE DEBERA DE PROVEER LA PROTECCION CONTRA INCENDIOS.

ESTE CALCULO SE HARA ESPECIFICAMENTE NECESARIO AL MOMENTO DE ESTAR PLANIFICANDO SISTEMAS DE PROTECCION PASIVOS, ASI COMO RUTAS DE EVACUACION, ESTO, PARA PODER ESTIMAR ESPESORES DE CAPA DE RECUBRIMIENTOS PARA ESTRUCTURAS, Y SABER TAMBIEN CUANTO TIEMPO DE RESISTENCIA AL FUEGO DEBE DE SER SUMINISTRADO EN LAS RUTAS SEGURAS PARA EVACUACION.

POR MEDIO DE FUNCIONES LOGARITMICAS, SE HA PODIDO ESTIMAR LA CURVA NORMALIZADA TIEMPO TEMPERATURA, QUE ES UNA FUNCION TIEMPO-TEMPERATURA, DONDE PODEMOS CONOCER DE UNA MANERA BASTANTE APROXIMADA Y PRECISA, CUANTO CALOR SE GENERARÁ EN FUNCION DE LA DURACION DEL PERIODO DE EXPOSICION.

CURVA NORMALIZADA TIEMPO TEMPERATURA, UNE EN 1363:2000								
Tiempo t, en minutos	15	30	45	60	90	120	180	240
Temperatura en el sector, en °C	740	840	900	950	1000	1050	1100	1150



Se ha discutido en los capítulos anteriores las condiciones necesarias que deben darse para que el proceso de combustión llegue a estar en el límite de mezcla ideal.

Existe un parámetro muy importante que debe de conocerse para poder comprender la magnitud de un incendio, así como también poder determinar y predecir el comportamiento de los miembros estructurales y no estructurales en condiciones de un incendio, a este parámetro se le denomina

CARGA COMBUSTIBLE O CARGA POR FUEGO

El objetivo de realizar un estudio a cerca de la carga combustible, o carga por fuego, es el de determinar la cantidad total de calor capaz de desarrollar la combustión completa de todos los materiales contenidos en un sector de incendio, con el resultado obtenido se puede establecer el comportamiento de los materiales constructivos, resistencia de las estructuras, tipos de ventilación, ya sea mecánica o natural, y por último, calcular la capacidad extintora mínima necesaria a instalar en el sector de incendio, misma que no se debe de confundir con la cantidad de extintores requeridos.

Al realizar el cálculo de carga por fuego, se convertirá el peso de todos los materiales presentes en un sector de incendio, relacionando su poder calorífico con el de la madera, utilizando el patrón de referencia 4400 Kcal/kg. Esto significa que si uno cambiara todos los elementos presentes en ese sector y colocara la cantidad de kilogramos de madera calculada, en el caso de un incendio se generaría la misma cantidad de calor. Para tener un dato más representativo, pero con el mismo criterio, se divide a la cantidad de madera, por la superficie del sector de incendio, de esta forma nos da la cantidad de madera por metro cuadrado de superficie equivalente.

Debemos de tener esto en mente al momento de leer y comprender cuál es la importancia de dominar el concepto de carga combustible, para poder tener parámetros para diseñar de una manera eficaz el mejor sistema de protección por fuego que se adapte a las necesidades del proyecto que se esté planificando.³⁶

CARGA COMBUSTIBLE O CARGA POR FUEGO

Se le llama carga combustible o carga por fuego, en un edificio, a la cantidad total de calor que se desprende por combustión completa al incendiarse totalmente un edificio o parte de él. Esta energía calórica proviene de la suma del poder calorífico de cada uno de los materiales que componen los elementos que se encuentran dentro del edificio, material de terminaciones, acabados, mobiliario y el material que conforma la estructura propiamente.

Puede distinguirse carga combustible media y carga combustible puntual. La carga combustible media se calcula como la carga combustible total dividida por el área del edificio. La carga combustible puntual se calcula sobre un área de 4 metros cuadrados.

³⁶ Merlino, Damian CARGA POR FUEGO, Calculo, aplicación e importancia. Gestion Ambiental y Proteccion contra Siniestros GAPS, Argentina, 2009. Pagina 2

Este resultado, se expresa en Joules o sus múltiplos, como Megajoules o GigaJoules. También en Kcal o Mcal.

Definición de Carga combustible (carga por fuego)

La carga de fuego es el punto inicial para estimar el potencial, el tamaño y la severidad de un incendio, y de esta manera también, la resistencia requerida de muros, columnas, puertas, pisos y cielos falsos, así como otras partes de la compartimentación para incendios.



Ilustración 139, material combustible consumido parcialmente por las llamas, en un ensayo controlado, Fuente: NIST

El término carga de fuego es definido como el calor total contenido en la combustión completa de todos los materiales combustibles contenidos dentro de un edificio o un compartimiento. Mientras más alto sea el valor, mayor será el potencial de la severidad del fuego, así como el daño, y la duración del periodo de combustión es considerada proporcional a la carga combustible.

La densidad de la carga por fuego en edificios es normalmente expresada en unidades de Megajoules por metro cuadrado.

Al estimar la carga por fuego en compartimentos, las propiedades de la combustión de la carga por fuego, tales como su naturaleza, peso, espesores, aéreas de la superficie y su

localización juegan un papel crítico. Entonces, las cargas de fuego, comúnmente son divididas en dos categorías, así:³⁷

- A. **Carga combustible fija**, que consiste en los materiales combustibles expuestos permanentemente, comúnmente adosados o fijados en las paredes y muros, cielos falsos y pisos, y alguna otra dada por ornamentación y adornos
- B. **Carga combustible móvil**, la que consiste en todo el mobiliario que puede ser combustible, y otros contenidos que son traídos al edificio para el uso de los usuarios.

En la práctica, la carga combustible variara de acuerdo a la ocupación, y la localización en el edificio, así como con el tiempo. De cualquier manera, es posible determinar por medio de estudios estadísticos la probabilidad de la presencia de determinada densidad de carga combustible en varias posibilidades de ocupación, tales como moteles, hoteles, oficinas, escuelas y hospitales.

Todos y cada uno de los materiales que constituyen tanto acabados fijos adosados a muros, así como el mobiliario que el usuario lleva para amoblar las instalaciones se constituyen como posibles fuentes de carga por fuego al momento de darse un incendio.

La mayoría de los elementos están constituidos por madera, ya sea madera natural o aglomerados de algún tipo, y materiales sintéticos tales como plásticos o resinas. Por otro lado, los resultados de todos los cálculos de la carga combustible, independientemente de la naturaleza de esta, serán asociados a un determinado volumen de madera equivalente.

Debido a ello, se ha determinado que en el estudio de la carga combustible, es de especial interés la forma de combustión de 2 elementos:

- **Combustible sólido de madera**
- **Materiales termoplásticos**

Combustible sólido de madera

La madera es un material bastante diverso, y toma una cantidad de tiempo significativa para quemarse totalmente. Muchos efectos tales como la densidad, composición química, contenido de humedad, permeabilidad y factor de contracción por carbonización, han sido identificados como variables principales que afectan el comportamiento de combustión de la madera. Típicamente, para los materiales maderables, al carbonizarse la madera, la tasa de liberación de calor (HHR por sus siglas en Ingles *Heat Release Rate*) decrece debido al efecto aislante de la capa de carbón creada. Si la madera es lo suficientemente gruesa, la tasa de liberación de calor se estabilizara a un estado estable. En la figura se muestra el comportamiento de materiales maderables en un incendio real.

³⁷ Effects of surface area and thickness on Fire Loads, FIRE ENGINEERING RESEARCH REPORT, University of Canterbury, New Zealand, Marzo 2000

Se puede apreciar, que las partes más delgadas, han sido quemadas totalmente, mientras que las partes más gruesas aun permanecen. Esto demuestra que la madera gruesa, o los materiales combustibles juntos que están almacenados en forma de bultos, tal como libros o papeles toman un tiempo más largo en consumirse totalmente.



Ilustración 140, madera que aun no está consumida en su totalidad, aun cuando estuvo expuesta a fuego controlado en un ensayo normado realizado. fuente: effects of surface area and thickness on fire loads, FIRE ENGINEERING RESEARCH REPORT, university of Canterbury

Además de esto, debido a la capa de carbón formada, tiene lugar un efecto aislante en los materiales maderables, y la tasa de combustión disminuirá, lo que hace mas lento el proceso de combustión total.

En un incendio real, comparado con los materiales termoplásticos, es aún posible ver restos de los materiales maderables con sus superficies carbonizadas. Esto es debido a que la mayor parte del tiempo, el fuego se extingue debido a la falta de aire para promover la combustión, o el fuego se detiene antes de que los materiales maderables puedan quemarse totalmente.

La madera mostrada en la figura esta carbonizada y quemada solamente en los lados expuestos. Todas las demás superficies que no han sido expuestas al fuego, un numero de piezas de madera juntas en determinadas configuraciones tendrán mucha más resistencia al fuego que una pieza que sea expuesta por sí sola. Además de esto, las características de combustión son diferentes de para una pieza de madera simple con todas sus superficies expuestas a la llama.

Materiales combustibles, así como los archivos de las oficinas o las hojas de papel almacenadas sobre muebles de metal, son consumidos de una manera parcial, y algunos de ellos aún permanecen en buenas condiciones.

A pesar de que el comportamiento en combustión de los materiales maderables está afectado por los factores anteriormente mencionados, estos efectos, tales como el aislamiento por carbón, no son tomados en cuenta al momento del cálculo de la carga



Ilustración 141, partes de un archivo de metal conteniendo papel, que aun no ha sido consumido en su totalidad, aun siendo expuesto a fuego controlado, en un ensayo normado

combustible. Al momento de hacer el cálculo de la carga combustible total se asume que todos los materiales, maderables o no maderables, experimentan ignición luego del Flashover, y continuaran ardiendo hasta que se consuman totalmente sin ninguna intervención.³⁸

Densidad por masividad

La madera varia significativamente en función de su especie. Por lo tanto, cada especie de madera tiene diferente valor de densidad. La densidad por si sola no tiene un efecto considerable en la taza de liberación de calor.

Mas generalmente, el efecto de la densidad está relacionado con la composición química de la madera. Depende del contenido de lignina en la madera, la madera con mas alto

³⁸ Matala, A. Estimation of Solid Phase Reaction Parameters for Fire Simulation. Tesis Doctoral, Universidad Tecnologica de Helsinki, año 2008

contenido de lignina liberara menos calor que aquella con menor contenido de lignina, en las mismas condiciones de combustión.

Por esta razón, es muy importante contar con un valor de densidad conveniente cuando se calcule la tasa de liberación de calor para las cargas combustibles. Dado que la densidad de la madera varía dependiendo de la especie, variables climáticas, etc., se recomienda asumir o utilizar una densidad seca de 450 kg/m^3 .

Además de requerir la densidad por masividad de la madera para estimar la tasa de liberación de calor, es también importante estimar la masa de la carga combustible. Esto, es especialmente importante más aun cuando se trate de combustibles que sean demasiado grandes o pesados para medir su masa, y solamente su volumen pueda ser medido.

Combustión de materiales Termoplásticos

Los combustibles termoplásticos tienen a derretirse y a quemarse en “lagunas o charcos” en el suelo de los compartimientos. Los muebles tapizados que más comúnmente se sometieron a fuego en ensayos durante los estudios conducidos de carga combustible



Ilustración 142, ensayo de combustión realizado con un mueble tapizado, para determinar el tiempo en que el material es totalmente consumido

Son las sillas tapizadas, sillones tipo sofá, y colchones de cama. Las sillas y los colchones son muebles blandos, que han sido construidos de la misma manera: ambos utilizan esponjas de poliuretano recubierta por telas. De cualquier manera, los fuegos por colchones son diferentes de los fuegos producidos por sillas tapizadas, esto es porque los

colchones son planos, mientras que las sillas normalmente tienen asientos, respaldos y



Ilustración 143, ensayo de combustión, tiempo de duración aproximadamente 3 minutos



en algunos casos apoyabrazos. Además de esto, una silla tapizada es normalmente compuesta con madera y algunos tienen resortes de acero. Los colchones que no tienen

componentes estructurales y que carecen de resortes internos, y consisten solamente en un block de esponja de poliuretano, luego de la combustión, todo el sólido de poliuretano se derretirán y se convertirá en un charco líquido en el suelo. La cantidad de poliuretano será menor en colchones que tienen bastante aire o resortes adentro.

Durante la exposición al fuego de sillas tapizadas o sofás, que usualmente están fabricados de telas de poliuretano y esponja, la tela comúnmente se encoge, se derrite y se desprende de toda la superficie, mientras continua ardiendo. Luego, la esponja en el interior arde en llamas y se consume hasta formar un charco líquido en el suelo. Para sillas o sofás que están hechos de fibras de algodón, en vez de encogerse y luego derretirse, la tela se carbonizara y ardera en llamas. Las sillas hechas de telas de lana, esta se carbonizara antes de encogerse, y luego ardera en llamas.

El mueble mostrado en el ensayo de fuego es hecho de tela de poliuretano y esponja, y está constituido por un marco de madera. La masa total del mueble es de 18 kg, de los cuales, aproximadamente el 24% del total de la masa consiste en materiales de tapizado, las dimensiones del elemento son de 0.76 x 0.58 metros. Es evidente el proceso de licuefacción que experimentan los componentes.

Densidad de masividad

La densidad de masividad de los muebles o el mobiliario tapizado, varía de acuerdo a la naturaleza de sus materiales. De cualquier manera, la mayoría de los muebles tapizados son hechos de poliuretano, y debido a esto, la densidad el poliuretano será utilizada para la mayoría de los cálculos donde intervengan pesos o masas de amoblado tapizado. Para otros materiales plásticos tales como persianas, cubos para basura, etc., una diferente densidad de plástico será utilizada de acuerdo con el material. La densidad de los diferentes materiales termoplásticos puede ser encontrada en datos provistos en cualquier manual o catalogo de plásticos.

CARGA DE FUEGO PONDERADA, PARAMETROS DE CÁLCULO

La densidad de carga térmica o carga de fuego se determina mediante el cálculo de la sumatoria del producto de la cantidad de cada materia combustible, por su poder calorífico respectivo y dividido por la superficie del local que contenga las materias consideradas.

Este concepto representa la energía calorífica por unidad de superficie que se liberaría en el caso de incendio de todo el material combustible existente en el local.

En las normativas europeas UNE EN 1991-1-2:2004 se define la carga por fuego o carga combustible como la suma de las energías caloríficas que se liberan en la combustión de todos los materiales combustibles existentes en un espacio.

El fundamento del cálculo de la carga por fuego proviene de la existencia de una correlación con la resistencia al fuego exigible a los elementos constructivos del local que debe contener las materias combustibles. La justificación se basa en el tiempo que puede durar la combustión de cada una de esas materias combustibles, que se transforma en

una exigencia de tiempo de resistencia al fuego para evitar la propagación del incendio a otras zonas colindantes.

La zona protegida mediante unos elementos constructivos con características determinadas para que el incendio no se propague, recibe el nombre de sector o compartimento de incendio.

La fórmula de cálculo práctico de la carga térmica ponderada o de la densidad de carga de fuego ponderada y corregida de un sector de incendio, se expresa de la siguiente manera:

$$Q_s = \frac{\sum_{i=1}^n G_i q_i C_i}{A} R_a$$

Donde las variables son definidas de la siguiente manera:

Q_s: densidad de carga de fuego ponderada y corregida, del sector o área de incendio, en megajoules por metro cuadrado (MJ/m²) o en mega calorías por metro cuadrado (Mcal/m²).

G_i: masa en Kilogramos de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector o área de incendio (incluidos los materiales constructivos combustibles)

q_i: poder calorífico en MJ/Kg o Mcal/Kg de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector de incendio

C_i: coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad por combustibilidad de cada uno de los combustibles (i) que existen en el sector de incendio

R_a: coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad (por activación) inherente a la actividad que se desarrolla en el sector de incendio. Cuando existen varias actividades en el mismo sector, se tomara como factor de riesgo de activación inherente a la actividad de mayor riesgo de activación, siempre que dicha actividad ocupe por lo menos el 10 por ciento de la superficie del sector o área de incendio.

A: superficie construida del sector de incendio, o superficie ocupada del área de incendio, en metros cuadrados (m²)

n: Numero de materiales combustibles

DEFINICION DE PARAMETROS

Masa en Kilogramos de cada uno de los combustibles (G_i)

Para cuantificar el primer parámetro incluido en la expresión de cálculo, se necesita conocer la masa en kilogramos de cada uno de los productos, sustancias, materias, palets, tablas, estanterías, encases, cajas, bobinas, etc., que son los combustibles existentes en el sector de incendio del cálculo, sin olvidarse de los materiales combustibles y decorativos de la estructura que sean combustibles. Debe adoptarse el valor del inventario máximo, que es cuando se tiene mayor peligro y con la aproximación que se pueda. Para los almacenamientos de líquidos en depósitos o envases de volumen conocido, si no se conoce la masa en kilogramos, se debe disponer de la densidad para aplicar la fórmula: $\text{masa(kg)} = \text{volumen(L)} \times \text{densidad(Kg/L)}$. Otra manera es pesar los productos, y descontar la tara o peso del envase para tener los kilos del producto.

Poder calorífico (q_i)

El segundo parámetro es el poder calorífico, en Mj/Kg o Mcal/Kg de cada uno de los combustibles. En algunas bibliografías, el poder calorífico, también se puede encontrar con la denominación de potencia calorífica, calor de combustión y entalpia de combustión. Además, existen varios documentos técnicos que proporcionan el poder calorífico de materias y de productos diversos, los cuales han sido tabulados y compilados de los libros que se citan, y se presentan como tablas de referencia para efectos del cálculo de la carga combustible.

VALORES PROMEDIO DE PODER CALORIFICO (q)
 tabla de elaboración propia, datos obtenidos de Guía Técnica RSCI, Madrid, España, año 2004

PODER CALORIFICO(q) DE DIVERSAS SUSTANCIAS								
producto	Mj/kg	Mcal/kg	producto	Mj/kg	Mcal/kg	Producto	Mj/kg	Mcal/kg
Aceite de algodón	37.2	9	carbon	31.4	7.5	Leche en Polvo	16.7	4
Aceite de Creostosa	37.2	9	carbono	33.5	8	lino	16.7	4
aceite de lino	37.2	9	carton	16.7	4	linoleum	2.1	0.5
aceite mineral	42	10	carton asfaltico	21	5	madera	16.7	4
aceite de oliva	42	10	celuloide	16.7	4	magnesio	25.1	6
aceite de parafina	42	10	celulosa	16.7	4	malta	16.7	4
acetamida	21	5	chocolate	25.1	6	metano	50.2	12
acetato de amilo	33.5	8	cicloheptano	46	11	nitrito de acetona	29.3	7
acetato de polivinilo	21	5	ciclohexano	46	11	monoxido de carbono	8.4	2
acetona	29.3	7	ciclopentano	46	11	nitrocelulosa	8.4	2
acetileno	50.2	12	ciclopropano	50.2	12	octano	46	11
acetileno disuelto	16.7	4	cloruro de polivinilo (PVC)	21	5	papel	16.7	4
acido ascetico (vinagre)	16.7	4	cola celulosa	37.2	9	parafina	46	11
acido benzoico	25.1	6	coque de hulla	29.3	7	pentano	50.2	12
acroleina	29.3	7	cuero	21	5	petroleo	42	10
aguarras	42	10	dietilamina	42	10	poliamida	29.3	7
albumina vegetal	25.1	6	dietilcetona	42	10	policarbonato	29.3	7
alcanfor	37.2	9	dietileter	37.2	9	poliester	25.1	6
alcohol alilico	33.5	8	difenil	42	10	poliestireno	42	10
alcohol amilico	42	10	dinamita (75%)	4.2	1	polietileno	42	10
alcohol butilico	33.5	8	dipenteno	46	11	poliisobutileno	46	11
alcohol cetilico	42	10	ebonita	33.5	8	politetrafluoretileno	4.2	1
alcohol etilico	25.1	6	etano	50.2	12	poliuretano	25.1	6
alcohol metilico	21	5	eter amilico	42	10	propano	46	11
almidon	16.7	4	eter etilico	33.5	8	rayon	16.7	4
anhidrido acetico	16.7	4	fibra de coco	25.1	6	resina de pino	42	10
anilina	37.2	9	fenol	33.5	8	resina de fenol	25.1	6
antraceno	42	10	fosforo	25.1	6	resina de urea	21	5
antracita	33.5	8	furano	25.1	6	seda	21	5
azucar	16.7	4	gasoleo	42	10	sisal	16.7	4
azufre	8.4	2	glicerina	16.7	4	sodio	4.2	1
benzaldehido	33.5	8	grasas	42	10	sulfuro de carbono	12.5	3
bencina	42	10	gutapercha	46	11	tabaco	16.7	4
benzol	42	10	harina de trigo	16.7	4	te	16.7	4
benzofena	33.8	8	heptano	46	11	tetralina	46	11
butano	46	11	hexametileno	46	11	toluol	42	11
cacao en polvo	16.7	4	hexano	46	11	triacetato	16.7	4
café	16.7	4	hidrogeno	142	34	turba	33.5	8
cafeina	21	5	hidruro de magnesio	16.7	4	urea	8.4	2
calcio	4.2	1	hidruro de sodio	8.4	2	viscosa	16.7	4
caucho	42	10	lana	21	5			

Tabla 3, poder calorifico de algunas sustancias

Coeficiente de peligrosidad por combustibilidad

El coeficiente de peligrosidad por combustibilidad C_i pondera la facilidad de ignición de los productos existentes en el sector de incendio considerado. A una mayor facilidad de ignición, se le da un coeficiente C_i de mayor valor.

La combustibilidad está clasificada en tres niveles:

- Alta, con un $C_i = 1.6$
- Media, con un $C_i = 1.3$
- Baja, con un $C_i = 1$

En el caso de cálculo de carga térmica ponderada para edificaciones no industriales, el valor para grado de peligrosidad media es de 1.2

VALORES DEL COEFICIENTE DE PELIGROSIDAD POR COMBUSTIBILIDAD		
ALTA	MEDIA	BAJA
combustibles líquidos	líquidos químicos inflamables	líquidos de bajo índice explosivo
sólidos capaces de iniciar su combustión a temperatura as inferiores a 100°C	sólidos que comienzan su ignición a una temperatura comprendida entre 100 y 200°C	sólidos que comienzan su ignición a una temperatura superior a 200°C
productos que pueden formar mezclas explosivas con el aire a temperatura ambiente	sólidos que emiten gases inflamables	
productos que pueden iniciar combustión espontanea en el aire a temperatura ambiente		
$C_i = 1.6$	$C_i = 1.30$	$C_i = 1.00$

Tabla 4, valores de coeficiente de peligrosidad por combustibilidad de algunas sustancias

Índices de Combustibilidad por actividad realizada o por producto manejado o almacenado, por metro cuadrado y por metro cubico, según aplique al caso

VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA Y RIESGO DE ACTIVACION ASOCIADO (Ra)

actividad realizada	Fabricacion y Venta			area de almacenamiento		
	q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
abonos quimicos	200	48	1.5	200	48	1
aceites comestibles	1000	240	2	18900	4543	2
aceites comestibles, expendio	900	216	1.5	18900	4593	2
aceites mineral, vegetal y animal	1000	240	2	18900	4593	2
acero	40	10	1			
agujas de acero	200	48	1			
acetileno, envasado	7000	168	1.5			
acido carbonico	40	10	1			
acidos inorganicos	80	19	1			
acumuladores	400	96	1.5	800	192	1.5
acumuladores, local de venta	800	192	1.5			
alambre metalico aislado	300	72	1	1000	240	2
alambre metalico no aislado	80	19	1			
alfarería	200	48	1			
algodón en rama, Guata	300	72	1.5	1100	264	2
algodón, almacenaje				1300	313	2
Alimentos, local de embalaje	800	182	1.5	800	192	1.5
alimentos, local de expendio	1000	240	2			
alimentos, materias primas				3400	817	2
alimentos, platos precocinados	200	48	1			
almacenes de talleres	1200	288	2			
almidon	2000	481	2			
alquitran				3400	817	2
alquitran, productos	800	192	1.5	3400	817	2
altos hornos	40	10	1			
aluminio, produccion	40	10	1			
aluminio, trabajo de material	200	48	1			
antiguedades, local de venta	700	168	1			
aparatos de radio, fabricacion	300	72	1	200	48	1
aparatos de radio, local de venta	400	96	1			
aparatos de television	300	72	1	200	48	1
aparatos domesticos	300	72	1	200	48	1
aparatos electricos	400	96	1	400	96	1

Tabla Elaboracion propia, datos obtenidos de Guia Tecnica RSCI, Madrid, España, año 2004

Índices de Combustibilidad por actividad realizada o por producto manejado o almacenado, por metro cuadrado y por metro cubico, según aplique al caso

VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA Y RIESGO DE ACTIVACION ASOCIADO (Ra)

actividad realizada	Fabricacion y Venta			area de almacenamiento		
	q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
aparatos electricos, local de reparacion	500	120	1			
aparatos electronicos	500	120	1	400	96	1
aparatos electronicos, local de reparacion	500	120	1			
aparatos fotograficos	300	72	1	600	144	1.5
aparatos mecanicos	400	96	1			
aparatos pequeños, local de manufactura	300	72	100			
aparatos sanitarios, taller	100	24	1			
aparatos, local de exhibicion	700	168	2			
aparatos, local de prueba	200	48	1			
aparatos, talleres de reparacion	600	144	1			
aparcamientos, edificios de parques	200	48	1.5			
apósitos, fabricacion de articulos	400	96	1.5	800	192	1.5
archivos	4200	1010	2	1700	409	2
armarios frigorificos	1000	240	2	300	72	1
armas	300	72	1			
articulos de metal	200	48	1			
articulos de yeso	80	19	1			
articulos de metal fundidos por inyeccion	80	19	1			
articulos metalicos, amolado	80	19	1			
articulos metalicos, barnizado	300	72	1			
articulos metalicos, cerrajeria	200	48	1			
articulos metalicos, chatarras	80	19	1			
articulos metalicos, dorado	80	19	1			
articulos metalicos, estampado	100	24	1			
articulos metalicos, forja	80	19	1			
articulos metalicos, fresado	200	48	1			
articulos metalicos, fundicion	40	10	1			

Tabla Elaboracion propia, datos obtenidos de Guia Tecnica RSCI, Madrid, España, año 2004

Índices de Combustibilidad por actividad realizada o por producto manejado o almacenado, por metro cuadrado y por metro cubico, según aplique al caso

VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA Y RIESGO DE ACTIVACION ASOCIADO (Ra)

actividad realizada	Fabricacion y Venta			area de almacenamiento		
	q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
articulos metalicos, grabado	200	48	1			
articulos metalicos, soldadura	80	18	1			
articulos metalicos, soldadura ligera	300	72	1			
articulos pirotecnicos	2000	481	2	2000	481	3
aserraderos	400	96	1.5			
asfalto (bidones, bloques)				3400	817	2
asfaltos, manipulacion de emulsiones	800	192	1.5	3400	817	2
automoviles, carrocerias	200	48	1			
automoviles, almacen de accesorios				800	192	1.5
automoviles, garages y parqueos	200	48	1			
automoviles, guarnicion	700	168	1.5			
automoviles, planta de montaje	300	72	1.5			
automoviles, local de pintura	500	120	1.5			
automoviles, taller de reparacion	300	72	1			
automoviles, venta de accesorios	300	72	1			
aviones	200	48	1			
aviones, hangar de mantenimiento	200	48	1.5			
azucar				8400	2019	2
azucar, productos derivados	800	192	1.5	800	192	1.5
azufre	400	96	2	4200	1010	2
balanzas	300	72	10			
barcos de madera	600	144	1.5			
barcos de plastico	600	144	1.5			
barcos metalicos	200	48	1			
barnices	5000	1202	2	2500	601	2
barnices a la cera	2000	481	2	5000	1202	2
barnices, local de exhibicion	1000	240	2			
barnizado	80	19	1.5			
bebidas alcoholicas (licores)	700	168	1.5			
bebidas alcoholicas (venta)	500	120	1.5	800	192	1.5

Tabla Elaboracion propia, datos obtenidos de Guia Tecnica RSCI, Madrid, España, año 2004

Índices de Combustibilidad por actividad realizada o por producto manejado o almacenado, por metro cuadrado y por metro cubico, según aplique al caso

VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA Y RIESGO DE ACTIVACION ASOCIADO (Ra)

actividad realizada	Fabricacion y Venta			area de almacenamiento		
	q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
bebidas bajas o sin contenido de alcohol	80	19	1	125	30	1
bebidas sin alcohol, local de venta	300	72	1			
bebidas sin alcohol, zumos de frutas	200	48	1			
bibliotecas	2000	481	1	2000	481	2
bicicletas	200	48	1	400	96	1
bodegas para vinos	80	19	1			
bramante, hilos de cañamo	400	96	1.5	1100	264	2
bramante, almacenaje				1100	264	2
cables	300	72	1	600	144	1.5
cacao, productos derivados	800	192	2	5800	1394	2
café crudo, sin refinar				2900	697	2
café, extracto	300	72	1	600	144	1.5
café, tostadero	400	96	1.5			
cajas de madera	1000	240	2	600	144	1.5
cajas fuertes	80	19	1			
calderas, cuartos en edificios	200	48	1			
calefactores	300	72	1			
calzado	500	120	1.5	400	96	1
calzado, accesorios para				800	192	1.5
calzado, planta de produccion	600	144	1.5			
calzado, locales de venta	500	120	1.5	400	96	1
cantinas	300	72	1			
caramelos	400	96	1	1500	361	2
caramelos, embalado	800	192	1.5			
carbon de coque				10500	2524	2
carnicerias	40	10	1			
carreteria, articulos	500	120	1.5			
carton	300	72	1.5	4200	1010	1.5
carton embreado	2000	481	2	4200	1010	1.5
carton ondulado	800	192	2	1300	313	2
carton piedra	300	72	1.5	2500	601	1.5
cartonaje	800	192	1.5	2500	601	1.5
cartonaje, fabricacion	600	144	1.5			
caucho				28600	6875	2
caucho, articulos derivados	600	144	1.5	5000	1202	2
caucho, local de venta de articulos	800	192	1.5			
celuloide	800	192	1.5			
cemento	40	10	1			
calefacciones	200	48	1			

Tabla Elaboracion propia, datos obtenidos de Guia Tecnica RSCI, Madrid, España, año 2004

Índices de Combustibilidad por actividad realizada o por producto manejado o almacenado, por metro cuadrado y por metro cubico, según aplique al caso

VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA Y RIESGO DE ACTIVACION ASOCIADO (Ra)

actividad realizada	Fabricacion y Venta			area de almacenamiento		
	q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
centrales hidraulicas	80	19	1			
centrales hidroelectricas	40	10	1			
centrales termicas	200	48	1			
cepillos y brochas	700	168	1,5	800	192	
ceras				3400	817	2
ceras, articulos derivados	2100	505	2			
ceramicas, articulos derivados	200	48	1			
cerrajerias	200	48	1			
cervecerias	800	19	1			
cesteria	400	96	1.5	200	48	1
cesteria, venta de articulos	300	72	1	200	48	1
chapa, articulos de chapa, embalaje de articulos	100	24	1			
chatarreria	200	48	1			
chatarreria	300	72	1			
chocolate	400	96	1.5	3400	817	1.5
chocolate, embalaje	500	120	2			
chocolate, fabricacion, sala de moldes	1000	240	2			
cines	300	72	1			
cochecitos de niño	300	72	1	800	192	1.5
colchones no sinteticos	500	120	1.5	5000	1202	2
colores y barnices con diluyentes combustibles	4000	962	2	2500	601	2
colores y barnices, manufactura	800	192	2			
colores y barnices, mezclas	2000	481	2			
colores y barnices, sala de ventas	1000	240	2			
confiterias	400	96	1	1700	409	2
congelados	800	192	1.5	372	89	1
conservas	40	10	1	372	89	1
corcho				800	192	1.5
corcho, articulos derivados	500	120	1.5	800	192	1.5
cordelerias	300	72	1.5	600	144	1.5
cordelerias, ventas	500	120	1.5			
correas	500	120	1.5	5000	1202	2
cortinas en rollo	1000	240	2			
cosméticos	300	72	1.5	500	1202	1.5
crin, cerdas				600	144	1.5
cristalerias	100	24	1			
cuero				1700	409	1.5
cuero sintético	1000	240	1.5	1700	409	1.5

Tabla Elaboracion propia, datos obtenidos de Guia Tecnica RSCI, Madrid, España, año 2004

Índices de Combustibilidad por actividad realizada o por producto manejado o almacenado, por metro cuadrado y por metro cubico, según aplique al caso

VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA Y RIESGO DE ACTIVACION ASOCIADO (Ra)

actividad realizada	Fabricacion y Venta			area de almacenamiento		
	q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
cuero sintetico, productos derivados	400	96	1	800	192	1.5
cuero sintetico, recorte de articulos	300	72	1			
cuero, articulos de	500	120	1.5	600	144	1.5
cuero, recorte de articulos	300	72	1			
cuero, venta de articulos	700	168	1.5			
deportes, venta de articulos deportivos	800	192	1.5			
depositos de hidrocarburos				43700	10505	2
depositos de mercaderias incombustibles en cajas de madera				200	48	1
depositos de mercaderias incombustibles en cajas de plastico				200	48	1
depositos de mercaderia incombustible en casilleros de madera				100	24	20
depositos de mercaderia incombustible en estanterias de madera				3400	817	2
diluyentes				3400	817	2
discos, discos compactos y similares	600	144	1.5	3400	817	1.5
droguerias	1000	240	2	800	192	1.5
edificios frigorificos	2000	481	2			
electricidad, almacen de materiales de				400	96	1
electricidad, taller de embalaje de material impreso	600	144	1.5			
embalaje de mercancias combustibles	1700	409	2			
embalaje de mercancias combustibles	600	144	1.5			
embalaje de mercancias incombustibles	400	96	1			

Tabla Elaboracion propia, datos obtenidos de Guia Tecnica RSCI, Madrid, España, año 2004

Índices de Combustibilidad por actividad realizada o por producto manejado o almacenado, por metro cuadrado y por metro cubico, según aplique al caso

VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA Y RIESGO DE ACTIVACION ASOCIADO (Ra)

actividad realizada	Fabricacion y Venta			area de almacenamiento		
	q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
embalaje de productos alimenticios	800	192	1.5			
embalaje de textiles	600	144	1.5			
emisoras de radio	80	19	1			
encuadernacion	1000	240	2			
escobas	700	168	1.5	400	96	1
esculturas de piedra	40	10	1			
especias	40	10	1	200	48	1.5
espumas sinteticas	3000	721	1.5	1700	409	2
espumas sinteticas, articulos derivados	600	144	1.5	800	192	1.5
esquies	400	96	1.5	800	192	1.5
estampacion de productos sinteticos	300	72	1	1700	409	2
estampado de materias sinteticas	400	96	1			
estampado de metales	100	24	1			
estilograficas	200	48	1			
estudios de television	300	72	1			
estufas de gas	200	48	1			
expedicion (manufactura) de aparatos parcialmente sinteticos	700	168	1			
expedicion (manufactura) de aparatos totalmente sinteticos	1000	240	1			
expedicion (manufactura) de articulos de cristal	700	168	2			
expedicion (manufactura) de articulos de hojalata	200	48	1			
expedicion (manufactura) de articulos impresos	1700	409	2			
expedicion (manufactura) de articulos sinteticos	1000	240	2			
expedicion (manufactura) de bebidas	300	72	1			

Tabla Elaboracion propia, datos obtenidos de Guia Tecnica RSCI, Madrid, España, año 2004

Índices de Combustibilidad por actividad realizada o por producto manejado o almacenado, por metro cuadrado y por metro cubico, según aplique al caso

VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA Y RIESGO DE ACTIVACION ASOCIADO (Ra)

actividad realizada	Fabricacion y Venta			area de almacenamiento		
	q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
expedicion (manufactura) de cartonaje	600	144	1.5			
expedicion (manufactura) de ceras y barnices	1300	313	2			
expedicion (manufactura) de muebles	600	144	1.5			
expedicion (manufactura) de pequeños articulos de madera	600	144	1.5			
expedicion (manufactura) de productos alimenticios	1000	240	2			
expedicion (manufactura) de textiles	600	144	1.5			
exposicion de automoviles	200	48	1			
exposicion de cuadros	200	48	1			
exposicion de maquinas	80	19	1			
exposicion de muebles	500	120	1.5			
Farmacias (incluye almacen)	800	182	1.5			
feretros de madera	500	120	1.5			
fibras de coco				8400	2019	2
fieltro	600	144	1.5	800	192	1.5
fieltro, articulos derivados	500	120	1.5			
flores artificiales	300	72	1.5	200	48	1.5
flores, local de venta	80	19	1			
fontaneria	200	48	1			
forraje	2000	481	2	3300	793	2
fosforo	300	72	1.5	25100	6034	2
fosforos	300	72	1.5	800	192	2
fotocopias, talleres de copiado	400	96	1			
fotografia, laboratorios de fotoacabado	100	24	1			
fotografia, peliculas	1000	240	2			
fotografia, talleres	300	72	1.5			
fotografia, tienda	300	72	1			
fraguas	80	19	1			
fundicion de metales	40	10	1			
funiculares	300	72	1			

Tabla Elaboracion propia, datos obtenidos de Guia Tecnica RSCI, Madrid, España, año 2004

Índices de Combustibilidad por actividad realizada o por producto manejado o almacenado, por metro cuadrado y por metro cubico, según aplique al caso

VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA Y RIESGO DE ACTIVACION ASOCIADO (Ra)

actividad realizada	Fabricacion y Venta			area de almacenamiento		
	q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
galvanoplastia	200	48	1			
gasolineras				43700	10505	2
grandes almacenes	400	96	1.5			
granos	600	144	1.5	800	192	1.5
grasas	1000	240	2	18000	4327	2
grasas comestibles	1000	240	2	18900	4543	2
grasas comestibles, venta	900	216	1.5			
guantes	500	120	1.5			
guardarropa, armarios de madera	400	96	1			
guardarropa, armarios metalicos	80	19	1			
harina en sacos	2000	481	2	8400	2019	2
harina, fabrica o comercio sin almacenaje	1700	409	2	13000	3125	2
heladerias	80		1			
heno, balas de				1000	240	2
herramientas	200	48	1			
hidrogeno				130800	31442	2
hilados, cardados	300	72	2			
hilados, encanillado bobinado	600	144	1.5			
hilados, hilatura	300	72	1.5			
hilados, productos de hilo				1700	409	2
hilados, productos de lana				1900	457	2
hilados, torcido	300	72	1.5			
hojalaterias	100	24	1			
hormigon, articulos de concreto	100	24	1			
hornos	200	48	1			
hule	700	168	1.5	1300	313	2
hule, articulos derivados	700	168	1.5	2100	505	2
imprentas, almacen				8000	1923	2
imprentas, embalaje	2000	481	2			
imprentas, expedicion	200	48	1.5			
imprentas, salas de maquinas	400	96	1.5			
imprentas, taller tipografico	300	72	1.5			
incineracion de basura	200	48	1			
instaladores electricistas	200	48	1			

Tabla Elaboracion propia, datos obtenidos de Guia Tecnica RSCL, Madrid, España, año 2004

Índices de Combustibilidad por actividad realizada o por producto manejado o almacenado, por metro cuadrado y por metro cubico, según aplique al caso

VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA Y RIESGO DE ACTIVACION ASOCIADO (Ra)

actividad realizada	Fabricacion y Venta			area de almacenamiento		
	q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
instaladores, talleres	100	24	1			
instrumentos musicales	600	144	1.5			
instrumentos de optica	200	48	1	200	48	1
jabon	200	48	1	4200	1010	1.5
joyas, fabricacion	200	48	1			
joyas, local de venta	300	72	1			
juguetes	500	120	1.5	800	192	1.5
laboratorios bacteriologicos	200	48	1			
laboratorios de fisica	200	48	1			
laboratorios fotograficos	300	72	1.5			
laboratorios metalurgicos	200	48	1			
laboratorios odontologicos	300	72	1			
laboratorios quimicos	500	120	1.5			
laminas de hojalata	40	10	10			
lamparas de incandecencia	40	10	1,0			
lapiceros	500	120	1.5			
lavadoras	300	72	1	400	96	1
lavanderias	200	48	1			
leche condensada	200	48	1	9000	2163	1
leche en polvo	200	48	1	10500	2524	1
legumbres frescas, local de venta	200	48	1			
legumbres secas	1000	240	2	400	96	1.5
leña				2500	601	2
levadura	800	192	1.5			
librerias	1000	240	1.5			
limpieza quimica	300	72	1.5			
linoleo	500	120	1.5	5000	1202	2
locales de desechos, mercancias diversas	500	120	1.5			
lupulo				1700	409	2
madera en troncos				6300	1514	1.5
madera, articulos barnizados	500	120	1.5			
madera, articulos de ebanisteria	700	168	1.5			
madera, articulos de carpinteria	700	168	1.5			

Tabla Elaboracion propia, datos obtenidos de Guia Tecnica RSCI, Madrid, España, año 2004

Índices de Combustibilidad por actividad realizada o por producto manejado o almacenado, por metro cuadrado y por metro cubico, según aplique al caso

VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA Y RIESGO DE ACTIVACION ASOCIADO (Ra)

actividad realizada	Fabricacion y Venta			area de almacenamiento		
	q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
madera, articulos de expedicion	600	144	1.5			
madera articulos de impregnacion	3000	721	2			
madera, articulos de marqueteria	500	120	1.5			
madera, articulos de pulimentado	200	48	1			
madera, articulos de secado	800	192	1.5			
madera, articulos de aserrado	400	96	1.5			
madera, articulos de tallado	600	144	1.5			
madera, articulos de torneado	500	120	1.5			
madera, articulos de troquelado	700	168	1.5			
madera, mezclada o variada	800	192	1.5	4200	1010	2
madera, restos				2500	601	2
madera, vigas y tablas				4200	1010	1.5
madera, viruta				2100	505	2
malta				13400	3221	2
mantequillas	700	168	1.5			
maquinas	200	168	1			
maquinas de coser	300	72	1			
maquinas de oficina	300	72	1			
marcos	300	72	1			
marmol, articulos derivados	40	10	1			
mataderos (rastros)	40	10	1			
materiales de oficina	700	168	1.5	1300	313	2
materiales de construcción, almacenamiento				800	192	1.5
materiales sinteticos	2000	481	2	5900	1418	2
materiales usados, tratamiento	800	192	1.5	3400	817	2
materias sinteticas inyectadas	500	120	1.5			
materias sinteticas inyectadas, articulos derivados	600	144	1.5	800	192	1.5
materias sinteticas, estampado	400	96	1			
materias sitneticas, expedicion	1000	240	2			

Tabla Elaboracion propia, datos obtenidos de Guia Tecnica RSCI, Madrid, España, año 2004

Índices de Combustibilidad por actividad realizada o por producto manejado o almacenado, por metro cuadrado y por metro cubico, según aplique al caso

VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA Y RIESGO DE ACTIVACION ASOCIADO (Ra)

actividad realizada	Fabricacion y Venta			area de almacenamiento		
	q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
mecanica de precision, taller	200	48	1			
medicina, consulta medica	200	48	1			
medicamentos, embalaje	300	72	1	800	192	1.5
medicamentos, venta	800	192	1.5			
melaza				5000	1202	2
merceria, venta	700	168	1.5			
mermeladas	800	192	1.5			
metales preciosos	200	48	1			
metales, manufacturas en general	200	48	1			
metalicas, construcciones grandes	80	19	1			
minerales	40	10	1			
mostaza	400	96	1			
motocicletas	300	72	1			
motores electricos	300	72	1			
muebles de acero	300	72	1			
muebles de madera	500	120	1.5	800	192	1.5
muebles de madera barnizados	500	120	1.5			
muebles de madera, proceso de barnizado	200	48	1.5			
muebles, carpinteria	600	144	1.5			
muebles, tapizado sin espuma sintetica	500	120	1.5	400	96	1
muebles, venta	400	96	1.5			
muelles de carga con mercancias	800	192	1.5			
municiones				4500	1082	2
museos	300	72	1			
musica, tiendas de venta	300	72	1			
neumaticos	700	168	1.5	1800	433	2
nitrocelulosa				1100	264	2
oficinas comerciales	800	192	1.5			
oficinas postales	400	96	1			
oficinas tecnicas	60	144	1			
orfebreria	200	48	1			
oxigeno				43700	10505	2
paja prensada				800	192	1.5

Tabla Elaboracion propia, datos obtenidos de Guia Tecnica RSCI, Madrid, España, año 2004

Índices de Combustibilidad por actividad realizada o por producto manejado o almacenado, por metro cuadrado y por metro cubico, según aplique al caso

VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA Y RIESGO DE ACTIVACION ASOCIADO (Ra)

actividad realizada	Fabricacion y Venta			area de almacenamiento		
	q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
paja, articulos derivados	400	96	1.5			
paja, embalajes	400	96	1.5			
paletas de madera	1000	240	2	1300	313	2
palillos	500	120	1.5			
panaderias industriales	1000	240	1.5			
panaderias, almacenamiento	300	72	1			
panaderias, laboratorio y hornos	200	48	1			
paneles de corcho	500	120	1.5			
paneles de madera aglomerada	300	72	1.5	6700	1611	2
paneles de madera contrachapada	800	192	1.5	6700	1611	2
papel	200	48	1	10000	2404	2
papel, apresto	500	120	1.5			
papel, barnizado	80	19	1.5			
papel, desechos prensados				2100	505	2
papel, tratamiento de la madera y materias celulosicas	80	19	1.5			
papel, tratamiento y fabricacion	700	168	1.5			
papel, viejo o a granel				8400	2019	2
papeleria	800	192	1.5	1100	264	2
papeleria, venta	700	168	1.5			
paraguas	300	72	1	400	96	1
paraguas, venta	300	72	1			
parquets	2000	481	2	1200	288	2
pastas alimenticias	1300	313	2	1700	409	1.5
pastas alimenticias, expedicion	1000	240	2			
pegamentos combustibles	1000	240	1.5	3400	817	2
pegamentos incombustibles	800	192	1.5	3400	817	2
peleteria, productos de	500	120	1.5	1200	288	1.5
peleteria, venta	200	48	1			
peliculas, copias	600	144	1.5			
peliculas, talleres de	300	72	1.5			
perfumeria, articulos de	300	72	1.5			
perfumeria, venta de articulos	400	96	1			

Tabla Elaboracion propia, datos obtenidos de Guia Tecnica RSCI, Madrid, España, año 2004

Índices de Combustibilidad por actividad realizada o por producto manejado o almacenado, por metro cuadrado y por metro cubico, según aplique al caso

VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA Y RIESGO DE ACTIVACION ASOCIADO (Ra)

actividad realizada	Fabricacion y Venta			area de almacenamiento		
	q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
persianas, fabricacion de	800	192	1.5	300	72	1
pedras artificiales	40	10	1			
pedras de afilar	80	19	1			
pedras preciosas, tallado	80	19	1			
pedras refractarias, articulos de	200	48	1			
pieles, almacen				1200	288	1.5
pilas secas	400	96	1	600	144	1.5
pinceles	700	168	1.5			
placas de fibras blandas	300	72	1	800	192	1.5
placas de resina sintetica	300	72	1	800	192	1.5
planeadores	600	144	1.5			
porcelana	200	48	1			
prendas de vestir	500	120	1.5	400	96	1
prendas de vestir, local de venta	600	144	1.5			
procesp de datos, sala de ordenadores	400	96	1.5			
productos de lavado (lejia materia prima)	300	72	1	200	48	1
productos de reparacion de calzado	800	192	1.5	2100	505	2
productos farmaceuticos	200	48	1.5			
productos lacteos	200	48	1			
productos laminados salvo chapa y alambre	100	24	1			
productos quimicos combustibles	300	72	2	1000	240	2
puertas de madera	800	192	1.5	1800	433	2
puertas plasticas	700	168	1.5	4200	1010	2
quesos	100	24	1.5	2500	602	2
quioscos de periodicos	1300	313	2			
radiologia, gabinetes de	200	48	1			
refrigeradores	1000	240	2	300	72	1
rejillas, asientos y respaldos	400	96	1	1300	313	2
relojes	300	72	1	400	96	1
relojes, salas de reparacion	300	72	1			

Tabla Elaboracion propia, datos obtenidos de Guia Tecnica RSCI, Madrid, España, año 2004

Índices de Combustibilidad por actividad realizada o por producto manejado o almacenado, por metro cuadrado y por metro cubico, según aplique al caso

VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA Y RIESGO DE ACTIVACION ASOCIADO (Ra)

actividad realizada	Fabricacion y Venta			area de almacenamiento		
	q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
relojes, salas de venta	300	72	1			
resinas naturales	3300	793	2			
resinas sinteticas	3400	817	2	4200	1010	2
resinas sinteticas, placas de	800	192	1.5	3400	817	2
restaurantes	300	72	1			
revestimientos de suelos combustibles	500	120	1.5	6000	1442	2
revestimiento de suelos combustibles, locales de venta	1000	240	2			
rodamientos o cojitenes de bolas	200	48	1010			
sacos de papel	800	192	1.5	12600	3029	2
sacos de plastico	600	144	2	25200	6058	2
sacos de yute	500	120	1.5	800	192	1.5
salinas, productos de	80	19	1			
servicios de mesa	200	48	1			
sombrererias	500	120	1.5			
sotanos, bodegas de casas residenciales	900	216	1			
tabaco en bruto				1700	409	2
tabaco, articulos de	200	48	1.5	2100	505	2
tabaco, venta de articulos	500	120	1.5			
talco	40	10	1			
tallado de piedra	40	10	1			
talleres de enchapado	800	192	1.5	2900	697	1.5
talleres de pintura	500	120	1.5			
talleres de reparacion	400	96	1			
talleres electricos	600	144	1.5			
talleres mecanicos	200	48	1			
tapicerias	800	192	1.5			
tapicerias, articulos para	300	72	1.5	1000	240	2
tapices	600	144	1.5	1700	409	2
tapices, tintura	500	120	1.5			
tapices, venta	800	192	1.5			
teatros	300	72	1			
teatros, bastidores				1100	264	2
tejares, coccion	40	10	1			
tejares, hornos de secado y estanterias de madera	1000	240	1.5			
tejares, prensado	200	48	1			

Tabla Elaboracion propia, datos obtenidos de Guia Tecnica RSCI, Madrid, España, año 2004

Índices de Combustibilidad por actividad realizada o por producto manejado o almacenado, por metro cuadrado y por metro cubico, según aplique al caso

VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA Y RIESGO DE ACTIVACION ASOCIADO (Ra)

actividad realizada	Fabricacion y Venta			area de almacenamiento		
	q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
tejares, preparacion de arcillas	40	10	1			
tejares, secadero, estanterias de madera	400	96	1			
tejares, secadero, estanterias de acero	40	10	1			
tejidos de cañamo, yute o lino				1300	313	2
tejidos de rafia	400	96	1.5			
tejidos en general, almacen				2000	481	2
tejidos sinteticos	300	72	1.5	1300	313	2
tejidos, deposito de balas de algodón				1300	313	2
tejidos de seda artificial	300	72	1.5	1300	313	2
telefonos	400	96	1.5	200	48	2
telefonos, centrales de	80	19	1.5			
textiles				1000	240	2
textiles, apresto	300	72	1	1100	264	2
textiles, articulos derivados				600	144	1.5
textiles, blanqueado	500	120	1.5			
textiles, bordado	300	72	1			
textiles, confeccion	300	72	1			
textiles, corte	500	120	1.5			
textiles de lino				1300	313	2
textiles de yute	400	96	1	1300	313	2
textiles, embalaje	600	144	1.6			
textiles, encajes				600	144	1.5
textiles, ropa de cama	500	120	1.5			
textiles, venta	600	144	1.5			
tintas	200	48	1			
tintas de imprenta	700	168	1.5	3000	721	2
tintorerias	500	120	1.5			
toldos o lonas	300	72	1	1000	240	1
toneles de madera (barricas de añejado)	1000	240	1.5	800	192	1.5
toneles de plastico	600	144	1.5	800	192	1.5
torneado de piezas de cobre/bronce	300	72	1			
transformadores	300	72	1.5			
transformadores, bobinado	600	144	1.5			

Tabla Elaboracion propia, datos obtenidos de Guia Tecnica RSCI, Madrid, España, año 2004

Índices de Combustibilidad por actividad realizada o por producto manejado o almacenado, por metro cuadrado y por metro cubico, según aplique al caso

VALORES DE DENSIDAD DE CARGA DE FUEGO MEDIA Y RIESGO DE ACTIVACION ASOCIADO (Ra)

actividad realizada	Fabricacion y Venta			area de almacenamiento		
	q _s		Ra	q _v		Ra
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
transformadores, estaciones de	300	72	1.5			
tubos fluorescentes	300	72	1			
vehiculos	300	72	1.5			
ventas por correspondencia, empresas de	400	96	1.5			
ventanas de madera	800	192	1.5			
ventanas de plastico	600	144	1.5			
vidrio	80	19	1			
vidrio, articulos de	200	48	1.5			
vidrio, expedicion	700	168	1			
vidrio plano, fabrica	700	168	1			
vidrio, talleres de soplado	200	48	1.5			
vidrio, tratamiento de	200	48	1.5			
vidrio, tintura de	300	72	1.5			
vidrio, sala de ventas de articulos	200	48	1.5			
vinagre, produccion	80	19	1	100	24	1
vulcanizacion, proceso	1000	240	2			
yeso	80	19	1			

Tabla Elaboracion propia, datos obtenidos de Guia Tecnica RSCI, Madrid, España, año 2004

Tiempo Equivalente de Exposición al Fuego

Se define el tiempo equivalente de exposición al fuego, principalmente para los elementos estructurales como la duración del periodo de calentamiento según la curva tiempo temperatura de un fuego normalizado, que produce el mismo efecto decisivo en la estructura con respecto al fallo, que la exposición a un incendio real en el sector de incendio considerado.

El tiempo equivalente de exposición al fuego, se calcula como el producto de 3 factores, los cuales son función de:

- Carga combustible o carga de fuego
- Factor de ventilación en el recinto
- Propiedades térmicas de las paredes del contorno del recinto a calcular

Para elementos estructurales, ya sea concreto armado, acero estructural, o sistemas mixtos, el tiempo de exposición equivalente en minutos, será el resultado de la siguiente expresión:

$$t_{e,d} = k_b \cdot W_f \cdot k_c \cdot q_{f,d}$$

Donde:

$T_{e,d}$: Tiempo de Exposición equivalente, en minutos

K_b : coeficiente de conversión, en función de las propiedades térmicas de la envolvente del sector, no es un valor constante, pero UNE EN 1991-1-2:2004, establece que puede tomarse igual a 0.07

W_f : coeficiente de ventilación en función de la forma y tamaño del sector de incendio

K_c : coeficiente de corrección según el material estructural. Ver valores en tabla

VALORES DE k_c SEGÚN EL MATERIAL ESTRUCTURAL	
Material de la sección transversal	k_c
concreto armado	1
acero estructural protegido	1
acero estructural sin protección	13.7
mampostería	1

Tabla 5, valores de K según el material estructural

El coeficiente de ventilación, en función de la forma y tamaño del sector de incendio, w_f se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$w_f = (6/H)^{0,3} \cdot [0,62 + 90(0,4 - \alpha_v)^4 / (1 + b_v \alpha_h)]$$

Siendo

α_v : relación entre la superficie de las aberturas en fachadas (vanos de ventanas, en metros cuadrados) y la superficie del suelo del sector, con los límites $0.0025 < \alpha_v < 0.25$, adimensional

α_h : relación entre la superficie de las aberturas en el techo, (A_h) y la superficie construida del suelo del sector

$$b_v = 12.5(1 + 10 \alpha_v - \alpha_v^2)$$

H: altura del sector de incendio.

Si el sector de cálculo es menor a 100 metros cuadrados, y no existen aberturas en el techo, el coeficiente w_f puede calcularse como:

$$w_f = O^{-1/2} \cdot A_f / A_t$$

Siendo:

$$O = A_v \sqrt{h} / A_t \quad \text{Coeficiente de aberturas}$$

A_t Superficie total de la envolvente del sector, (paredes, suelo y techo) incluyendo aberturas, en metros cuadrados

h Altura promedio de los vanos verticales, en metros

Como aberturas en fachadas o en techos, se deben considerar, tragaluces, lucernarios, superficies acristaladas, y en general toda zona susceptible de facilitar la entrada de aire a la zona donde se desarrolla el incendio.

De manera simplificada, para casos de sectores de una sola planta con aberturas únicamente en fachadas, el coeficiente de ventilación w en función de la altura de la planta y de la superficie de dichas aberturas respecto a la superficie en la planta del sector, puede tomarse como:

COEFICIENTES DE VENTILACION W					
ALTURA DEL AMBIENTE (m)	SUPERFICIE RELATIVA DE VANOS EN FACHADAS				
	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25
2.5	2.6	1.8	1.3	1	0.9
3	2.4	1.7	1.2	0.9	0.8
3.5	2.3	1.6	1.1	0.9	0.8
4	2.2	1.5	1.1	0.9	0.8

Tabla No. 23, valores de coeficiente de ventilación para superficies menores a 100 metros cuadrados. Fuente: elaboración Propia, datos obtenidos del Código Técnico de la Edificación CTE, normas oficiales Europeas UNE vigentes, revisión 2004

Carga combustible y Tiempo de Exposición equivalente, importancia para el arquitecto

Los proyectos de arquitectura, son planificados para una determinada vida útil, ya sea en función de proyecciones estadísticas de población, o bien, de una determinada tasa de retorno de capital. En cualquiera de las dos condiciones, es necesario prever cualquier escenario de riesgo al que durante la vida útil del proyecto pueda ocurrir.

En el capítulo 3 y en el presente capítulo 4 se han definido 2 temas de vital importancia al momento de hablar de protección contra incendios

- Comportamiento de los materiales de construcción en condiciones de carga combustible y altas temperaturas
- Carga combustible y tiempo de exposición equivalente, definiciones y parámetros de cálculo para proyectos de arquitectura

Conociendo el comportamiento de los materiales ante elevadas temperaturas, y sabiendo como calcular la carga combustible y el tiempo de exposición equivalente, se tienen las herramientas para comprender la curva normalizada tiempo-temperatura, que es el parámetro que nos servirá para diseñar el sistema contra incendios acorde a las necesidades del proyecto que se esté planificando, o que se esté protegiendo contra incendio

La curva normalizada tiempo-temperatura, es la curva nominal definida en las normas europeas UNE EN 1363:2000 para representar un modelo de fuego totalmente desarrollado en el sector de un incendio. La curva normalizada tiempo temperatura, supone según estudios, estimaciones y cálculos, aproximadamente los siguientes rangos:

CURVA NORMALIZADA TIEMPO TEMPERATURA, UNE EN 1363:2000								
Tiempo t, en minutos	15	30	45	60	90	120	180	240
Temperatura en el sector, en °C	740	840	900	950	1000	1050	1100	1150

Tabla No. 24 Curva Normalizada ISO Tiempo-Temperatura. Fuente: elaboración Propia, datos obtenidos del Código Técnico de la Edificación CTE, normas oficiales Europeas UNE vigentes, revisión 2004

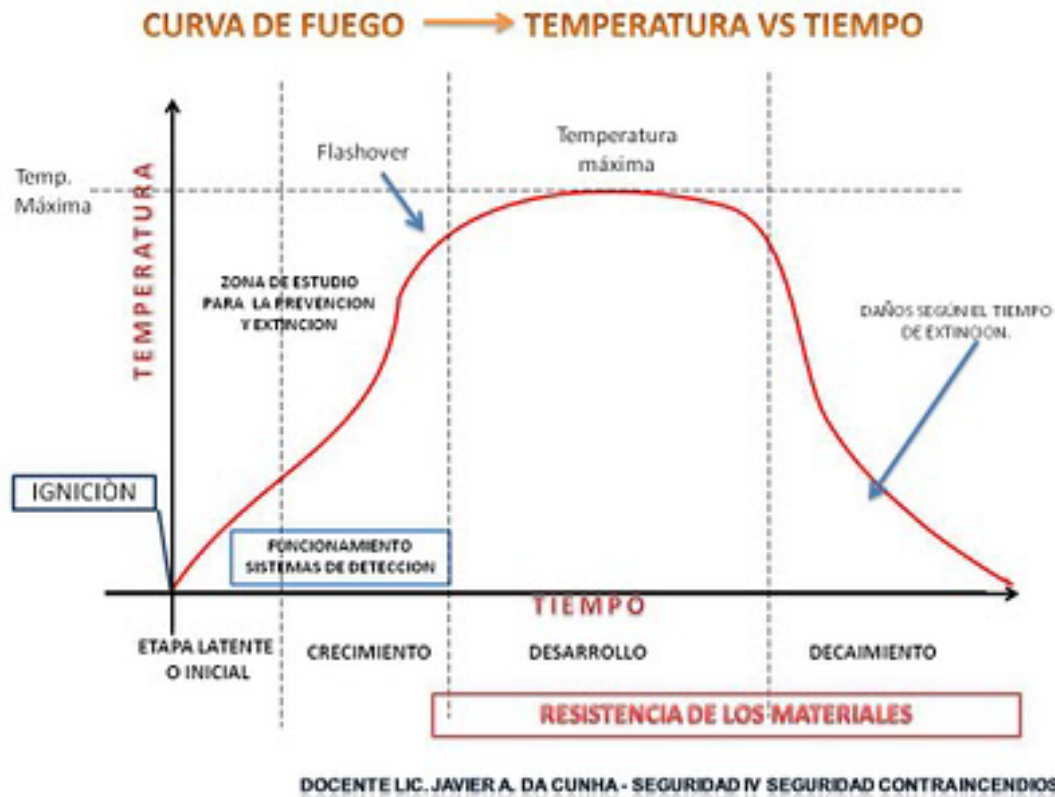


Ilustración 144, Curva normalizada ISO, Tiempo - Temperatura, sin escala de unidades. Fuente: seminario de seguridad contra incendios, Lic. Javier A. Da Cunha, 11 de abril 2010

De esta manera, es posible calcular de una forma bastante aproximada a los valores reales, tanto el tiempo de resistencia, como el tipo de protección, tanto activa como pasiva, para los cuales se debe de diseñar el sistema, y de esta manera, permitir los rangos necesarios de tiempo de resistencia de los materiales, y de evacuación para los usuarios en el momento de hacerse necesaria.



CAPITULO 4

CRITERIOS, DISEÑO Y PARAMETROS DE CÁLCULO DE SISTEMAS DE PROTECCION ACTIVA Y PASIVA CONTRA INCENDIOS EN PROYECTOS DE ARQUITECTURA

Capítulo 4, CRITERIOS, DISEÑO Y PARAMETROS DE CALCULO DE SISTEMAS DE PROTECCION ACTIVA Y PASIVA

CONTRA INCENDIOS EN PROYECTOS DE ARQUITECTURA

SISTEMAS DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS

SE CONOCE COMO SISTEMAS DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS, AL CONJUNTO DE MEDIDAS QUE SE TOMAN PARA EVITAR UN INCENDIO, O PARA REDUCIR AL MINIMO LOS DAÑOS QUE ESTE OCASIONA EN CASO DE PRODUCIRSE EN SITUACIONES NO CONTROLADAS.

LOS SISTEMAS DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS, SE DIVIDEN EN

- PROTECCION ACTIVA
- PROTECCION PASIVA
- PROTECCION HUMANA

ESTOS SISTEMAS DEBEN DE SER CUIDADOSAMENTE PLANIFICADOS, PARA QUE CUANDO SEA NECESARIO QUE FUNCIONEN, SU FUNCIONAMIENTO SEA EFICAZ Y A LA MEDIDA DE LA EMERGENCIA QUE DEBEN DE SUPRIMIR O ATENDER.

PROTECCION ACTIVA

LOS SISTEMAS DE PROTECCION ACTIVA SON TODOS AQUELLOS DESTINADOS A LA SUPRESION DEL INCENDIO CUANDO ESTE HA SIDO DETECTADO. ESTA DESTINADA A FACILITAR LAS TAREAS DE EXTINCION, Y PRESENTA 2 FASES:

- DISEÑO DE PROTECCION PUBLICA, QUE CONTEMPLA TODO LO RELACIONADO CON LAS LABORES OPERATIVAS DE LOS CUERPOS DE SOCORRO Y SUS MATERIALES Y EQUIPOS
- DISPONIBILIDAD DE ELEMENTOS E INSTALACIONES PARA ATACAR INICIALMENTE EL FUEGO, Y LOGRAR SU EXTINCION

LOS SISTEMAS DE PROTECCION ACTIVA, PUEDEN SER DISEÑADOS CON DIFERENTE TIPO DE AGENTE EXTINTOR, EL CUAL DEBERA DE SER ESCOGIDO DE ACUERDO AL USO Y A LA COMPATIBILIDAD ENTRE EL AGENTE EXTINTOR Y EL COMBUSTIBLE O LA NATURALEZA DEL FUEGO QUE SE DESEA SUPRIMIR.

LOS PRINCIPALES AGENTES EXTINTORES QUE SE ENCUENTRAN DISPONIBLES EN NUESTRO PAIS SON:

- AGUA
- ESPUMAS QUIMICAS
- DIOXIDO DE CARBONO
- AGENTES HALOGENADOS
- POLVOS QUIMICOS SECOS



SISTEMAS DE AGUA



SISTEMAS DE ESPUMA



SISTEMAS DE DIOXIDO



SISTEMAS DE HALONES

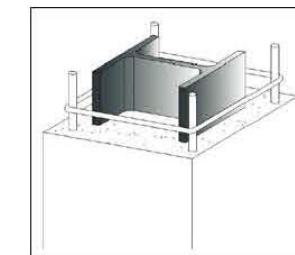
SISTEMAS DE PROTECCION PASIVA

SE CONOCE COMO SISTEMAS DE PROTECCION PASIVA A TODOS AQUELLOS MATERIALES, SISTEMAS Y TECNICAS DISEÑADOS PARA PREVENIR LA APARICION DE UN INCENDIO, IMPEDIR O RETRASAR SU PROPAGACION, Y POR ULTIMO SU EXTINCION.

SE ENTIENDE POR PROTECCION PASIVA O PROTECCION ESTRUCTURAL AL CONJUNTO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DE UN EDIFICIO, QUE PRESENTARAN UNA BARRERA CONTRA EL AVANCE DEL INCENDIO, CONFINANDOLO A UN SECTOR Y LIMITANDO DE ESTA MANERA LAS CONSECUENCIAS DEL MISMO. LA PROTECCION PASIVA CONSISTE EN UNA SERIE DE PRODUCTOS ESPECIALES DISPUESTOS A EVITAR EL INICIO DEL FUEGO, EVITAR SU PROPAGACION, EVITAR AFECTAR GRAVEMENTE LAS INSTALACIONES Y PROTEGER LA ESTRUCTURA PARA GARANTIZAR LA PROTECCION ESTRUCTURAL Y EVITAR EL COLAPSO.

LOS METODOS DE PROTECCION PASIVA CONTRA INCENDIOS, QUE PUEDEN SER APLICADOS DE ACUERDO A LOS PRODUCTOS LOCALMENTE DISPONIBLES EN EL MERCADO SON:

- TRATAMIENTOS Y REVESTIMIENTOS INTUMESCENTES
- REVESTIMIENTOS CON MORTEROS PROYECTADOS
- ENCAJUELOS CON PANELES RESISTENTES AL FUEGO
- PROTECCION CON MAMPOSTERIA DE CONCRETO Y ARCILLA
- RECUBRIMIENTOS ADICIONALES DE CONCRETO
- BLINDAJE DE MUROS CON MATERIALES AISLANTES



PROTECCION ESTRUCTURAL



PINTURAS IGNIFUGANTES



SISTEMAS DE POLVO QUIMICO SECO



RECUBRIMIENTOS INTUMESCENTES

instalaciones de proteccion contra incendios minimas a considerar en funcion del uso y el area

uso del edificio	vivienda		hoteles, hospitales, oficinas y centros docentes						locales publicos y almacenaje						Edificios de parqueos											
	cualquiera		0 a 2000		2001 a 4500		mas de 4500		o a 2000		2001 a 4500		mas de 4500		0 a 500	501 a 2000			2001 a 4500			mas de 4500				
numero de plantas	1 a 7	8 a 20	1 a 7	8 a 20	1 a 7	8 a 20	1 a 7	8 a 20	1 a 7	8 a 20	1 a 7	8 a 20	1 a 7	8 a 20	1 a 3	0 a 3	4 a 7	8 a 20	1 a 3	4 a 7	8 a 20	1 a 3	4 a 7	8 a 20		
extintores	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
columnas secas		x		x		x		x		x		x		x				x			x			x		
Bocas de incendio	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x		x	x		
rociadores	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
detectores de humo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x		
detectores de temperatura																			x	x	x	x	x	x		

Sistemas de protección contra incendios

Definición

Por sistemas de protección contra incendios, se conoce al conjunto de medidas que se toman para evitar un incendio, o para reducir al mínimo los daños que este ocasiona en caso de producirse³⁹.

Protección contra incendios

Básicamente el objetivo de la prevención es evitar la gestación de los incendios, pero podemos ampliar esta definición como la serie de medidas que se toman para eliminar el mayor número de riesgos de fuego, el estudio de sus posibilidades y de sus causas, los medios de propagación y los factores necesarios para que estos se desarrollen.

Su finalidad al igual que otras materias de la prevención de desastres es resguardar la integridad de las personas y de los bienes. La prevención tiene una técnica que se ocupa de todos los problemas vinculados con el fuego: la protección contra incendios, que se puede dividir en cuatro grandes ramas, cada una de ellas persigue objetivos y estudian problemas que se complementan entre sí:⁴⁰

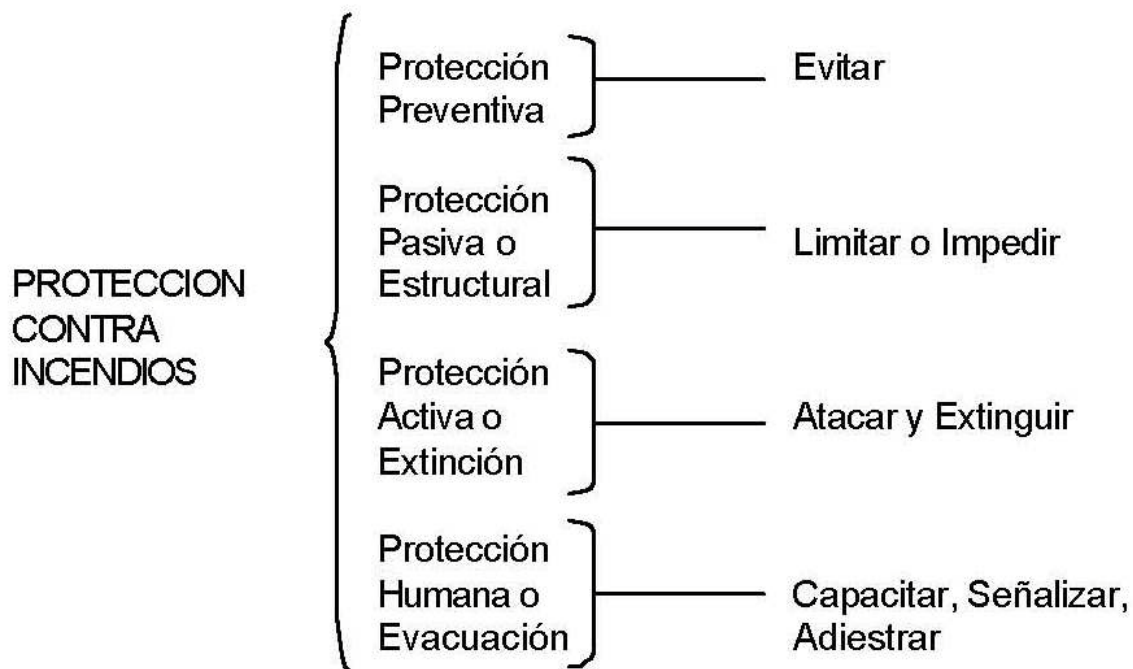


Ilustración 145, Tipos de protección contra incendios existentes. fuente: MANUAL DE PREVENCIÓN CONTRA INCENDIOS, Colegio Técnico de Ingenieros industriales, Barcelona, España, año 2005

³⁹ Diccionario de Arquitectura y Construcción, Editorial Taschen, Edición 2002.

⁴⁰ *Introduction to Performance-Based Fire Safety*, Society of Fire Protection Engineers, edición 2004, sociedad de ingenieros protectores contra incendios

Protección preventiva

Su función es evitar la gestación de incendios, se ocupa del estudio y confección de normas y reglamentos sobre situaciones e instalaciones que potencialmente puedan provocar incendios y de su divulgación a la industria y a la sociedad.

Se ocupa de las instalaciones eléctricas, de calefacción, gas, hornos, chimeneas, transporte, almacenamiento y uso de sustancias inflamables, estudio de materiales atacables por el fuego y toda otra cuestión vinculada con causas de origen de incendios.

Protección Pasiva o Estructural:

La protección pasiva o estructural, prevé la adopción de las medidas necesarias para que en caso de producirse un incendio, quede asegurada la evacuación de las personas, limitando el desarrollo del fuego impidiendo los efectos de los gases tóxicos y garantizada la integridad estructural del edificio.

La protección pasiva o estructural debe ser tomada en consideración en el proyecto arquitectónico, o en el caso de las construcciones ya realizadas, aplicar normas que permitan corregir las deficiencias originales de un diseño que no haya tomado en cuenta la necesidad de la protección pasiva.

Protección Activa o Extinción

La protección activa, destinada a facilitar las tareas de extinción presenta dos aspectos:

- diseño para protección pública, que contempla todo lo relacionado con las labores operativas de los cuerpos de socorro y sus materiales y equipos
- disponibilidad de elementos e instalaciones para atacar inicialmente al fuego, y lograr su extinción

En el diseño para protección pública, se debe de tomar en cuenta el equipo con el que actualmente cuentan los cuerpos de socorro, esto, para permitir que sea de fácil acoplamiento con motobombas y equipo de presurización de agua, así como tomas de hidrantes, columnas secas, etc.

En cuanto a la disponibilidad de elementos e instalaciones para atacar inicialmente el fuego y lograr su extinción, el propósito de este manual es proporcionar la manera de calcular los sistemas, en cuanto a cantidad, especificación, capacidad, y ubicación para lograr el mejor efecto sobre el fuego.

Protección Humana o Evacuación

Sus funciones son capacitar y adiestrar a las personas para que sepan actuar correctamente en caso de incendio y señalar las vías de escape de los edificios para poder realizar en orden el rol de evacuación.

La protección contra incendios es un conjunto de normas y parámetros de cálculo que persiguen proteger tanto la vida del usuario, como la integridad de la estructura, permitir que la evacuación sea posible, y proteger en el máximo grado posible la estructura, para que esta pueda ser rehabilitada y puesta en uso de nuevo.

Se han enumerado y definido los distintos tipos de protección contra incendios que existen, y profundizaremos en el estudio para establecer criterios, premisas de diseño y parámetros de cálculo que den como producto un sistema de protección contra incendios a la medida y necesidades del proyecto arquitectónico que se esté diseñando o planificando, según sea el caso,

- sistemas de protección activa contra incendios (extinción y supresión)
- Sistemas de protección Pasiva contra incendios (estructural, recubrimientos, materiales y compartimentación)

Sistemas de protección Activa contra incendios

Sistemas de protección Activa contra incendios

Los sistemas de protección activa contra incendios están constituidos por los diferentes medios de extinción y supresión de fuego, mismos que actúan en el momento de detectarse la presencia de llamas o de calor. Estos sistemas son la primera línea de defensa de un proyecto arquitectónico ante la ocurrencia de un incendio, dado que su principal objetivo es el de suprimir o extinguir el fuego en sus fases iniciales.

Un sistema de protección activa contra incendios, contiene las instalaciones y medios de protección contenidos en los siguientes grupos:

- Instalaciones de Detección
- Instalaciones de Alarma
- Instalaciones de Emergencia
- Instalaciones de Extinción

instalaciones de protección contra incendios mínimas a considerar en función del uso y el área																										
uso del edificio	vivienda		hoteles, hospitales, oficinas y centros docentes						locales públicos y almacenaje						Edificios de parqueos											
	cualquiera		0 a 2000		2001 a 4500		mas de 4500		0 a 2000		2001 a 4500		mas de 4500		0 a 500	501 a 2000			2001 a 4500			mas de 4500				
superficie construida																										
numero de plantas	1 a 7	8 a 20	1 a 7	8 a 20	1 a 7	8 a 20	1 a 7	8 a 20	1 a 7	8 a 20	1 a 7	8 a 20	1 a 7	8 a 20	1 a 3	0 a 3	4 a 7	8 a 20	1 a 3	4 a 7	8 a 20	1 a 3	4 a 7	8 a 20		
extintores	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
columnas secas		x		x		x		x		x		x		x				x		x		x		x		
bocas de incendio	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x			x	x	
rociadores	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
detectores de humo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	
detectores de temperatura																							x	x	x	x

Instalaciones de detección de incendios:

Por sistema de detección de incendios, se define a los accesorios destinados a la acción de descubrir y avisar si existe fuego en un lugar determinado, con exactitud.

La detección no solo debe de descubrir que hay un incendio, sino que debe de ser localizado con precisión en el espacio, y comunicarlo con fiabilidad a las personas que harán entrar en funcionamiento un plan de emergencia previsto. La característica fundamental de la detección es la rapidez con la que se actúa. De lo contrario, el desarrollo del fuego se vuelve incontrolable, con consecuencias fatales.

La detección de incendios puede ser

- Humana
- Automática

La detección humana es aquella que como se indica, es realizada por personas. En este caso la rapidez de la detección es baja, y en la mayoría de los casos, tardía para poder reaccionar.

Las instalaciones fijas de detección automática de incendios, permiten su detección y localización, así como la puesta en marcha automática o semiautomática de un plan de alarma. Opcionalmente pueden accionarse sistemas fijos de extinción de incendios, pueden vigilarse permanentemente zonas inaccesibles a la detección humana, o si caben las detecciones erróneas. Normalmente, estas instalaciones están supervisadas por un vigilante o pueden programarse para actuar automáticamente si no existe monitoreo o vigilancia.

Funciones del sistema

Las funciones del sistema de detección automática de incendios son:

- Detectar la presencia de un conato de incendio con rapidez, dando una alarma preestablecida que puede ser una señalización óptica-acústica en un panel o una central de señalización. Esta detección ha de ser fiable, normalmente antes de sonar la alarma principal, el personal a cargo debe comprobar la realidad del fuego.
- Localizar el incendio
- Ejecutar un plan de alarma, con o sin intervención humana
- Realizar funciones auxiliares, transmitir automáticamente la alarma a distancia, disparar una instalación de extinción fija, detener sistemas electromecánicos (aire acondicionado, elevadores, calderas) cerrar o abrir puertas, etc.

El sistema debe poseer seguridad de funcionamiento, por lo que necesariamente debe de ser monitoreado.

Componentes del sistema

Los componentes principales de una instalación automática de detección son:

- A. **Detectores automáticos**, son los elementos que detectan el fuego a través de algunos fenómenos que le acompañan, gases, humos, temperatura o radiación UV visible o invisible.

Según el fenómeno que detectan, pueden ser:

- Detector de gases o iónicos
- Detectores de humo visible
- Detectores de temperatura, los cuales pueden ser fijos, o termovelocimétrico
- Detectores de llama, los cuales pueden ser ultravioleta o infrarroja

Como los fenómenos detectados aparecen sucesivamente después de iniciado un incendio, el orden de funcionamiento o activación en función de su sensibilidad a la atmosfera que se desarrolla, es el siguiente:

1. Detectores iónicos
2. Detectores termovelocimétrico
3. Detectores ópticos de llama
4. Detectores ópticos de humos o fotoeléctricos

Los detectores térmicos precisan que el fuego haya tomado un cierto incremento antes de detectarlo.

B. **Centrales de señalización**, estas son el cerebro del sistema y a ellas están unidas las líneas de los detectores, y las de los pulsadores de alarma. Las funciones a desarrollar por una central de señalización son

1. Alimentar el sistema a partir de una red. Debe de disponerse de una batería para alimentación de emergencia por fallo de red al momento de incendio. Debe recargar sus baterías, y avisar de posibles averías
2. Dar señales ópticas o acústicas en los diversos niveles de alarma preestablecidos.
3. Debe permitir localizar la línea donde se ha producido la alarma
4. Controlar la realización del plan de alarma, controlar la presencia del vigilante, y la extinción del fuego. En caso contrario, disparar alarma general.
5. Realizar funciones auxiliares, como transmitir alarma al exterior, dar orden de disparo de instalaciones automáticas, transmitirá mandos situados a distancia, permitir la realización de pruebas de monitoreo constante.

C. **Líneas**, estas unen los detectores y pulsadores de alarma a la central, y esta a las alarmas ópticas, acústicas o sistema de mando a distancia. Entre las características de las líneas destacan:

1. Las líneas deben de estar vigiladas, una avería o rotura debe ser detectada y señalizada en la central
2. Establecer longitudes máximas, dado que no tiene sentido controlar zonas muy alejadas de la central que requerirán un tiempo alto de localización del detector excitado, con la demora en la toma de decisiones que esto supone.

Instalaciones de Alarma

La alarma es utilizada en el campo de la protección contra incendios para comunicar de una manera instantánea una determinada información (aviso de evacuación) mediante la emisión de señales acústicas. Para cumplir su finalidad, es necesario que toda persona sujeta a su campo de aplicación reciba la señal y la identifique clara y rápidamente

Se consideran instalaciones de alarma las siguientes:

- A. **Instalación de pulsadores**, los cuales tienen como finalidad la transmisión de una señal a un puesto de control, centralizado y permanentemente vigilado, de tal forma que resulte localizable la zona del pulsador que ha sido activado, y puedan ser tomadas las medidas pertinentes. Estos deben de estar fácilmente visibles y deben estar provistos de un dispositivo de protección que impida su activación involuntaria.
- B. **Instalaciones de alerta**, las cuales tienen como finalidad la transmisión desde un puesto de control, de una señal perceptible en todo el edificio o zona protegida,

permitiendo de esta forma el conocimiento de la existencia de un incendio por parte de los ocupantes. La instalación de alerta podrá considerarse sustituida por la de audio evacuación, cuando esta exista y pueda cumplir todos los requisitos establecidos para aquella.

- C. **Instalación de audio evacuación**, tiene como finalidad el comunicar a los ocupantes la existencia de un incendio así como la de transmitir las instrucciones previstas en el plan de emergencia.

Instalaciones de emergencia:

En el sistema de protección activa contra incendios, se consideran instalaciones de emergencia las siguientes:

- A. **alumbrado de emergencia**, que en caso de fallo del alumbrado general se activa automáticamente, permitiendo de esta forma la evacuación segura y fácil de los ocupantes de edificio hacia el exterior.
- B. **Alumbrado de señalización**, que es el que se instala para funcionar en modo continuo durante determinado periodo de tiempo. Este alumbrado debe de señalar de modo permanente la situación de puertas, pasillos y salidas durante el tiempo que permanezcan con público.

Instalaciones de extinción

Se consideran instalaciones de extinción de incendios las siguientes:

- A. **Bocas de incendio**, las cuales estarán compuestas por bocas de incendio equipadas, red de tuberías de agua y fuentes de abastecimiento. Las bocas de incendio equipadas estarán provistas de los siguientes elementos: boquilla, lanza, manguera, racor, válvula, manómetro, soporte y armario.
- B. **Hidrantes de incendio**, los que serán una fuente de suministro de agua específica y exclusiva contra incendios, de las que se alimentan los equipos de los cuerpos de socorro, su presión no necesariamente debe ser elevada, aunque si debe de contar con un alto caudal.
- C. **Columna seca**, la cual tiene por finalidad poder disponer de agua en las distintas plantas del edificio, ahorrando tendidos de manguera de elevada longitud que conllevaría grandes retrasos
- D. **Extintores móviles**, los cuales contienen un agente extintor que puede ser proyectado y dirigido sobre un fuego por la acción de una presión interna con el fin de apagarlo. La carga es la masa o volumen de agente extintor contenido en el aparato, en los extintores a base de agua la masa o volumen se expresa en litros, y en los que son a base de químicos, se expresa en kilogramos.

Sistemas fijos de supresión

Los sistemas fijos de extinción tienen como finalidad el control y la extinción de un incendio mediante la descarga automática en el área protegida de un producto extintor, sin intervención humana. Está compuesto por de las siguientes partes:

- A. **Almacenamiento del agente extintor**, el cual es el receptáculo o depósito que contiene el agente extintor. Como idea más generalizada, debe tenerse en cuenta que el agente extintor necesita de una energía para ser impulsado desde su almacenaje hasta el riesgo (gas presurizado, gravedad, bomba de agua, etc.) en caso de necesitar otro agente impulsor, puede estar siempre presurizado con el gas y el agente juntos, o bien puede contener el gas presurizado en depósito aparte, el cual se introduce en el momento necesario.
- B. **Dispositivo de disparo**, el cual es el elemento que libera al agente extintor de su almacenaje. Este elemento es el que define a un sistema fijo como manual, si hay que activarlo por medios humanos, o como automático, si se le puede activar eléctrica, neumática o mecánicamente por medios automáticos de detección sin intervención humana.
- C. **Líneas de distribución**, son las conducciones a través de las cuales el agente extintor procedente del depósito de almacenamiento es suministrado para ser descargado en el recinto correspondiente. Su dimensión siempre ha de calcularse hidráulicamente para que el agente extintor fluya en condiciones aceptables de presión y caudal.
- D. **Boquillas de descarga**, son los elementos conectados directamente a la red que, en forma de chorro, ducha o pulverización, dirigen la descarga del agente extintor sobre el riesgo.

Los sistemas Fijos de extinción pueden clasificarse de la siguiente manera:

Según la zona de acción:

- Protección parcial, la cual consiste en una aplicación local del agente extintor directamente sobre la superficie del material incendiado
- Inundación total, la cual consiste en llenar un espacio cerrado con una cantidad o concentración predeterminada de un agente extintor hasta sofocar el incendio, o que la temperatura haya bajado por debajo de la auto ignición del combustible.

Según el sistema de accionamiento:

- Manual, el cual es accionado por medio de la supervisión humana
- Automático, el cual es accionado por medios de supervisión electrónica
- Mixto, el cual posee ambas cualidades

Según la sustancia extintora

- Sistemas a base de agua
- Sistemas a base de espumas físicas
- Sistemas a base de anhídrido carbónico
- Sistemas a base de halón
- Sistemas a base de polvos secos

Instalaciones de Detección, definiciones, parámetros y criterios

Detectores Automáticos

Los detectores automáticos son los elementos encargados de percibir cualquier cambio en la naturaleza de la atmosfera del ambiente que monitorean. Su labor principal es captar cualquier anomalía y enviar la señal necesaria para activar los sistemas de alarma y de ser necesario, los sistemas de extinción.

Los detectores, dependiendo del tipo de sistema que utilizan pueden ser:

Detectores Iónicos

Un detector de humo iónico, funciona por medio de una cámara de ionización típica, la cual consiste en dos placas cargadas eléctricamente y un radioactivo (americio 241) para ionizar el aire entre las placas. El material radioactivo emite partículas que entran en colisión con las moléculas del aire, desalojando a los electrones de los átomos del aire de sus orbitas.

Esto causa que esas moléculas se conviertan en iones cargados

positivamente y las moléculas que ganaron electrones, se convierten en iones negativos. Los iones positivos son atraídos a la placa de polaridad positiva, y de esta manera, el efecto de ionización genera una pequeña corriente eléctrica que es medida por un circuito conectado a las placas. Las partículas liberadas en el proceso de combustión, son mucho más grandes que las moléculas de aire ionizadas, cuando ingresan a la cámara de ionización, entran en colisión con las moléculas de aire ionizadas y se



Ilustración 146, Detector de humo

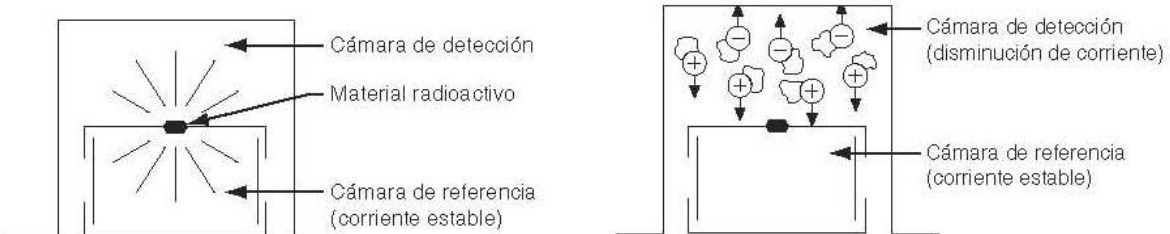


Ilustración 147, esquema de funcionamiento de detector iónico

combinan con ellas, como resultado algunas partículas se cargan positivamente, y otras negativamente. A medida que se continúan combinando, cada partícula grande se convierte en un punto de recombinación, y así la cantidad de iones en la cámara será

menor, al mismo tiempo, la corriente medida por el circuito también disminuye, y cuando sea inferior a un valor predeterminado, se genera una condición de alarma.

Detectores de Humo Visible o fotoeléctricos

Los detectores de humo visible, funcionan por medio de un principio fotoeléctrico. El humo generado en un incendio bloquea u oscurece el medio en el que se propaga la luz. También puede dispersar la luz cuando esta se refleja y refracta en las partículas de humo. Los detectores de humo visibles o detectores fotoeléctricos están diseñados para utilizar estos efectos a fin de detectar la presencia de humo de esta manera.

Este tipo de detectores se dividen en:

- **Detectores de humo fotoeléctricos por dispersión de luz**, los cuales tienen cobertura localizada y funcionan con el principio de dispersión de la luz. El haz de un diodo emisor de luz (LED) incide en un área donde no puede ser captado bajo condiciones normales por un foto sensor, que generalmente es un fotodiodo. Cuando hay presencia de humo en la trayectoria del haz de luz, la luz incide sobre las partículas de humo, y se refleja sobre el foto sensor, que al recibir la luz, emite una señal.

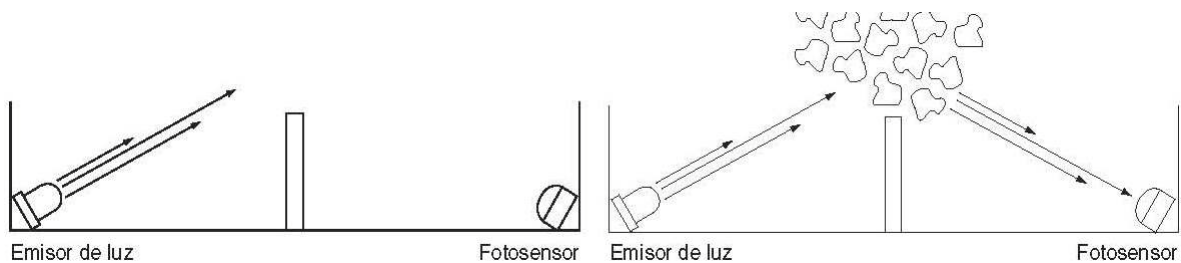


Ilustración 148, esquema de funcionamiento de detector de humo fotoeléctrico

- **Detectores de humo fotoeléctricos por oscurecimiento**, este tipo de detector también utiliza la luz y un elemento foto sensor, tal como será un fotodiodo. Cuando las partículas de luz de humo bloquean parcialmente la trayectoria del haz de la luz, se reduce la intensidad de la luz recibida por el foto sensor. Esta variación es captada por un circuito electrónico que al llegar al valor precalibrado, genera una señal de iniciación de alarma. Generalmente los detectores por oscurecimiento utilizan un haz de luz que recorre toda el área a proteger.

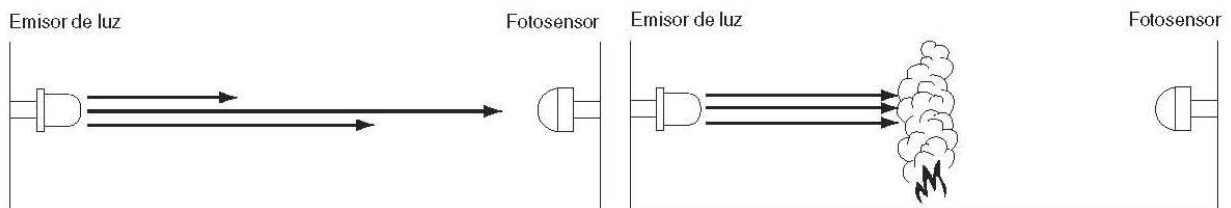


Ilustración 149, esquema de funcionamiento de detector de humo por oscurecimiento

Detectores termovelocimétricos

Uno de los efectos que el fuego produce en el área que lo rodea, es el rápido incremento de la temperatura del aire que ocupa el espacio situado por encima del fuego. Los detectores de temperatura fija no inician la alarma, hasta que la temperatura del aire cerca del techo no supera el punto de diseño. El detector de velocidad de aumento de temperatura (termovelocimétrico), funciona cuando la velocidad de incremento excede un valor prefijado, alrededor de 12-15° F (7-8° C)



Ilustración 150, Detector de humo Termovelocimétrico

por minuto, tienen la posibilidad de discriminar los cambios de temperatura ocasionados por el clima. Se diseñan para compensar los cambios normales en la temperatura ambiente que se producen en condiciones habituales.

- Estos detectores, poseen las siguientes características:
- Discriminar los cambios de temperatura estacionales.
- Piloto indicador de alarma y estado, visible en todas las direcciones.
- Certificación por parte de entidades normalizadoras de reconocido prestigio.
- Montaje en superficie.
- Base intercambiable.
- Cambio automático de polaridad.
- Encapsulado anti humedad.
- Posibilidad de conectar piloto remoto de acción.
- Protección contra la extracción no autorizada de la cabeza detectora

Detectores de Llama

Los detectores de llama por infrarrojos se utilizan para detectar llamas abiertas en interiores o exteriores.

Son especialmente adecuados para incendios por gas o líquidos sin humo, así como para incendios de materiales que contienen carbono con gran cantidad de humo. Típicamente son utilizados en almacenes industriales, hangares, instalaciones químicas, refinerías de petróleo, salas de maquinas, centrales eléctricas, plantas de impresión, almacenes de maderas, y en



Ilustración 151, Detector de Llama

túneles o espacios subterráneos.

Los detectores de humo, sirven para advertir sobre el desarrollo de una posible combustión en determinadas condiciones. Ciertamente los sistemas no son infalibles, por lo que es conveniente considerar que:

- Los detectores de humo podrían no advertir con suficiente anticipación sobre un incendio en otro nivel o piso de un edificio. Debido a esto, es fundamental colocar sensores en cada piso o nivel del proyecto a proteger.
- Un detector podría no detectar un incendio en progreso del otro lado de una puerta cerrada. En áreas en las cuales las puertas estén generalmente cerradas, deben de instalarse sensores en ambos lados de las puertas
- Los detectores también tienen limitaciones en cuanto a sensibilidad. Los detectores por Ionización son los más aptos para detectar incendios con llamas que se propagan rápidamente, y los detectores fotoeléctricos son mejores para detectar incendios de aumento paulatino de intensidad. Considerando distintos tipos de incendio que se pueden producir así como lo impredecible de su propagación, ningún tipo de detector es el mejor para todas las circunstancias.

Criterios para la selección e instalación de detectores

Existen diversos tipos de detectores, todos con diferentes aplicaciones en las cuales las características propias de cada uno los hacen óptimos para distinto tipo de situaciones. Al momento de seleccionar el tipo de detector, se debe de considerar:

- El espaciamiento de los detectores de humo está sujeto a las especificaciones del fabricante, pero usualmente según parámetros internacionales, se establece una separación mínima de 25 pies (7.60 metros)
- El espaciamiento entre detectores de llama, según normativa NFPA 72, como mínimo será de 15 metros, o 50 pies
- Un detector de humo puede proteger un radio efectivo de 6.4 metros, (128 metros cuadrados) en condiciones ideales. Esto puede variar en función de la ventilación del ambiente, el cambio de aire del ambiente, y la velocidad de aire que predomine, que en ningún caso deberá ser mayor a 5 metros por segundo para el uso de detectores de humo para interiores.
- Las características de un detector por Ionización son más aptas para detección de incendios que se propagan rápidamente, en los cuales las partículas de combustión son generalmente de 0.1 a 0.4 micrones.
- Los detectores fotoeléctricos son mejores para detectar incendios menos intensos y de menor velocidad de propagación, en los cuales las partículas de combustión son generalmente de 0.4 a 10 micrones. Ambos detectores (por ionización y fotoeléctricos) son aptos para detectar incendios, pero el tiempo de la respuesta será diferente, según el tipo de incendio que se presente.
- Los detectores de humo, funcionan toda vez que en el ambiente no existan corrientes de aire con velocidades mayores a 5 metros por segundo, a menos que el fabricante indique un valor mayor.

- Debe de evitarse la instalación de los detectores en lugares sometidos a vibraciones
- En los ambientes donde exista saturación por humo, polvo o aerosoles, producidos por circunstancias de trabajo propias del ambiente, los detectores de humo pueden ocasionar falsas alarmas, en estos casos es mejor un detector de llama o termovelocimétrico
- Cuando un local supera la altura de 12 metros, se debe de utilizar un sistema combinado con detectores de llama
- En los ambientes sin renovación de aire, se puede asumir como parámetro la colocación de un detector por cada 60 metros cuadrados, en los ambientes que tengan renovación de aire, asumir los valores de la tabla No. 25
- Si existe sistema de ventilación mecánica o aire acondicionado, los detectores deberán ser colocados junto al registro de retorno o de salida del sistema
- Los detectores que cuenten con un sensor de temperatura fija integrado, se seleccionaran en función de la temperatura máxima que pueda alcanzarse
- Los detectores no deben de instalarse en zonas donde la temperatura ambiente normal pueda alcanzar 38°C o bajar de 0°C, a menos que hayan sido recalibrados para su instalación en temperaturas superiores o inferiores al rango mencionado.
- En almacenamientos con estanterías altas, se debe de considerar la instalación de detectores en varios niveles e las estanterías para asegurar una respuesta rápida en caso de incendio.
- Los ambientes que por su naturaleza queden aislados de cobertura de protección por el detector, tales como armarios de limpieza, bodegas de blancos, o bodegas pequeñas, deberán de ser protegidos por un detector propio, sin importar si se encuentran cerca de otro.

ESPACIAMIENTO DE DETECTORES DE HUMO EN BASE A MOVIMIENTO DEL AIRE			
Min/ Renovación (cambio)de aire	renovaciones (cambios) de aire/hora	1 detector por cada	
		Pies ²	Metros ²
1	60	125	11.62
2	30	250	23.24
3	20	375	34.86
4	15	500	46.48
5	12	625	58.09
6	10	750	69.71
7	8.6	875	81.33
8	7.5	900	83.66
9	6.7	900	83.66
10	6	900	83.66

Tabla 6, espaciamiento entre detectores de humo en base a cambios de aire

ESPACIAMIENTO DE DETECTORES DE HUMO EN BASE A MOVIMIENTO DEL AIRE			
Min/ Renovación (cambio)de aire	renovaciones (cambios) de aire/hora	1 detector por cada	
		Pies ²	Metros ²
1	60	125	11.62
2	30	250	23.24
3	20	375	34.86
4	15	500	46.48
5	12	625	58.09
6	10	750	69.71
7	8.6	875	81.33
8	7.5	900	83.66
9	6.7	900	83.66
10	6	900	83.66

Tabla 7, espaciamiento entre detectores de humo en base a movimientos en el aire

- Cuando la altura de un ambiente, de nivel de piso terminado a nivel de cielo falso o de instalación de detector es mayor a 3 metros, se debe aplicar un factor de corrección al espaciamiento determinado por la tabla 25, de la siguiente manera:

Reducción del espaciamiento entre detectores basado en la altura del techo				
altura del cielo falso desde		hasta o incluyendo		multiplicar el espaciamiento por
pies	metros	pies	metros	
0	0	10	3.05	1
10	3.05	12	3.66	0.91
12	3.66	14	4.27	0.84
14	4.27	16	4.88	0.77
16	4.88	18	5.49	0.71
18	5.49	20	6.1	0.64
20	6.1	22	6.71	0.58
22	6.71	24	7.32	0.52
24	7.32	26	7.93	0.46
26	7.93	28	8.54	0.40
28	8.54	30	9.14	0.34

Tabla 8, reducción de espaciamiento en base a la altura del techo

- Cualquier equipo de detección que se instale, en cualquiera que sea su posición, no deberá de instalarse a una distancia menor de 4 pulgadas del muro más próximo, cuando se trate de detectores instalados en cielos falsos.

Clasificación internacional por color para detectores de llama					
Clasificación	rango de temperatura		Temp. Max. En techo		código de color
	°F	°C	°F	°C	
baja	100-134	39-57	20 o menor	11 o menor	sin color
ordinaria	135-174	58-78	100	38	sin color
intermedia	175-249	80-121	150	66	blanco
alta	250-324	122-162	225	107	azul
muy alta	325-399	163-204	300	149	rojo
extremadamente alta	400-499	205-259	375	191	verde
ultra alta	500-575	260-302	475	246	naranja

Tabla 9, clasificación internacional de detectores de llama

Centrales de señalización

La central de señalización es el sistema a cargo de recoger la señal proveniente de los sistemas de detección, y enviar en respuesta una alarma auditiva, iniciar el proceso de aspersión de agua, espuma o polvo químico seco según sea el caso.

Estas centrales de señalización son sensibles a la intervención del elemento humano, y debido a ello, en las instalaciones de detección se colocan pulsadores de alarma, que sirven para enviar el aviso a la central de detección, misma que también está conectada con un sensor que detecta la rotura del cristal en el caso de los armarios o bocas de incendio.

Al activarse cualquiera de los sistemas de detección, manda un impulso señalizando la zona afectada que este protege, la señal se recoge en la sección de detección, pudiendo tener estas múltiples zonas a detectar.

Una vez recogida la información en la central, esta puede accionar:

- Alarmas exteriores
- Avisos a servicios de vigilancia



Ilustración 152, Central de señalización y control de alarmas, sistema automatizado

- Avisos a los cuerpos de socorro
- Alarmas interiores
- Cierre de puertas cortafuegos
- Apertura de trampas evacuadoras de humos
- Equipos de extinción de incendios

Todos los equipos centrales de señalización tienen 2 fuentes de energía eléctrica de alimentación. Una es la red general de fuerza y la otra una batería eléctrica que está en carga permanente, y se conecta automáticamente al momento de caer la red principal. La autonomía de estas baterías, en la mayoría de los casos, es para 72 horas.

Esta instalación en el sistema de alarma, hace posible la transmisión de una señal de alarma a los ocupantes del edificio, activándose desde lugares de acceso restringido, para que únicamente pueda ser puesta en funcionamiento por las personas responsables encargadas de la evacuación.

Por lo regular, la instalación de la central de señalización o alarma, puede ser manual o automática, y los elementos de transmisión de señales sonoras pueden ser sirenas o megáfonos.

Líneas de transmisión

Cuando se habla de líneas de transmisión en un sistema de incendios, se divide en:

- Líneas de transmisión eléctricas para sistemas de detección
- Líneas de transmisión eléctricas para sistemas de señalización
- Líneas de transmisión eléctricas para alimentación de equipos de supresión (bombas, compresores)

Al momento de ocurrir el incendio, se debe de tener en cuenta que el fuego afectara las líneas de transmisión de los sistemas, y los equipos que funcionen con medios eléctricos necesitaran de una alimentación ininterrumpida durante el tiempo que tarde la extinción o la supresión del incendio.

El cableado que se hace en las instalaciones de los detectores, o hacia los mecanismos de impulsión que funcionan con electricidad, es campo de las instalaciones eléctricas, que deberá estar a cargo de personal con la experiencia en el montaje de equipos electromecánicos.

La parte que nos debe de interesar es el recubrimiento de los cables, los cuales deberán de poseer el grado de resistencia especificado en normas internacionales, que les permita funcionar en condiciones de temperaturas elevadas.

Para la protección del sistema de líneas de transmisión en el sistema de protección contra incendios, se debe de considerar:

- **Cables con recubrimiento ignifugante a prueba de fuego**, que sean resistentes bajo parámetros reconocidos internacionalmente (NFPA, AWG, UNE-EN)

- **Espumas intumescentes**, a prueba de fuego, que sean resistentes bajo parámetros reconocidos internacionalmente (BS 146, UNE-EN 1366-3, DIN 4102-21)
- **Revestimientos a base de fibra de vidrio**
- **Ductos de protección para cableado**

Cable con recubrimiento ignifugante

Los cables con recubrimiento ignifugante, son cables para la conducción de líneas eléctricas que poseen un recubrimiento a base de varias capas de distintos materiales aislantes que les confieren cierto grado de resistencia al calor o a la llama directa.

Los cables con recubrimiento ignifugante están clasificados internacionalmente de la siguiente

manera:

- IEC 60331 Categoría C, resistentes a temperaturas de 950 °C durante 3 horas
- IEC 60331 Categoría B, resistentes a temperaturas de 750 °C durante 3 horas
- IEC 60331 Categoría A, resistentes a temperaturas de 650 °C durante 3 horas
- BS 6387W, resistentes a temperatura de 650 °C durante 15 minutos, y a shock térmico por agua durante 15 minutos a 650 °C

Los cables bajo estas especificaciones, están normados también bajo parámetros IEC 60502, con capacidad de conducción de 1 a 30,000 volts



Ilustración 153, ensayo de fuego a cables con revestimiento ignifugo

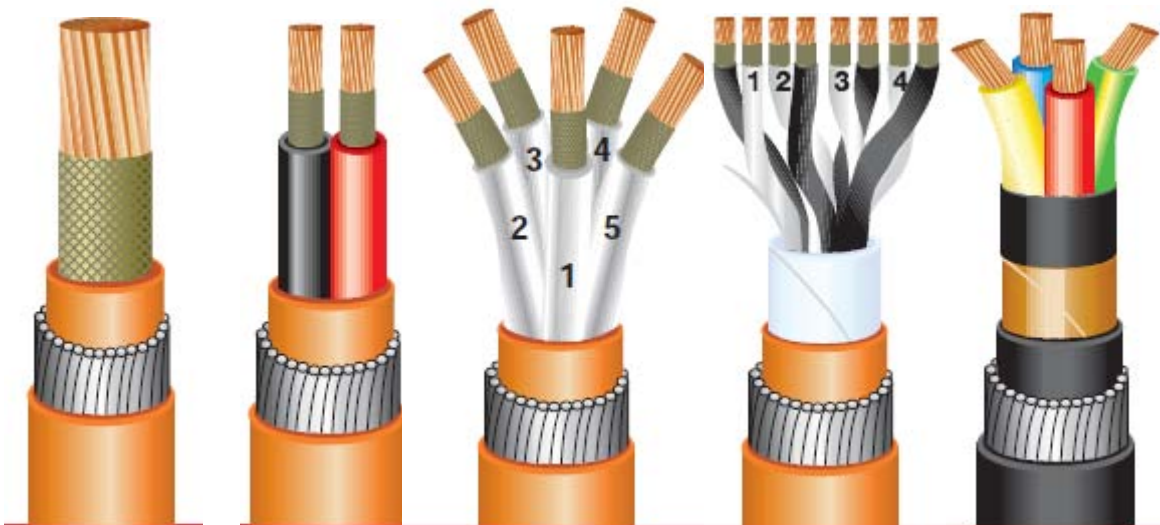


Ilustración 154, cables con recubrimientos intumescentes resistentes al fuego según parámetros internacionales

Espumas intumescentes

Las espumas intumescentes tienen como finalidad proteger a los cables, y mantienen cierto grado de resistencia al fuego, dependiendo de la especificación de la espuma a comprar, así como de la marca.

Estas, son espumas líquidas que al aplicarse, incrementan su volumen hasta cerca de 40 veces el volumen original, y secan rápidamente, formando un recubrimiento que no escurre en

gotas incendiadas, y que tampoco aporta material combustible al momento del incendio, ni carga por fuego.



Ilustración 155, sello de tubos con espumas intumescentes

Revestimientos a base de fibra de vidrio

Este tipo de revestimientos puede aplicarse cuando se tiene la conducción de líneas en bandejas, o en tubería tipo Ducto eléctrico PVC o hg, no mayor a 16 mm de diámetro. Consiste en revestir las bandejas o las tuberías en fibra de vidrio resistente al calor, con recubrimiento brillante.



Ilustración 156, ductos revestidos con fibra de vidrio

Instalaciones de Alarma, definiciones, parámetros y criterios

Las instalaciones de alarmas de incendio son un tipo de protección que se activa cuando se detecta un evento, sea este humo o un cambio brusco de temperaturas.

El sistema de alarmas de incendio, se compone de 3 partes, las cuales son:

- Pulsadores de emergencia
- Instalaciones de alerta
- Alarmas de audio evacuación

El propósito de estos 3 sistemas es el de prevenir a los usuarios de la existencia de un peligro dentro de las instalaciones, para de esta manera lograr la evacuación total en un periodo de tiempo seguro para resguardar la integridad física de las personas que se encuentren en el recinto afectado.

Dado que la finalidad de estos sistemas es el de proporcionar alerta a cerca del peligro existente, tanto la selección como el posicionamiento y la instalación de estos accesorios está regido y normado por distintos parámetros de validez internacional, los cuales el arquitecto debe de tener en cuenta al momento de diseñar el sistema de alarma.

Pulsadores de Emergencia

Los pulsadores de emergencia son dispositivos capaces de accionar una alarma contra incendios, y la finalidad de estos es permitir que de existir un incendio que no sea captado por los sistemas de detección automáticos, el sistema pueda ser accionado de forma manual.

La instalación de pulsadores de emergencia tiene como propósito la transmisión de una señal a un puesto de control centralizado y preferentemente monitoreado de forma permanente, de tal manera que resulte localizable la zona del pulsador que ha sido activado, y puedan ser tomadas las medidas necesarias.

Comúnmente los pulsadores de emergencia están provistos de un blindaje encapsulado de seguridad por lo que no requieren de barreras de seguridad. Están contruidos con un encapsulado de metal, y un recubrimiento intumescente, que los hace resistentes a los cambios bruscos de temperatura.

Existen modelos que poseen una pantalla de plástico que debe de ser rota para pulsar el botón contenido dentro, la pantalla esta puesta con la finalidad de evitar el accionamiento accidental del sistema de alarma, este tipo de pulsadores no son recomendables para áreas donde por la naturaleza de las actividades llevadas a cabo puedan ser impactados fuertemente, rompiendo la pantalla plástica de manera involuntaria

Existen también los modelos de palanca de la cual hay que tirar hacia abajo completamente para poder accionar el sistema de incendios de manera manual. Estos no son susceptibles a los impactos, dada su construcción y la manera de accionarlos. Son ideales para aplicaciones industriales donde por la naturaleza de las actividades realizadas puedan ser lastimados o impactados, son de uso más rudo.

La distancia entre pulsadores de emergencia esta normada y reglamentada por diferentes códigos de incendios internacionales, tales como NFPA72 en estados unidos, DIN 1103-Bx en Alemania, y CE DM1103 normativa para la unión europea.



Ilustración 157, pulsadores de emergencia, de izquierda a derecha: pulsador de pantalla plástica bajo norma CE para intemperie, pulsador de palanca, pulsador de pantalla plástica para interiores

Crterios de instalación para pulsadores

En la planificación se debe de tomar en cuenta los siguientes criterios internacionalmente aceptados y practicados

- Los pulsadores de incendio manuales se deben de iluminar suficientemente con luz solar u otra fuente de iluminación (incluyendo iluminación de emergencia, si esta existe)
- Se debe de mantener como altura de instalación medía 1.40 metros sobre el nivel de piso terminado, con una tolerancia de ± 0.20 metros, dependiendo de las necesidades del usuario
- Se deben de instalar los pulsadores de incendios manuales en las rutas de escape y de rescate, tales como salidas, pasillos, ductos de escaleras, esperas de ascensores.
- Deben de ser fácilmente visibles e identificables
- El suministro de energía, y las líneas de señal deben de ser blindadas o a prueba de fuego, para que el flujo no se vea interrumpido en condiciones de fuego
- En los casos donde exista una instalación de detección automática de incendios, la instalación de pulsadores de alarma puede estar conectada al mismo equipo de control y señalización.

Como parámetro de instalación de pulsadores, se puede adoptar una distancia de hasta 15 metros en zonas de alta concentración de personas, bajo normativas y parámetros internacionalmente aceptados, se han definido las distancias máximas entre pulsadores de emergencia de la siguiente manera:

distancia máxima entre pulsadores de incendio	
código o norma	distancia en metros
DIN 14675 (riesgo bajo)	100 metros
DIN 14675 VDS (riesgo moderado)	60 metros
UNE EN 23007-14 (riesgo alto, poca ocupación)	50 metros
NFPA 72 (interiores)	30 metros
NTP 41 (interior, moderada ocupación)	25 metros
NTP 42 (interior, alta ocupación)	15 metros

Tabla 10, distancias máximas entre pulsadores de alarma para incendio, tabla de elaboración propia, datos obtenidos de códigos NFPA 72, DIN 14675, NTP 41 Y 42, UNE EN 1103/03

Instalaciones de Alerta y Audio para evacuación, definiciones, parámetros y criterios

Los sistemas de alarmas están constituidos por instalaciones destinadas a avisar al usuario o al personal, (dependiendo del tipo de uso del proyecto), en caso de un incendio. Los proyectos tales como centros educativos, hospitales, jardines infantiles, asilos para ancianos, edificios de oficinas, hoteles, fábricas y edificios de apartamentos, deben de contar en general con instalaciones de alerta y audio evacuación adecuadas.

Los tipos de alarmas se dividen en:

- **Alarmas manuales**, constan de estaciones de aviso distribuidas en todo el proyecto. Estas estaciones consisten en llaves o timbres cuyo accionamiento hace sonar la alarma, con el objetivo de impedir que alguien las oprima inadvertidamente, pueden estar protegidas por vidrios o pantallas. Deben estar colocadas al alcance de los usuarios, de manera que no sea necesario recorrer una distancia larga para encontrar una
- **Alarmas automáticas**, estas pueden accionarse por medio de detectores de llama, detectores de humo, detectores de temperatura o termovelocimétricos.

Existen diversos tipos de alarmas, ya sea auditivas o luminosas, al momento de la planificación debe de tenerse en cuenta que estas instalaciones deben de ser seguras en el sentido de que no fallen al momento de dar el aviso, y que deben de ser perceptibles para todos los usuarios. Estas pueden estar combinadas con una llamada de auxilio automática a los cuerpos de socorro.

Con la finalidad de garantizar su funcionamiento en cualquier momento, las líneas de alimentación de las señales de alarma deben de poseer el blindaje adecuado contra temperatura y contra llama.

La alarma a instalarse debe de ser característica de incendio, y su tono audible debe de ser fácil y claramente reconocible, sin lugar a dudas o confusiones. Debe de tener un tipo de sonido que no sea confundido con cualquier otro sonido ambiental o industrial. Debe también de ser perfectamente audible para todos los operarios y en todos los sectores del proyecto al que están sirviendo, incluyendo áreas de servicio, áreas de apoyo o áreas de acceso controlado en los proyectos que cuenten con ellas.

Señalización Audible

Existen varios tipos de señales audibles que se pueden aplicar según los requisitos del proyecto que se esté planificando. Cada una de ellas tiene diferentes características para su aplicación específica dependiendo de las necesidades. Estas pueden ser:

Bocinas

Son algunos de los accesorios más utilizados. Estas emiten tonos claros, definidos, elevados y agudos. Su gran escala de volúmenes les permite una amplia gama de aplicaciones en proyectos de diferente naturaleza, tales como plantas industriales y locales comerciales. Estas, en el sistema de incendios, pueden ser utilizadas para emitir mensajes de evacuación, que instruyan al usuario la manera en la cual debe de evacuar, y las vías que se pueden utilizar. Estudios realizados por la Comunidad Europea, el Instituto de estandarización de Alemania, y los Estándares Británicos (CE, DIN BS, por sus siglas en su idioma natal correspondientemente) han comprobado que en condiciones de evacuación, las alarmas dadas por un medio de mensajes de evacuación con instrucciones claras y un tono de voz relajado, tienden a ejercer menos estrés sobre el usuario y permiten evacuaciones mas ordenadas.



Ilustración 158, bocinas para sistema de alerta por voz

No es conveniente utilizar bocinas para emitir tonos de incendio, dado que pueden confundirse con otras señales tales como inicio o fin de jornadas de trabajo.

Sirenas

Son las más poderosas y llamativas de todas las señales por lo que son ampliamente usadas por diferentes cuerpos de emergencia, tales como Bomberos, Policía, etc. Su radio de alcance es grande, en condiciones favorables de viento la onda auditiva puede ser percibida hasta a 1 kilometro de distancia, y los elevados tonos emitidos pueden anular casi prácticamente cualquier otro sonido exterior. El tono de estas varía desde moderado hasta estridente.

La instalación de este tipo de sistema de alarma está directamente relacionada con el nivel de contaminación auditiva donde se vayan a instalar. Son eficientes en plantas industriales, sectores de

trabajo ruidoso, instalaciones correccionales.

No es conveniente el uso de este tipo de sistemas en instalaciones donde el impacto de la estridencia del tono pueda ocasionar



Ilustración 159, sirena para sistema de alerta

evacuaciones furtivas, tales como escuelas, centros comerciales, hospitales. En el caso de este tipo de instalaciones, es más recomendable el uso de bocinas con mensajes de evacuación.

Zumbadores

Los zumbadores son señales que consisten en una campana que es impactada por un dispositivo en ciclos bastante rápidos, por lo que emiten una señal sonora que es compuesta por múltiples tonos separados.

Su uso es adecuado para sistemas de señalización en edificios públicos, hospitales, escuelas, y cualquier instalación donde una señal

más estridente no es conveniente.



Ilustración 160, timbre tipo gong o zumbador

Cada uno de los tipos de señales audibles que han sido descritos, han sido diseñados para diferentes aplicaciones, y estas obedecen a las condiciones de operación y de funcionamiento del proyecto del que se trate.

Criterios de Selección

Al momento de elegir una señal audible, se debe de tener en cuenta:

- En grandes áreas a señalar, es más conveniente tener varias señales de volumen moderado, instalada de manera que puedan sonorizar cada sector donde sean activadas, que tener una sola señal ruidosa.
- Se debe de elegir una señal de tono que llame la atención, sin perturbar el entorno donde esta se activa.
- La señal debe de tener un volumen superior a los demás ruidos y ser distinta a estos, para que no exista confusión de ninguna naturaleza y se pueda percibir la señal de una manera clara e inequívoca.
- Se debe de elegir la señal adecuada en función de las actividades a realizar en el sitio, tanto respecto de su poder sonoro, como de sus características físicas
- A pesar de que la alarma no debe de perturbar el entorno donde se active, la tonalidad debe de ser la suficiente para llamar la atención y sobresalir entre los ruidos ambientales. En algunas condiciones, es incluso justificable el uso de señales estridentes, debido a la cantidad de ruido existente.
- En alarmas colocadas en exteriores, se debe de recordar que existe la dificultad de que por no haber paredes o techos donde reboten las señales, los árboles o vegetación existentes pueden absorber el sonido, y si existen edificaciones vecinas, estas pueden distorsionar la señal por efecto de rebote. Para evitar esto,

se recomienda que en exteriores las señales sean más poderosas, y estén espaciadas a distancias considerables.

Parámetros de diseño y de posicionamiento para señales auditivas de incendios

Para sistemas de sirenas

De acuerdo a Estándares y normativas internacionales, las señales audibles deben de cumplir con ciertos parámetros mínimos, para que su funcionamiento sea efectivo y logre el propósito de dar el aviso de incendio.

Estos elementos, se distribuirán de forma que se pueda garantizar los niveles sonoros mínimos expresados en normativas internacionales, tal es el caso de NFPA 72, y UNE EN 23007-14, de la siguiente manera:

- El nivel sonoro de la alarma debe de ser como mínimo de 65 decibelios o bien, 5 decibelios por encima de cualquier sonido que previsiblemente pueda durar más de 30 segundos
- Si la alarma tiene como objeto despertar a personas que estén durmiendo, el nivel sonoro mínimo deberá de ser de 75 decibelios.

Estos niveles son el **MINIMO** que debe de garantizarse en todos los puntos del recinto que se esté protegiendo.

- El nivel sonoro no deberá superar en ningún momento 120 decibelios en ningún punto situado a más de 1 metro del dispositivo sonoro.

El número de dispositivos sonoros a instalar se puede determinar por medio de los siguientes criterios:

- El numero de dispositivos deberá ser el suficiente para que al momento de estar en operación, el nivel sonoro sea el exigido anteriormente
- El número mínimo de dispositivos será de en todos los casos 2 por cada edificio, o uno por cada sector de incendio definido.

Para sistemas de Bocinas

Un sistema de megafonía para emergencias y evacuación, debe ser audible, y para ser oído, el nivel del sonido debe ser más alto que el nivel de ruido de fondo. Debe ser inteligible, para ser comprendido, el sonido debe de estar libre de distorsión y ser claro.

Para establecer un parámetro de referencia, se debe de cuantificar el sonido. Este viene normalmente expresado mediante el nivel de presión sonora o decibelios, basado en la respuesta del oído humano de la siguiente manera:

- 1 decibelio (dB) es el mínimo sonido perceptible por el oído humano

- 130 decibelios es el nivel máximo de sonido soportable por el oído humano, al exceder este límite, se pueden provocar daños irreversibles.

La inteligibilidad del sistema está en función de los siguientes factores a tomar en cuenta:

- La inteligibilidad queda limitada por el medio acústico: tiempo de reverberación, niveles de ruido de fondo, restricciones de la ubicación de los altavoces o bocinas
- La inteligibilidad puede mejorarse en gran medida a través del tipo de altavoz, posición, orientación, cantidad y potencia o elección de la toma en el transformador
- Idealmente las transmisiones deben ser de 10 a 15 decibelios por encima del nivel de ruido para maximizar la inteligibilidad.

Para el correcto funcionamiento de los sistemas de bocinas, los códigos internacionales NFPA 72 y UNE EN 23007-14 establecen los siguientes requisitos mínimos a respetar en la planificación:

- El nivel de sonido será de 65 decibelios en condiciones de operación, 75 decibelios si debe despertar a personas que duermen
- El mensaje automático pregrabado deberá ser adecuado al tipo de aviso de alarma a dar
- El mensaje pregrabado deberá ser corto, claro e inequívoco
- Se debe garantizar la inteligibilidad del mensaje mediante un diseño adecuado
- Se debe dar prioridad al mensaje de alarma
- El intervalo entre mensajes debe ser menor de 30 segundos, con señales de fondo en los intervalos
- Si el mensaje es de transmisión directa en tiempo real, se debe proveer por lo menos de 2 micrófonos en el puesto de control.

Espaciamiento entre bocinas

El espaciamiento entre bocinas esta dado por la siguiente expresión:

$$D = 2 \left(\frac{H_1 - H_2}{\tan(90 - \frac{1}{2}A)} \right)$$

Donde

D = espaciamiento entre bocinas, en metros

H₁= altura del techo

H₂= altura del oído del receptor en metros (1.65 m media para el Guatemalteco)

A= Angulo de dispersión (Esta especificación técnica será dada por el fabricante, de lo contrario, asumir 100 grados)



Ilustración 161, espaciamento entre dispositivos en un sistema de megafonía, o alarma por medio de bocinas con mensaje. Fuente: Honeywell Life Safety Iberia, Autor: Juan J. Nogales García

Posicionamiento de Bocinas:

Debido a que en el sistema de Bocinas se trata de una onda de sonido que responde a la acústica del lugar, en el diseño contra incendios se debe de tomar en cuenta el posicionamiento de cada una de las bocinas contenidas en el sistema. De esta manera, se podrá garantizar que la posición que se le dé a las bocinas será la ideal para obtener la máxima reverberancia de sonido, y que el mensaje llegue sin distorsión y sea claramente audible, sin perderse el mensaje por efectos de rebote de sonido.

- Evitar posiciones que produzcan reflexiones del sonido, de no ser así, habrá pérdida de eficacia por un lado, y área muerta por otro
- El sonido debe de dirigirse únicamente a la zona con audiencia

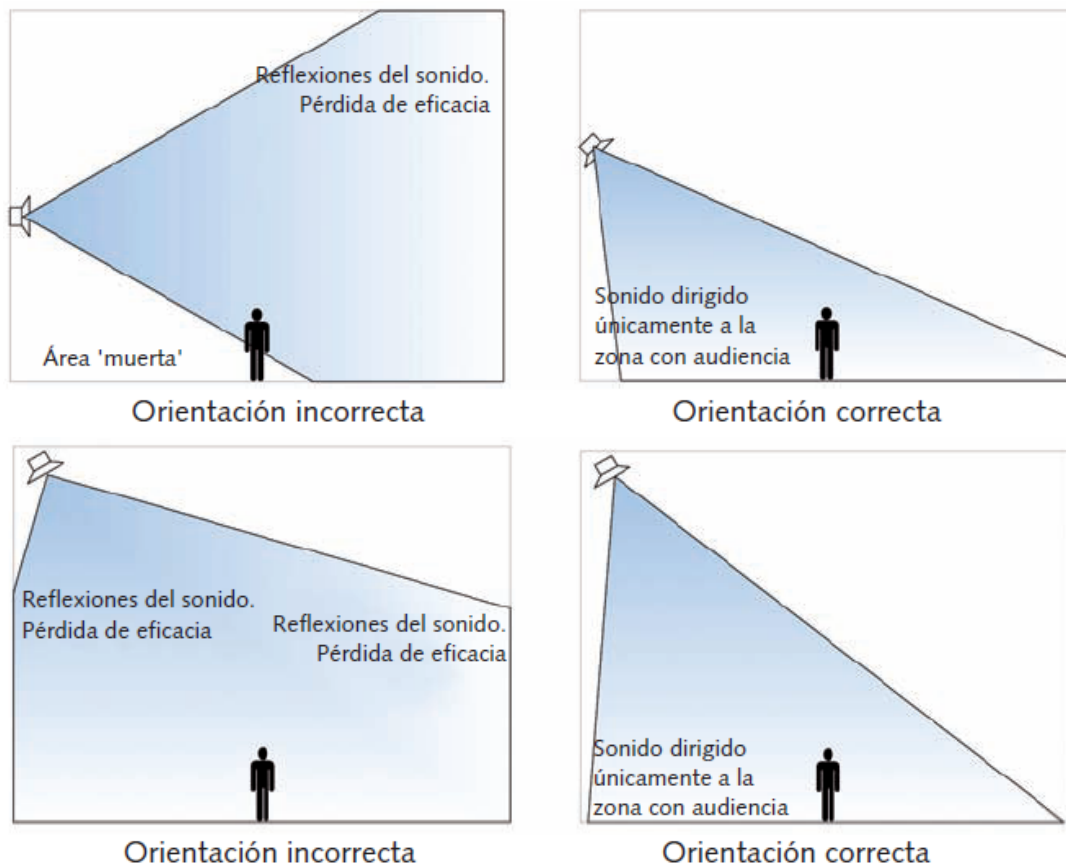


Ilustración 162, posicionamiento correcto en un sistema de megafonía, o alarma por medio de bocinas con mensaje. Fuente: Honeywell Life Safety Iberia. Autor: Juan J. Nogales García

Instalaciones de emergencia, definiciones, parámetros y criterios

Las instalaciones de emergencia son aquellas que empezaran a funcionar cuando la alarma de incendio sea dada, y se inicie el proceso de evacuación.

Estas tienen como propósito permitir al usuario tener una referencia que le sirva de guía en la ruta de evacuación prevista para salir del lugar en el que se encuentre.

Internacionalmente la iluminación se ha esquematizado de la siguiente manera:

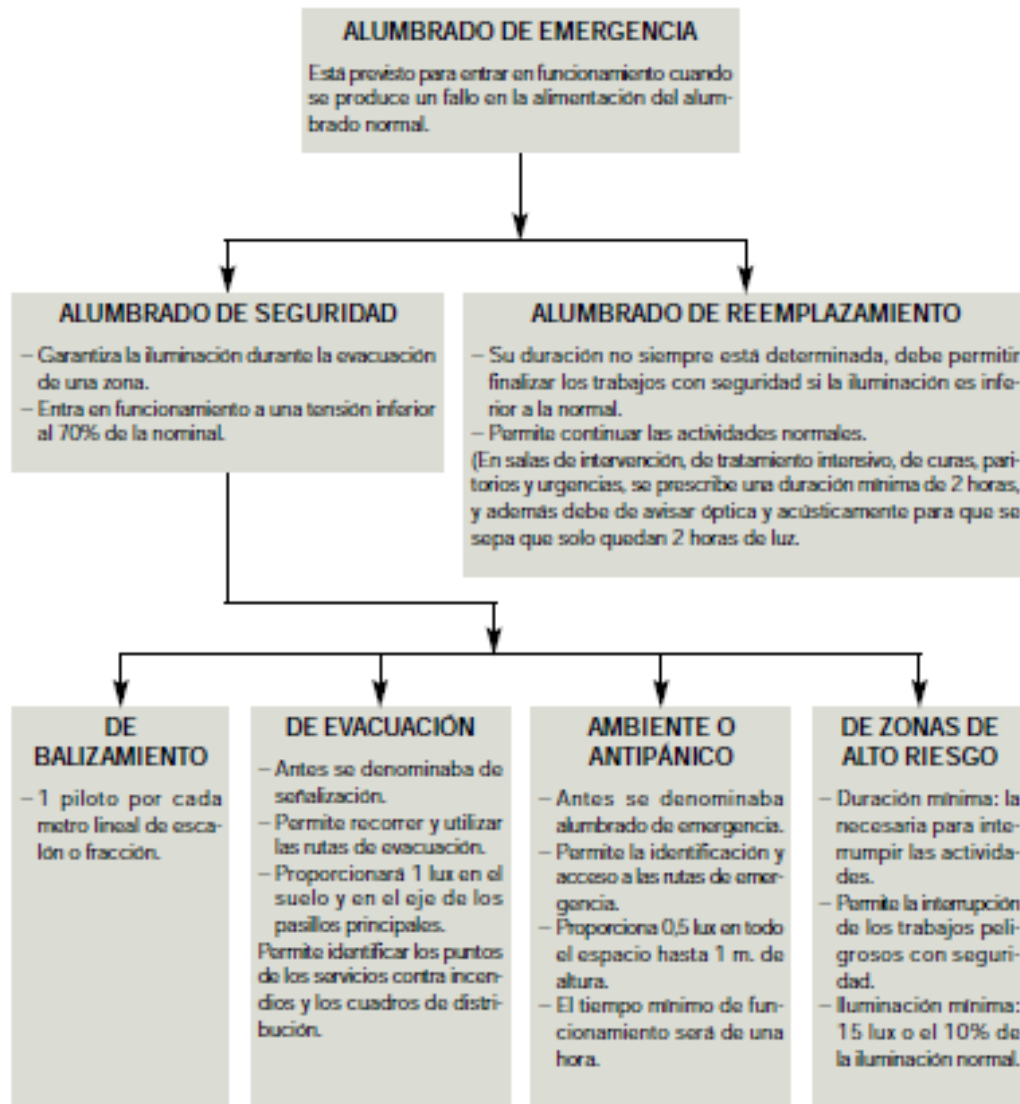


Ilustración 163, esquema de los diferentes tipos de iluminación estandarizados internacionalmente. Fuente: instalaciones eléctricas en locales de concurrencia pública, Autor: Pablo Zapico Gutiérrez

Regularmente, el alumbrado de emergencia forma parte de las instalaciones especiales dedicadas a la energía alterna, pero se debe de contemplar que al momento de ocurrir un

incendio, los sistemas pueden fallar, por lo que en el diseño del sistema de protección contra incendios se debe de incluir la iluminación de emergencia y la iluminación de vías de evacuación.

El alumbrado de emergencia, relacionado con la protección contra incendios se divide en:

- Alumbrado de seguridad
- Alumbrado de evacuación

Alumbrado de seguridad

Este alumbrado está destinado a permitir la continuidad de tareas que implican un riesgo potencial a la persona que las ejecuta, a las personas que dependen de ella, o a un proceso que depende de ella.

Se pueden mencionar como ejemplos de este tipo de alumbrado, la iluminación de quirófanos en hospitales, operación de equipos que representan riesgos a la vida si no se tienen a la vista, manipulación de sustancias altamente tóxicas o dañinas en condiciones controladas de laboratorio.

El alumbrado de seguridad no persigue que las personas permanezcan dentro de las instalaciones al momento del incendio, sino más bien permitirles observar lo que hacen para poder interrumpir las tareas de una manera segura sin resultar dañadas, antes de iniciar un proceso de evacuación.

Las lámparas de seguridad varían en formas, diseños, y color. Independientemente del modelo que se

escoja, se tomara como parámetro de diseño los estándares mínimos internacionales que rigen la distancia y la intensidad lumínica de cada uno de estos dispositivos.

Las instalaciones de alumbrado de seguridad están normadas por estándares internacionales, para este caso en particular, se citan los criterios seleccionados de la norma UNE EN 1838, de la siguiente manera:



Ilustración 164, lámpara de seguridad con reflectores halógenos



Ilustración 165, lámpara de seguridad tipo LED

- La iluminación horizontal no debe de ser menor de 0.5 lux al nivel del suelo del área a iluminar
- La relación de la iluminación del alumbrado de seguridad no debe ser mayor de 40:1
- El deslumbramiento perturbador debe permanecer bajo mediante la limitación de la intensidad luminosa de las luminarias situadas dentro del campo de visión, esta no debe de exceder los límites permitidos, dentro de una zona de 60° a 90° a partir de la vertical en todos los ángulos de instalación
- La duración mínima permitida para propósitos de evacuación debe ser de 1 hora
- El alumbrado de seguridad debe alcanzar el 50% del nivel de iluminación requerido al cabo de 5 segundos de accionamiento, y la iluminación completa al en un intervalo no mayor a 60 segundos

Para el caso de la iluminación de seguridad, los estándares internacionales no se rigen a parámetros de distancia entre dispositivos, sino más bien se obedece al criterio de la intensidad lumínica en candelas.

Esto, debido a que se asume que puede existir un desfase de hasta 5 segundos máximo entre el corte de energía de la iluminación artificial hasta que entra a trabajar la iluminación de seguridad. Durante este corto periodo de tiempo, el usuario puede ser deslumbrado por luces de emergencia demasiado intensas, y puede lograrse un efecto encefaleador. Para evitar esto, los límites de deslumbramiento permisibles son:

Límites de deslumbramiento perturbador, según UNE EN 1838:1999		
altura de montaje sobre nivel del suelo (m)	intensidad luminosa máxima de alumbrado de seguridad (cd)	intensidad luminosa máxima en zonas de alto riesgo (cd)
2.5 m o menor	500	1000
2.6 - 3.00	900	1800
3.00-3.50	1600	3200
3.5 - 4.00	2500	5000
4.00 - 4.50	3500	7000
mayor a 4.50	5000	10000

Tabla 11, valores límites de deslumbramiento perturbador, tabla de elaboración propia, datos obtenidos de UNE EN 1838:1999

De acuerdo a estándares internacionales, se debe de dotar de iluminación de seguridad a:

- Todos los recintos cuya ocupación sea mayor que 100 personas
- Los recorridos generales de evacuación de zonas destinadas a uso residencial, hospitalario, y los de zonas destinadas a cualquier otro uso que estén previstos para la evacuación de más de 100 personas

- Todas las escaleras y pasillos protegidos todos los vestíbulos previos y todas las escaleras de incendios
- Los parqueos para más de 5 vehículos
- Los locales de riesgo especial, tales como sanitarios y bodegas de almacenamiento
- Los cuartos que albergan equipos generales de las instalaciones de protección (cuartos de bombas, cuartos de monitoreo, bodegas)

Alumbrado de Evacuación:

Este alumbrado debe de garantizar una evacuación rápida y segura de las personas a través de los medios de escape, facilitando además las maniobras de seguridad e intervenciones de los cuerpos de socorro. Su aplicación está estrechamente relacionada con los objetivos de la protección contra incendios.

Para lograr este objetivo, es indispensable, además de un alumbrado mínimo, disponer de una clara señalización de puertas y circulaciones. Estas señales deben de ser inteligibles desde la mayor distancia a la cual el usuario pueda encontrarse dentro del edificio.



Ilustración 166, lámparas de alumbrado de evacuación

Para proporcionar visibilidad con propósitos de evacuación se requiere alumbrado en la totalidad del espacio. Esta recomendación regularmente se satisface mediante el montaje de la señalización al menos 2 metros sobre el nivel de piso terminado. Las señales que están previstas en todas las salidas destinadas a ser usadas en una emergencia, así como a lo largo de las vías de evacuación, deben de estar iluminadas para indicar de manera clara la vía de evacuación al punto de seguridad.

Criterios de instalación de iluminación de evacuación

Para que la instalación de las señales lumínicas de evacuación cumpla su propósito de la mejor manera, al momento de la planificación deben de considerarse los siguientes criterios:

- Se colocara iluminación en cada puerta de salida destinada a ser usada en una emergencia
- Cerca de las escaleras de modo que cada tramo de las escaleras este claramente identificado
- Cerca de cualquier cambio de nivel
- en cualquier cambio de dirección

- en cada intersección de pasillos en recorridos lineales
- fuera cerca de cada salida final al punto de reunión
- cerca de cada pieza de equipo de extinción (bocas de incendio equipadas, columnas secas)



Ilustración 167, señales lumínicas de evacuación, estandarizadas internacionalmente. Fuente: Norma ISO 3864

Distancia de Visión máxima entre señales de evacuación

Las señales iluminadas que se muestran en la figura 150, son las señales estándar ISO aceptadas a nivel mundial, en nuestro país estandarizadas y legalizadas por CONRED.

Al momento de la planificación, se debe de tener en cuenta la distancia máxima a la cual el ojo humano puede percibir sin distorsión la imagen en color verde Pantone 286 a una distancia "X".⁴¹

Esta distancia debe de determinarse durante el proceso de planificación, por medio de la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{(s * 2000)}$$

Donde

D= distancia máxima de Visión, en metros

s= área de superficie de la señal, en metros cuadrados

⁴¹ Norma UNE EN 81501, AENOR, España

Instalaciones de extinción y supresión a base de agua, definiciones, parámetros y criterios

Las instalaciones de extinción y supresión de fuegos, son el sistema que entra en funcionamiento una vez que los sistemas detectores han determinado que existe un fuego en desarrollo.

La rapidez de reacción y disparo del sistema, son definitivas, dado que en función de la naturaleza de los materiales dentro del recinto, la propagación del fuego puede tomar minutos o segundos según sea el caso.

El sistema de extinción y supresión, es una medida automática de defensa que se debe de planificar de acuerdo a las necesidades del proyecto, y esta funcionara como la primera línea de defensa contra la acción del fuego, previo a la intervención de los cuerpos de socorro.

Los sistemas de extinción y supresión de incendios, se diseñan en función de 2 parámetros que ya han sido definidos y estudiados en capítulos anteriores:

- Carga combustible o carga por fuego
- Tiempo de exposición equivalente

El parámetro de **carga combustible**, permite tener una idea clara de la capacidad calorífica de todo el mobiliario o productos contenidos dentro del recinto a proteger, y sabiendo la capacidad calorífica se puede calcular de una manera bastante precisa la capacidad extintora con la cual se debe de dotar al recinto. El **tiempo de exposición equivalente** servirá para poder saber exactamente en qué rango de temperatura (según la curva normalizada tiempo temperatura UNE EN 1363:2000) se necesita que funcione la estructura, aunque este parámetro estará más apegado al diseño de protección pasiva.

Se consideran instalaciones de extinción de incendios las siguientes:

- Bocas de incendio**, las cuales estarán compuestas por bocas de incendio equipadas, red de tuberías de agua y fuentes de abastecimiento. Las bocas de incendio equipadas estarán provistas de los siguientes elementos: boquilla, lanza, manguera, racor, válvula, manómetro, soporte y armario.
- Hidrantes de incendio**, los que serán una fuente de suministro de agua específica y exclusiva contra incendios, de las que se alimentan los equipos de los cuerpos de socorro, su presión no necesariamente debe ser elevada, aunque si debe de contar con un alto caudal.
- Columna seca**, la cual tiene por finalidad poder disponer de agua en las distintas plantas del edificio, ahorrando tendidos de manguera de elevada longitud que conllevaría grandes retrasos
- Extintores móviles**, los cuales contienen un agente extintor que puede ser proyectado y dirigido sobre un fuego por la acción de una presión interna con el fin

de apagarlo. La carga es la masa o volumen de agente extintor contenido en el aparato, en los extintores a base de agua la masa o volumen se expresa en litros, y en los que son a base de químicos, se expresa en kilogramos.

Bocas de Incendio Equipadas

La Boca de Incendio Equipada, (BIE, por sus siglas) es un equipo de protección contra incendios que se dispone fijo en la pared, y esta conectado a la red de abastecimiento de agua. La BIE es un sistema eficaz en la protección contra incendios que por su eficacia y facilidad de manejo, puede ser utilizado directamente por los usuarios de un edificio en la fase inicial de un incendio.



Ilustración 168, Boca de Incendio Equipada

La red de alimentación a la cual las bocas de incendio estén conectadas, como estándar deberán de proporcionar durante una hora como mínimo, en la hipótesis de funcionamiento simultaneo de 2 o 3 bocas de incendio según sea la inflamabilidad del sector, una presión dinámica mínima de 2 bar en la toma de salida de cualquiera de las BIE (2 bar, aproximadamente igual a 30 PSI), y un máximo de 5 bar (72 PSI).

En cualquiera de los casos, la BIE tendrá una condición de descarga que dependerá del diámetro de la boquilla de salida de la manguera, de la siguiente manera:

- BIE, salida de 45mm, caudal de descarga de 200 litros por minuto
- BIE, salida de 25mm, caudal de descarga de 100 litros por minuto

Partes de una Boca de Incendio Equipada

Una boca de Incendio Equipada, está constituida por las siguientes partes:

1. Armario
2. Manguera
3. Racores (para adaptar 2 o más mangueras)
4. Válvula
5. Manómetro
6. Lanza
7. Boquilla

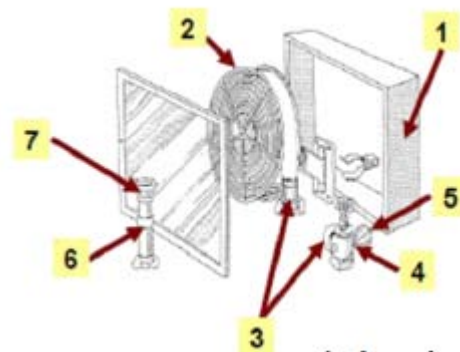


Ilustración 169, despiece de una boca de incendio equipada

Algunas también están equipadas con un extintor portátil y un hacha multiusos.

Criterios de emplazamiento y distancia entre Bocas de Incendio Equipadas:

Las normativas internacionales establecen criterios para el emplazamiento de las bocas de incendio equipadas, mismos que en el momento de la planificación se deben de tomar en cuenta para posicionar las bocas de una manera adecuada, y que cumpla con estándares de seguridad internacionalmente aceptados.

UNE EN 671-2 establece para las bocas de incendio equipadas:

- El soporte de instalación deberá ser rígido y perfectamente anclado a la estructura del edificio
- La altura de instalación de la boca de incendio deberá ser tal que como máximo, el centro de la boca de incendio quede a 1.50 metros sobre el nivel de piso terminado
- Siempre que sea posible, se deben de instalar a una distancia máxima de 5 metros de las salidas de cada sector de incendio
- El número y la distribución de las BIE en un sector de incendio, deberá ser tal, que la totalidad de la superficie del sector quede cubierto por una BIE, considerando el radio de acción de esta la longitud de la manguera que contiene + 5 metros.
- La separación máxima entre cada BIE y la próxima inmediata será de 50 metros
- La distancia desde cualquier punto del local protegido hacia la BIE más próxima no debe ser mayor a 25 metros

Calculo de agua de reserva para Bocas de Incendio Equipadas

Se debe de planificar la capacidad mínima de agua de reserva que se debe de tener para mantener la presión y el caudal necesario al momento de utilizar el sistema de bocas de incendio.

El agua de reserva se calcula de la siguiente manera:

$$W_R = Q \cdot N_B \cdot T$$

Donde

W_R = Volumen de Agua de Reserva, en litros

Q = caudal por boca, dependiendo del diámetro, 100 litros por minuto para 25mm, 200 litros por minuto para 45mm

N_B = número de bocas de incendio simultáneas a utilizar

T = tiempo, en minutos

Hidrantes de Incendio

Los hidrantes contra incendio, son una fuente de suministro de agua específica y exclusiva contra incendios, de las que se alimentan comúnmente los vehículos de bomberos. Comúnmente la presión de este tipo de accesorios no es elevada, aunque si su caudal.

Son dispositivos hidráulicos usados en la lucha contra incendios, constituidos por un conjunto de válvulas y racores, conectados a la red de abastecimiento, y destinado a suministrar agua en caso de incendios. Los hidrantes pueden ser instalados en lugares públicos, o privados.

Normalmente, este tipo de dispositivos no están considerados como un sistema de supresión, dado que su principal uso está destinado para:

- Suministro de agua a los camiones de bomberos con el objeto de reponer la utilizada para la extinción, para este tipo de aplicaciones, los hidrantes no necesitan de tener altas presiones, pero si un elevado caudal.
- para lanzar agua directamente sobre el fuego a través de mangueras o cañones (monitores) con el fin de refrigerar los edificios y evitar el colapso de estos, también para refrigerar a las brigadas de bomberos que más se acercan a los focos de incendio, con ello ayudan a disminuir las altas temperaturas.



Ilustración 170, hidrante de incendio para exteriores

Tipos de Hidrantes:

Los hidrantes pueden ser de columna o enterrados, y en cualquiera de estas 2 variantes, pueden ser húmedos o secos.

- Hidrantes de columna húmeda, estos mantienen su cuerpo permanentemente lleno de agua, y la válvula de apertura está situada en la parte superior del hidrante. Estos, se instalan donde se prevean temperaturas superiores a 5 °C.
- Hidrantes de columna Seca, utilizados en zonas donde las bajas temperaturas pueden provocar la congelación del agua, tienen la válvula a mayor profundidad, situada en el punto de conexión con la tubería de abastecimiento. El agua esta retenida por debajo del nivel del suelo, de manera que la columna que se encuentra a la intemperie, se encuentra seca. Este tipo de hidrantes tienen iniciada una línea de rotura para la columna que sobresale del suelo, de modo que en caso de accidente o rotura, este rompe la línea más débil y no se produce salida de agua al exterior. Este tipo de hidrantes se instalan en aquellos lugares donde se prevean temperaturas menores a 5 °C.

Criterios para la instalación de Hidrantes

Al momento de planificar, se debe de tener en cuenta que los hidrantes son tomas de abastecimiento para un vehículo de emergencia. La instalación, emplazamiento y distancia entre estos, esta normada por códigos de aceptación internacional, y para los efectos de hidrantes, según norma UNE EN 23405, se debe de tomar en cuenta:

- Por lo menos 1 hidrante en edificios cuya altura de evacuación ascendente o descendente sea mayor a 28 metros, o para establecimientos de carácter general, cuya altura de evacuación ascendente o descendente sea mayor a 6 metros
- Cines, teatros, auditorios y discotecas, con superficies construidas comprendidas entre 500 y 1,000 metros cuadrados
- Recintos de uso deportivo con superficie comprendida entre 5,000 y 10,000 metros cuadrados
- Los de uso hospitalario o residencial con superficie construida comprendida entre 2,000 y 10,000 m cuadrados
- Edificios de uso administrativo, docente o de vivienda, con superficies construidas comprendidas entre 5,000 y 10,000 metros cuadrados
- Cualquier edificio o establecimiento de densidad elevada con superficie comprendida entre 2,000 y 10,000 metros cuadrados
- En todos los casos, se debe de contar con un hidrante más por cada 10,000 metros cuadrados de superficie, o su fracción adicional construida.

Los hidrantes pueden tener 2 fuentes de abastecimiento:

- Tanques de reserva especialmente diseñados para los efectos
- Red de distribución de agua

Debe de considerarse, dependiendo del tipo de proyecto a diseñar, la fuente de abastecimiento, así como la autonomía de los hidrantes contra incendios.

- La distancia entre hidrantes no debe de ser mayor a 200 metros
- El suministro de agua que abastecerá a los hidrantes debe tener la capacidad para permitir el funcionamiento simultáneo de 2 hidrantes durante un periodo de 2 horas, cada uno de ellos con un caudal mínimo de 1000 litros por minuto, con una presión mínima de 10 metros columna de agua.

Columnas Secas

Una columna seca es una línea de tubería que se deja propuesta en la planificación, y que será de uso exclusivo de los cuerpos de bomberos, al momento de asistir una emergencia por incendio.

Las columnas secas son líneas que siempre se mantendrán vacías, y tendrán tomas en cada nivel, dado que el propósito de estas es permitir el acople de un camión de bomberos a ellas, para la impulsión de agua a presión desde los equipos de bombeo externos.

El esquema de funcionamiento de una Columna Seca es el siguiente:

- El caudal de agua proviene de un hidrante, ya sea de red municipal, o de abastecimiento privado previamente planificado, hacia un camión bomba
- El camión bomba se conecta a la columna seca desde una toma exterior, e impulsa el agua a presión a través de la columna seca a diferentes niveles donde se necesite
- los cuerpos de socorro se conectan a las tomas de por nivel de la columna seca, para combatir las llamas

Las columnas secas en todos los casos deberán de posicionarse desde la planificación, en los ductos de gradas protegidos, y en cada descanso de gradas se posicionara una toma con un número de salidas variable, de acuerdo a estándares internacionales, el diámetro nominal mínimo a instalar en el cuerpo de la columna seca es de 80 milímetros, y las tomas de salida deben de ser 2 por nivel

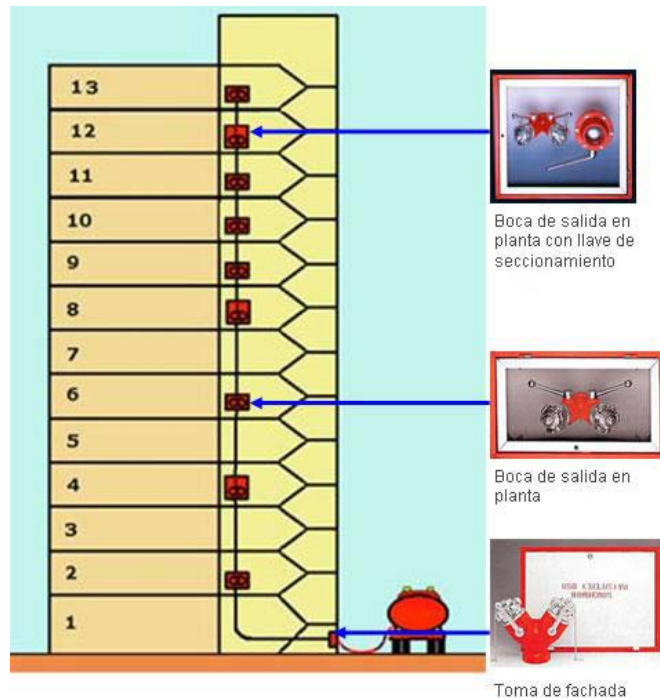


Ilustración 171, esquema de funcionamiento de un sistema de columna seca



Ilustración 172, toma de columna seca en fachada y acople a camión bomba

como

Mínimo, a una medida que sea fácilmente acoplable con todos los cuerpos de emergencia. En Guatemala, tanto el Benemérito Cuerpo de Bomberos Municipales, Como el Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios utilizan tomas de acople rápido de medidas



Ilustración 173, toma de columna seca por nivel, en descanso de gradas

El posicionamiento de la línea de tubería y de las tomas de columna seca en los ductos de gradas, es porque en todos los casos, las gradas de evacuación estarán construidas y protegidas de tal

manera que cumplan parámetros de resistencia al fuego, y que a la vez que cumplan con la función de permitir una evacuación segura, permitan el ingreso a los cuerpos de emergencia sin comprometer la integridad física del personal, y que a la vez permitan la maniobra de mangueras en un lugar seguro, sin acceso a las llamas.

Las bocas de incendio equipadas, muchas veces se posicionan en los pasillos, y aunque estén localizadas estratégicamente junto a una salida de emergencia, se debe de prever la situación de que todo el pasillo este comprometido por fuego o por humo, y que sea insegura o potencialmente mortal la manipulación de la BIE.

Criterios de instalación para columnas secas en proyectos arquitectónicos

De acuerdo a normas internacionales, NFPA 291 y UNE EN 23405, un sistema de columna seca debe de ser planificado cuando se tienen las siguientes condiciones:

- Todos los edificios (independientemente de su uso) en donde la altura de evacuación ascendente o descendente sea mayor a 24 metros
- Hospitales, donde la altura de evacuación sea mayor a 15 metros
- Edificios de parqueos, con más de 3 plantas en sótano, o más de 4 plantas por sobre el nivel de suelo
- En establecimientos industriales con alto riesgo de incendio, y cuya altura de evacuación sea mayor a 15 metros
- Se proveerá de una llave de sección que permita restringir el caudal de agua, cada 4 niveles
- La altura de instalación deberá de ser de 0.90 metros al eje de la brida de toma
- La distancia de la última toma de la columna seca, al punto de evacuación final no deberá ser mayor a 60 metros.

Extintores portátiles

Los extintores portátiles son aparatos de accionamiento manual que permiten proyectar y dirigir un agente extintor sobre el fuego, y cuyo peso o volumen en masa según estándares internacionales aceptados y normados, no excede 20 kilogramos (45 libras)

Se diferencian unos de otros en atención de una serie de características tales como:

- Agente extintor contenido
- Sistemas de funcionamiento
- Eficacia
- Tiempo de descarga
- Alcance



Ilustración 174, extintor portátil

Los extintores sobre ruedas, de acuerdo a norma NFPA 10 deben ser considerados para la protección de riesgos donde se deban de llenar los siguientes requisitos:

- Altos flujos de agente extintor
- Rango aumentado en el alcance del agente extintor
- Capacidad aumentada del agente extintor
- Áreas de alto riesgo
- Poco personal disponible

Los extintores, poseen diferentes tipos de agentes extintores contenidos, y en función de ello, se clasifican

internacionalmente de la siguiente manera:



Ilustración 175, extintor sobre ruedas

Fuegos clase A



Los extintores tipo A están clasificados como aptos para combatir incendios en los que están implicados materiales combustibles sólidos normales tales como madera, viruta, papel, goma y plásticos, que requieren los efectos del agua (enfriamiento) soluciones de agua, o los efectos envolventes de ciertos elementos químicos secos que retrasan la combustión



Fuegos Clase B

Incendios en los que están implicados líquidos combustibles o inflamables, gases inflamables, grasas y materiales similares en los que la extinción queda asegurada con mayor rapidez excluyendo el aire, el desprendimiento de vapores combustibles, o interrumpiendo la reacción en cadena de la combustión



Fuegos Clase C

Incendios en los que están involucrados equipos eléctricos activados donde, tomando en cuenta la seguridad del operador, es preciso utilizar agentes no conductores de electricidad, es decir, eléctricamente aislantes.



Fuegos Clase D

Incendios en los que están implicados ciertos metales combustibles como el magnesio, el titanio, el circonio, sodio, potasio, etc., que requieren un medio de extinción absorbente térmico, no reactivo a los metales en combustión



Fuegos Clase K

Son los originados por diversos medios de cocción aplicados a productos tales como grasas, aceites o mantecas comestibles.

Selección de extintores a dotar

En la planificación, se debe de hacer la recomendación del tipo de extintores portátiles a posicionar, de acuerdo al tipo de riesgo que se pueda dar en las instalaciones.

- Los extintores para protección de riesgo clase A, deben ser seleccionados por los agentes extintores que poseen, así: agua, anticongelantes, soda acida, espuma, espuma formadora de película acuosa, agente humectante, chorro cargado o químico seco multipropósito

- Los extintores para protección de riesgo Clase B, deben ser seleccionados entre los siguientes agentes extintores: dióxido de carbono, químico seco, espuma y espuma formadora de película acuosa
- Los extintores para protección de riesgo Clase C, deben ser seleccionados entre los siguientes agentes extintores: dióxido de carbono y químicos secos. Los extintores de dióxido de carbono equipados con cornetas de metal no son considerados seguros para utilizar en incendios en equipo eléctrico, energizado y por lo tanto no están clasificados para utilizarse en riesgos clase C
- Los extintores y agentes para protección de riesgos clase D, serán seleccionados de acuerdo a la presencia del metal combustible específico en el ambiente a proteger
- Para los fuegos Clase K se seleccionan entre los siguientes agentes extintores: polvo químico seco o agentes húmedos como las soluciones acuosas de acetato de potasio, carbonato de potasio o citrato de potasio

Criterios de distribución y posicionamiento de extintores

En condiciones de emergencia, el posicionamiento de extintores es vital, dado que se necesita que estén distribuidos de forma que sean accesibles en toda la superficie del área a proteger.

Puede lograrse una óptima colocación de los extintores por medio de un estudio físico el área que va a ser protegida. En general, debe de seleccionarse el lugar a posicionar, teniendo siempre en cuenta:

- Una distribución uniforme
- Proveer un fácil acceso
- Estén libres de bloqueos por almacenamiento de mercancías, por equipo, por mobiliario o por todos los factores enumerados
- Estén cerca de los caminos normales de recorridos
- Estén cerca de las puertas de entrada y salida
- Estén libres de un potencial daño físico
- Sean rápidamente visibles

NFPA 10 contiene algunos parámetros normados en cuanto a la instalación de extintores portátiles, los cuales al momento de la planificación deben de tomarse en cuenta, de la siguiente manera:

- Para equipos portátiles con peso que no exceda 45 libras, deben estar instalados de tal manera que la altura entre la parte superior del extintor y el suelo no sea mayor que 5 pies o 1.53 metros

- Para equipos extintores que tengan un peso bruto mayor de 45 libras, (exceptuando los extintores sobre ruedas) deberán ser instalados de tal manera que la altura entre la parte superior del extintor y el suelo no sea mayor que 3.5 pies o 1.07 metros
- En ningún caso de instalación el espacio entre la parte inferior del extintor y el suelo deberá ser menor a 4 pulgadas o 102 milímetros

Calculo de capacidad extintora

La cantidad de extintores a posicionar dentro de un proyecto de arquitectura no es un número arbitrario, porque obedece a parámetros que son variables. Por consiguiente, no existe una cantidad fija de extintores a dotar en un ambiente. Algunos reglamentos hacen referencia a un mínimo de pies cuadrados de área cubiertos por un extintor, pero este parámetro es demasiado inexacto, porque dentro de la misma área, puede depositarse o almacenarse determinado mobiliario o producto que puede elevar el poder calorífico a una misma configuración espacial.

Cuando no se dispone de los parámetros necesarios para poder calcular la capacidad extintora, la normativa NB 58002 establece que en estas condiciones, se debe de dotar de por lo menos un extintor por cada 280 metros cuadrados.

Para poder calcular la capacidad extintora, es necesario tener los siguientes datos:

- Carga combustible del ambiente a proteger, en megajoules
- Area del ambiente a proteger, en metros cuadrados

El cálculo de la carga combustible, se ha definido en el capítulo 4. El área del ambiente, se determinara a partir de los planos constructivos.

Para calcular la capacidad extintora, se seguirán los siguientes pasos:

Paso No. 1: calcular la carga combustible total del ambiente a proteger, el resultado debe estar expresado en megajoules (Carga Combustible, consultar capítulo 4, pagina 124)

Paso No. 2: Dividir la carga combustible en megajoules, dentro del área del ambiente en metros cuadrados, el resultado quedara expresado en dimensionales de “X” megajoules por metro cuadrado.

Paso No.3 la carga en Megajoules por metro cuadrado se igualara al poder calorífico en Megajoules de 1 Kg de madera.

La expresión para calcular la capacidad extintora a usarse por ambiente quedara de esta forma:

$$\text{capacidad extintora} = \frac{U * 1 \text{ kg}}{18.41 \text{ KJ}}$$

Donde

U = carga combustible por metro cuadrado (paso No.2)

18.41 = constante de comparación de poder calorífico de 1 kg de madera.

La capacidad extintora resultante, será un número adimensional, que expresará en unidades la necesidad extintora a dotar por cada ambiente a proteger. Ese valor, deberá de ser comparado contra las tablas de valores adimensionales ABC que se proporcionan, donde se expresa la capacidad extintora, en función de la masa o contenido de cada uno de los extintores que se vayan a especificar. Para obtener el número total de extintores, se debe de dividir la masa en kg que posee cada extintor según el fabricante, dentro del valor que corresponde en la columna de la tabla, y ese será el número final de extintores a ubicar dentro del recinto, calculado para determinada carga combustible.

Capacidad extintora en Unidades ABC	
Capacidad en Kg	Capacidad extintora
1	1ABC-10ABC
2.5	2ABC-10ABC
5	10ABC-60BC
10	20ABC-80BC
13	20ABC-80BC
50	30ABC-120BC
70	40A-160BC
100	40A-160BC

Tabla 12, capacidad extintora para polvos químicos secos ABC, tabla de elaboración propia, datos obtenidos de Norma Europea contra incendios NB58002

Los equipos extintores portátiles están normados, los cuales según estándar NFPA 10, para clasificarse como “portátil” no debe de exceder 20 Kg de peso. De acuerdo a esto, los equipos portátiles, según el agente extintor, contienen:

capacidad de equipos portátiles según agente extintor	
agente de extinción	capacidad en Kg
polvo ABC	4-8 kg
anhídrido Carbónico	3.5
Espuma	10
sustitutos halogenados	4

Tabla 13, capacidad de equipos portátiles según agente extintor, Tabla de elaboración propia, datos obtenidos de NFPA 10

capacidad extintora mínima para equipos sobre ruedas	
agente extintor	capacidad extintora
carga de espuma	2A- 20 A
carga de dióxido de carbono	5B
carga de polvo químico ABC	2A- 20 B

Tabla 14, capacidad mínima extintora para equipos sobre ruedas

Distancias de seguridad estandarizadas para equipos extintores portátiles

Sabiendo la capacidad extintora a proporcionar por cada ambiente protegido, lo siguiente es posicionar cada uno de los equipos extintores. Para ello, los estándares internacionales recomiendan los siguientes parámetros:

- En ambientes de Riesgo Bajo, distancia máxima entre extintores: 20 metros
- En ambientes de Riesgo Medio, distancia máxima entre extintores 15 metros
- En Ambientes de Riesgo Alto, distancia máxima entre extintores: 10 metros

En los casos en los que según la carga por fuego, se necesite saber la capacidad extintora que cubre determinada área en metros cuadrados, la norma uruguaya IT12, especifica los siguientes valores, asumidos también por NFPA

área máxima protegida por capacidad extintora, en metros ²			
clasificación extintora	ocupación de riesgo leve	ocupación de riesgo moderado	ocupación de riesgo alto
1A	0	0	0
2A	557	279	0
3A	836	418	0
4A	1045	557	372
6A	1045	836	557
10A	1045	1045	929
30A	1045	1045	1045
40A	1045	1045	1045

Tabla 15, áreas máximas de protección por capacidad extintora de equipos portátiles de acuerdo al agente extintor, Tabla de elaboración propia, Datos obtenidos de NFPA 10

Sistemas fijos de supresión, definiciones, parámetros y criterios

sistemas fijos de supresión

Los sistemas fijos de extinción tienen como finalidad el control y la extinción de un incendio mediante la descarga automática en el área protegida de un producto extintor, sin intervención humana. Está compuesto por de las siguientes partes:

- A. **Almacenamiento del agente extintor**, el cual es el receptáculo o depósito que contiene el agente extintor. Como idea más generalizada, debe tenerse en cuenta que el agente extintor necesita de una energía para ser impulsado desde su almacenaje hasta el riesgo (gas presurizado, gravedad, bomba de agua, etc.) en caso de necesitar otro agente impulsor, puede estar siempre presurizado con el gas y el agente juntos, o bien puede contener el gas presurizado en depósito aparte, el cual se introduce en el momento necesario.
- B. **Dispositivo de disparo**, el cual es el elemento que libera al agente extintor de su almacenaje. Este elemento es el que define a un sistema fijo como manual, si hay que activarlo por medios humanos, o como automático, si se le puede activar eléctrica, neumática o mecánicamente por medios automáticos de detección sin intervención humana.
- C. **Líneas de distribución**, son las conducciones a través de las cuales el agente extintor procedente del depósito de almacenamiento es suministrado para ser descargado en el recinto correspondiente. Su dimensión siempre ha de calcularse hidráulicamente para que el agente extintor fluya en condiciones aceptables de presión y caudal.
- D. **Boquillas de descarga**, son los elementos conectados directamente a la red que, en forma de chorro, ducha o pulverización, dirigen la descarga del agente extintor sobre el riesgo.

A la hora de escoger un sistema de protección contra incendios es preciso que se tenga una idea clara de

- que es lo que debe de protegerse,
- de que se le quiere proteger,
- y como se va a efectuar esa protección

Teniendo en claro esto, se debe de tomar en cuenta también los siguientes parámetros al momento de escoger el tipo de sistema a proponer:

- caracterización del riesgo
- criterios de diseño
- consideraciones para su emplazamiento
- consideraciones para su funcionamiento
- reconocer las limitaciones del sistema
- eficacia e idoneidad del sistema elegido

- el tipo de agente a utilizar
- criterios de protección
- selección y emplazamiento por sector a proteger

Agentes extintores para sistemas de supresión y extinción fijos

Los sistemas de supresión fijos, dependen de un continuo abastecimiento del agente extintor a utilizar. En la actualidad, se utilizan los siguientes agentes extintores:

- Agua
- Espumas
- Dióxido de carbono
- Gases halogenados limpios
- Polvos químicos secos

Cada uno de estos agentes, tiene aplicaciones distintas en la planificación del sistema contra incendios, debido a que cada uno de ellos posee diferentes características que los hacen ideales para determinados casos de aplicaciones.

Instalaciones de extinción y supresión a base de agua, definiciones, parámetros y criterios

El agua bajo presión es un agente de extinción líquido ampliamente usado. Es utilizada como agente de supresión, debido a que ofrece las siguientes características:

- Gran capacidad de absorber calor
- Disponibilidad casi en todas partes
- Economía
- Fácil transporte y almacenajes
- Es reutilizable
- Bajo nivel de reactividad
- Bajo nivel de corrosividad
- No tiene fecha de vencimiento o fecha de caducidad
- No pierde su capacidad extintora con el tiempo
- Cualquier tipo de agua funciona
- Se logra un gran alcance o cobertura solo aumentando la presión

El agua, al ser usada como agente de extinción, funciona por medio de los siguientes mecanismos de supresión:

- Por enfriamiento superficial
- Por acción sofocadora o bloqueadora del oxígeno
- Por emulsificación
- Por dilución del combustible
- Por apantallamiento de la radiación



Ilustración 176, mecanismos de supresión de incendio mediante los cuales opera un sistema de supresión por agua. Fuente: red proteger, autor: Ing. Néstor Adolfo Botta

Por Enfriamiento Superficial

Cuando el agua entra en contacto con el material combustionado, absorbe calor, enfriándolo. La capacidad del agua para absorber calor llega al máximo cuando se convierte en vapor de agua. Debido a esto, es que los sistemas de neblinas de agua son los más eficientes.

Por acción sofocadora o bloqueadora de Oxígeno

Se produce cuando el agua se convierte el vapor, aumentando considerablemente su volumen. Al aumentar el volumen, el vapor de agua desplaza al aire que actúa sobre la combustión.

Por Emulsificación

En el proceso de emulsificación, cuando el agua en aspersión o en neblina entra en contacto con el combustible, rompe la cadena de ignición por medio de impregnarse en el material combustible en forma de pequeñas gotas, impidiendo la combustibilidad del material. Dependiendo de la viscosidad, el efecto emulsificante puede llegar a tardar lo suficiente para detener el proceso de ignición, incluso cuando la aplicación de agua a cesado.

Por dilución del combustible

Este tipo de extinción tiene lugar cuando se adiciona agua a un combustible que es hidrosoluble, el cual tiende a reducir su concentración o su poder combustible hasta que no tiene capacidad de ignición.

Por apantallamiento de la radiación

El vapor de agua puede absorber importantes cantidades de radiaciones a gran distancia de grandes fuegos. Las gotas de agua absorben casi todas las radiaciones infrarrojas incidentes, las nieblas o pulverizaciones de agua son atenuadoras eficaces de las radiaciones. El agua es transparente en estado líquido, pero en estado gaseoso se vuelve opaca para la mayor longitud de ondas infrarrojas, teniendo un efecto de bloqueo de la radiación de calor.

Componentes de un sistema de extinción por Agua

Las partes que integran un sistema de extinción por agua son las siguientes:

- Detectores, pueden ser de humo, de calor, de llama, termovelocimétricos, ionizados
- Tanques de abastecimiento, que serán los que permitirán la autonomía de operación al sistema durante determinado periodo de tiempo
- Sistema de impulsión o bombeo, que es el sistema que provee la presión dentro de las líneas de conducción de agua

- Líneas de conducción, que son las tuberías que conducirán el agua por todo el circuito que se tenga planificado instalar
- Pulverizadores, rociadores o Sprinklers, que son los accesorios encargados de dosificar el agua en el sector de incendio o donde sea necesario.

Sistema de Detección

Los sistemas de detección, pueden ser automáticos o manuales, dependiendo de la velocidad de reacción que se necesite, el tipo de supervisión que se tenga (temporal o permanente), la clase de materiales potencialmente combustibles que existan.

- Los principales tipos de sistemas de detección son los siguientes: Detector de gases o iónicos
- Detectores de humo visible
- Detectores de temperatura, los cuales pueden ser fijos, o termovelocimétrico
- Detectores de llama, los cuales pueden ser ultravioleta o infrarroja

En cualquiera de sus variantes, serán elegidos de acuerdo a las necesidades del proyecto que se desea proteger.

Calculo de abastecimiento mínimo de agua para sistema de supresión

Los tanques de abastecimiento para agua de sistemas de incendio, son los encargados de mantener la reserva de agua correspondiente que ha de permitir el funcionamiento y la autonomía del sistema durante determinado periodo de tiempo.

Un caudal comúnmente aceptado, para un predimensionamiento rápido del volumen de un tanque de reserva para incendio se ha estimado a partir de un caudal mínimo de 10 litros por minuto por metro cuadrado de área construida del área a proteger. Este método rápido proporciona una herramienta para estimar el posible tamaño de un tanque de agua de reserva para incendio.

El cálculo exacto de un tanque de agua de reserva, responde a una formula determinada en NFPA 1142, de la siguiente manera (transcrita como copia fiel al español de la versión oficial en ingles):

$$AM = \frac{Va \text{ total}}{Cro} * Ncc * Er$$

Donde

AM = abastecimiento mínimo de agua, en litros

Va total = volumen del ambiente total, en metros cúbicos

Cro = Coeficiente de Riesgo de Ocupación,

Ncc = numero de clasificación de la construcción

E_r = Riesgo de exposición.

Definición de parámetros de cálculo

El uso de la fórmula anteriormente citada, es sencillo, pero es absolutamente necesario saber a qué se refiere cada parámetro, y como cuantificar cada parámetro.

Todos y cada uno de los parámetros a continuación expuestos, son transcripciones de la versión en inglés de *ENGINEERING STANDARD FOR CLASSIFICATION OF FIRES AND FIRE HAZARD PROPERTIES* y *NFPA 220*, definidos de la manera siguiente:

Volumen total del ambiente, (o del área a proteger) se obtendrá a partir de los planos y secciones, para tener datos exactos en cuanto a dimensiones en planta, y alturas en sección.

$$\text{Volumen} = \text{area} * \text{altura}$$

Coeficientes de Riesgo de ocupación (**Cro**)

El coeficiente de riesgo de ocupación (Occupancy Hazard Number, OHN, de sus siglas en inglés, según NFPA 1142) es una serie de números del 3 al 7, que son factores matemática y estadísticamente calculados para ayudar a determinar el abastecimiento mínimo de agua, y para efectos de cálculo, se definen de la siguiente manera:

Coeficiente de riesgo de ocupación 3

Las instalaciones contenidas en el coeficiente de ocupación 3 son consideradas extremadamente riesgosas, lugares donde la cantidad y el contenido de elementos combustibles es bastante alto. Los incendios en estas instalaciones se desarrollan extremadamente rápido y tienen muy altas tasas de liberación de calor.

La clasificación de coeficiente de riesgo de ocupación 3, abarca:

- Hangares para aeronaves
- Molinos (para harina, trigos, el polvo suspendido en el ambiente es considerado extremadamente inflamable)
- Plantas de procesamiento de químicos
- Plantas de procesamiento de petroquímicos
- Almacenamiento de explosivos
- Terminales de trasiego de hidrocarburos
- Elevadores de grano, así como sus respectivas bodegas
- Almacenes de madera
- Estaciones de gas comprimido

- Refinerías de petróleo
- Refinerías de gas licuado
- Plantas de manufactura y almacenamiento de plástico
- Plataformas productoras de petróleo crudo
- Plataformas extractoras de petróleo crudo
- Plantas transformadoras de solventes
- Bodegas de almacenamiento de barnices y pinturas

Para cada una de las construcciones contenidas bajo esta clasificación, el valor adimensional de Cro será 0.0224

Coefficiente de riesgo de ocupación 4

Las instalaciones contenidas en el coeficiente de ocupación 4 son consideradas riesgosas, lugares donde la cantidad y el contenido de elementos combustibles es alta. Los incendios en estas instalaciones se desarrollan rápido y tienen altas tasas de liberación de calor.

La clasificación de coeficiente de riesgo de ocupación 4, abarca:

- Tiendas por departamentos
- Salones de exhibiciones, auditoriums y teatros
- Tiendas de comida (sin procesamiento)
- Centros comerciales
- Muelles de embarque y marinas
- Garajes de reparación
- Almacenamiento de productos de caucho o de goma
- Bodegas de papel, muebles, pinturas, de tiendas de departamentos, almacenaje en general
- Tiendas de accesorios para trabajar madera (ferreterías y aserraderos)

Para cada una de las construcciones contenidas bajo esta clasificación, el valor adimensional de Cro será 0.0299

Coefficiente de riesgo de ocupación 5

Las instalaciones contenidas en esta clasificación están consideradas como instalaciones de riesgo moderado, donde la cantidad y el contenido de elementos combustibles son moderados, y el almacenamiento en bultos o en pilas de productos no excede 3.7 metros de altura. Los incendios en este tipo de instalaciones se desarrollan moderadamente rápido, y tienen una moderada tasa de liberación de calor.

La clasificación de coeficiente de riesgo de ocupación 5, abarca:

- Librerías y bibliotecas, con grandes áreas de almacenamiento de fondos
- Ventas de maquinaria

- Ventas de productos para trabajos en metal (ventas de perfiles)
- Farmacias
- Centros de impresión y tiendas de artículos publicitarios
- Restaurantes
- Edificios desocupados

Para cada una de las construcciones contenidas bajo esta clasificación, el valor adimensional de Cro será 0.0373

Coefficiente de riesgo de ocupación 6

Las instalaciones contenidas en esta clasificación están consideradas instalaciones de bajo riesgo, donde la cantidad y el contenido de combustibles es moderado y el almacenaje de productos en bulto o en pilas no excede 2.44 metros. Los incendios en este tipo de instalaciones se desarrollan de una forma moderada, y tienen moderada tasa de liberación de calor.

La clasificación de coeficiente de riesgo de ocupación 6, abarca:

- Edificios de parqueos
- Panaderías
- Barberías, Spas y salones de belleza
- Cuartos de calderas

Para cada una de las construcciones contenidas bajo esta clasificación, el valor adimensional de Cro será 0.0448

Coefficiente de riesgo de ocupación 7

Las instalaciones contenidas en esta clasificación, se consideran de bajo riesgo, donde la cantidad y el contenido de combustibles son bajos. Los incendios en este tipo de instalaciones se desarrollan relativamente lento, y las tasas de liberación de calor son relativamente bajas.

La clasificación de coeficiente de riesgo de ocupación 7, abarca:

- Edificios de apartamentos
- Colegios y universidades
- Áreas de dormitorios
- Estaciones de bomberos
- Hoteles, moteles y casas de huéspedes
- Librerías y bibliotecas, con pequeñas áreas de almacenamiento de fondos
- Edificios de oficinas, incluyendo áreas de procesamiento de datos
- Guarderías
- Escuelas

Para cada una de las construcciones contenidas bajo esta clasificación, el valor adimensional de Cro será 0.0523

Numero de clasificación de la construcción (Ncc)

El número de clasificación de construcción es producto de la supervisión de las técnicas constructivas y de los materiales utilizados en las construcciones. Las series de clasificación de construcción están clasificadas del I al V, y cada una de estas clasificaciones aumenta en 0.25 el valor adimensional de número de clasificación Ncc.

Clasificación I, construcciones resistentes al fuego

Estas construcciones son edificaciones constituidas por elementos no combustibles, tales como

- Concreto reforzado
- Mampostería de concreto
- Mampostería de arcilla
- Piedra
- Materiales considerados a prueba de fuego

A este tipo de construcciones les corresponde un valor de Ncc de 0.5

Clasificación II, construcciones no combustibles

Estas construcciones son edificaciones constituidas por elementos no combustibles, incluyendo sus muros, pisos y techos, de materiales no combustibles, así como edificaciones de acero estructural.

A este tipo de construcciones les corresponde un valor de Ncc de 0.75

Clasificación III, construcciones ordinarias

Esta clasificación corresponde a las estructuras que tengan muros interiores o exteriores de mampostería o de materiales no combustibles, en las que cualquiera de sus miembros estructurales o no estructurales sean parcial o totalmente de madera o de cualquier otro tipo de material combustible, tales como tableros contrachapados, tabiques de PVC, muros divisorios de mdf, o materiales plásticos

A este tipo de construcciones les corresponde un valor de Ncc de 1.0

Clasificación IV, Estructuras de vigas de madera pesadas

En esta clasificación se encuentran las estructuras de madera constituidas por vigas de madera de gran coeficiente de masividad, donde las secciones transversales de las vigas de madera sean de gran volumen.

A este tipo de construcciones les corresponde un valor de Ncc de 1.25

Clasificación V, construcciones con marcos de madera

En esta clasificación se encuentra cualquier estructura en la que los miembros estructurales sean parcial o totalmente de madera, o de otros materiales combustibles, y que no pueda ser clasificada como una construcción ordinaria. Comúnmente este tipo de construcciones contienen más material combustible que las ordinarias.

A este tipo de construcciones, les corresponde un valor de N_{cc} de 1.5

Riesgo de Exposición (E_r)

El parámetro de riesgo de exposición, se refiere a las construcciones cercanas que estén en el radio de 50 a 100 pies (15 a 30 metros) o menos cercanas al incendio. Este factor de exposición al riesgo, su valor inicial, siempre será 1.5 constante, y aumenta en 0.5 conforme el número de edificaciones rodee el proyecto a proteger, así:

- 1 edificio en riesgo de exposición : 1.5
- 2 edificios en riesgo de exposición : 2.0
- 3 edificios en riesgo de exposición : 2.5
- 4 edificios en riesgo de exposición : 3.0

De manera que por cada edificación colindante con riesgo de exposición, el factor aumentara en 0.5, hasta totalizar el número de edificaciones colindantes con riesgo por exposición al fuego.

Factor de reserva

Luego de calcular el volumen de abastecimiento mínimo de agua, la norma NFPA 1403, establece que se debe de incrementar el volumen en 50 % como factor de reserva o margen de seguridad, por lo cual, habiendo obtenido el volumen de abastecimiento mínimo, se debe de aplicar un incremento de 50 %

Sistemas de rociadores para incendios (sprinklers)

Los sistemas de rociadores son instalaciones automáticas de extinción de incendios mediante una red de tuberías de agua a presión y siguiendo una determinada distribución en las áreas a proteger. Los rociadores están conectados a dicha red de tuberías los cuales detectan el fuego por temperatura, avisan controlan y extinguen con determinados tipos de rociadores a los incendios que han comenzado.



Ilustración 177, rociador

Los sistemas de rociadores o Sprinklers, se clasifican por el tipo de dispositivo final de aspersión que utilizan, siendo:

- Sistemas de rociadores de tipo abierto
- Sistemas de rociadores de tipo cerrado

Los sistemas de tipo abierto se emplean en sistemas de rociadores del tipo inundación, y dentro de ellos los de uso más común son los pulverizadores de media o alta velocidad.

Los de tipo cerrado son los denominados rociadores automáticos, el orificio de descarga está cerrado por un disco que soporta el empuje de la presión del agua por medio de un mecanismo, que solamente puede ser liberado cuando es activado por una temperatura predeterminada.

Los rociadores, dependiendo de la forma de descarga de agua, y de la posición de su montaje pueden ser:

Rociadores Montantes, este tipo de rociadores han sido diseñados para ser instalados con el deflector de agua hacia arriba, cuando los requerimientos de diseño así lo ameriten.



Rociadores Colgantes, diseñados para ser montados con el deflector de agua hacia abajo, cuando las condiciones de diseño así lo especifiquen o lo requieran.



Rociadores Convencionales, estos están diseñados para producir un tipo de descarga esférico hacia abajo, pero parte del agua sube para mojar el techo, algunos de estos también están diseñados para producir



una descarga tipo semiesférico por debajo del plano del deflector, pudiendo lanzar o no una porción de agua hacia arriba para mojar el techo

Rociadores de pared, estos están diseñados para ser situados a lo largo de una pared u otro obstáculo vertical y próximo al techo. Su deflector tiene forma especial para proyectar el agua en forma de un cuarto de esfera hacia un lado, y una pequeña porción hacia

la pared por detrás del rociador.



Rociadores Colgantes secos, diseñados para utilizarse en posición colgante en casos especiales de protección con posibilidad de heladas y congelamiento de sistemas de agua con tubería húmeda



Rociador de gran velocidad de respuesta, los cuales son de alto nivel de sensibilidad térmica lo que les permite entrar en funcionamiento en los primeros momentos del desarrollo del fuego.



Rociadores de gota gorda, son capaces de efectuar un rocío de gotas de agua de características de mayor tamaño a las normales, y esta listado por su capacidad de control de incendios en riesgos específicos de gran intensidad



Rociadores abiertos, son los que se utilizan en sistemas en los que se han suprimido los elementos de apertura termosensibles.



Como resultado del incendio la temperatura de los alrededores de los rociadores se incrementa por encima de la capacidad de resistencia del mismo, el rociador se abre, y el agua se descarga chocando en el deflector, y cayendo en forma de lluvia solo en la zona

del incendio. Al mismo tiempo, el sistema de alarma avisa de su funcionamiento. La apertura de cada uno de los rociadores es individual e independiente, y se produce al alcanzar la temperatura para la cual este está diseñado.

El dispositivo mediante el cual funcionan los rociadores puede ser:

- Ampollas de vidrio, que se rompen por dilatación del fluido contenido en su interior
- Puntos de soldadura que se funden con la temperatura

El fusible de apertura está calibrado de forma que la apertura del sprinkler se efectúe entre un predeterminado margen de aperturas. Dichos márgenes están normados en la mayoría de los países estando comprendidas normalmente entre 57 y 260 grados centígrados.

Calculo de área de protección por Rociador

De acuerdo a Normativas UNE 23-590 y NFPA 13, la máxima área de protección de un rociador automático, cualquiera que sea la naturaleza de este, no debe de superar 400 pies cuadrados, o 36 metros cuadrados⁴² en cualquier condición de diseño planificada.

De acuerdo a parámetros NFPA 13, el área de protección por cada rociador (A_s) puede calcularse de la siguiente manera:

A lo largo de ramales:

Proponer la distancia entre rociadores, (o la distancia a la pared u obstrucción en el caso del último rociador del ramal) corriente arriba y corriente abajo. Elegir el valor mayor entre: 2 veces la distancia a la pared o 2 veces la distancia al próximo rociador. Esta dimensión se llamara S

Entre ramales:

Determinar la distancia perpendicular al rociador del ramal adyacente (o a la pared u obstrucción en el caso del último ramal) a ambos lados del ramal sobre el cual se ubique el rociador en cuestión. Elegir el mayor valor entre: 2 veces la distancia hasta la pared u obstrucción o la distancia al próximo rociador. Esta distancia se llamara L

El área de protección de cobertura del rociador se establece de la siguiente manera:

$$A_s = S * L$$

Donde,

A_s = área de protección por sprinkler

S = acción a lo largo de ramales

L = acción entre ramales

⁴² National Fire Protection Association, NFPA 13, pagina 13-32, seccion 4-5.2.2

De acuerdo a Normativa UNE EN 23590, UNE EN 12845 y NFPA 13, la distancia máxima entre rociadores, está definida de la siguiente manera:

Distancias máximas entre rociadores de sistemas de incendio		
riesgo de ocupación	área por rociador	distancia máxima entre rociadores
riesgo ligero (oficinas, edificios educativos, religiosos, institucionales, hospitales, restaurantes, clubes, teatros, salas de cine)	12 a 18.5 metros ²	4.6 metros
riesgo ordinario (molinos, plantas manufactureras, tiendas de maquinaria, garajes de reparación, oficinas postales, panaderías, aserraderos, parqueos)	12 metros ²	4.6 metros
riesgo extra (plantas de procesamiento de plásticos, envasado y procesado de químicos, plantas de metalurgia, plantas de impresión, talleres de pintura y barnizado)	8 metros ²	3.6 metros

Criterio para posicionamiento de rociadores

Existen 2 criterios principales para la localización de los rociadores en un sistema contra incendios.

Primero, los rociadores deben de ser localizados de tal manera que se encuentren entre la capa de gases calientes que se desarrolla cerca del techo durante el incendio, debido a que la activación de este sistema ocurre cuando el rociador es accionado por determinada temperatura.

Segundo, los rociadores deben ser localizados de tal manera que el agua de descarga no sea interrumpida o afectada por miembros estructurales de la construcción tales como Vigas, columnas, entramados, cielos falsos, cenefas y demás elementos contenidos en la construcción.

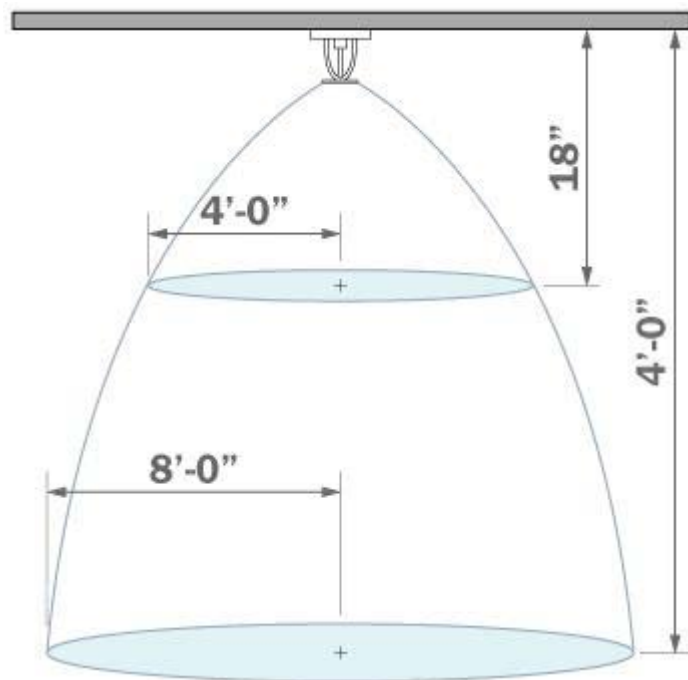


Ilustración 178, modo y área de acción de un rociador, según parámetros NFPA 13

Es necesario comprender que un rociador de incendio tiene determinado radio de cobertura para que el agua tenga su máxima efectividad. Debido a esto es necesario

comprender que el posicionamiento de los rociadores en la planificación debe de evitar que la estructura interfiera con la brisa de agua aplicada. Generalmente la mínima distancia aceptada entre rociadores es de 6 pies (aproximadamente 1.80 metros) y las distancias desde instalación desde el techo aceptan como mínimo 1 pulgada, y como máximo 12 pulgadas⁴³

Caudal de rociadores

El cálculo de caudal de rociadores debe de efectuarse, porque será necesario como paso previo a calcular la potencia del sistema de bombeo que alimentara a los rociadores. El caudal de los rociadores se calcula de la siguiente manera:

$$Q = K\sqrt{P}$$

Donde

Q= Caudal, en Litros por Minuto

K = Factor de descarga por diámetro

P= presión en Bar (1 psi = 0.068947 Bar)

El valor del factor de descarga por diámetro K, esta dado de la siguiente manera:

Valores de factor K en función de dimensión	
Dimensión Nominal	Factor K
10 mm	57 ± 5%
15 mm	80 ± 5%
20 mm	115 ± 5%

Donde K es el diámetro de salida de los rociadores instalados.

⁴³ National Fire Protection Association, NFPA 13

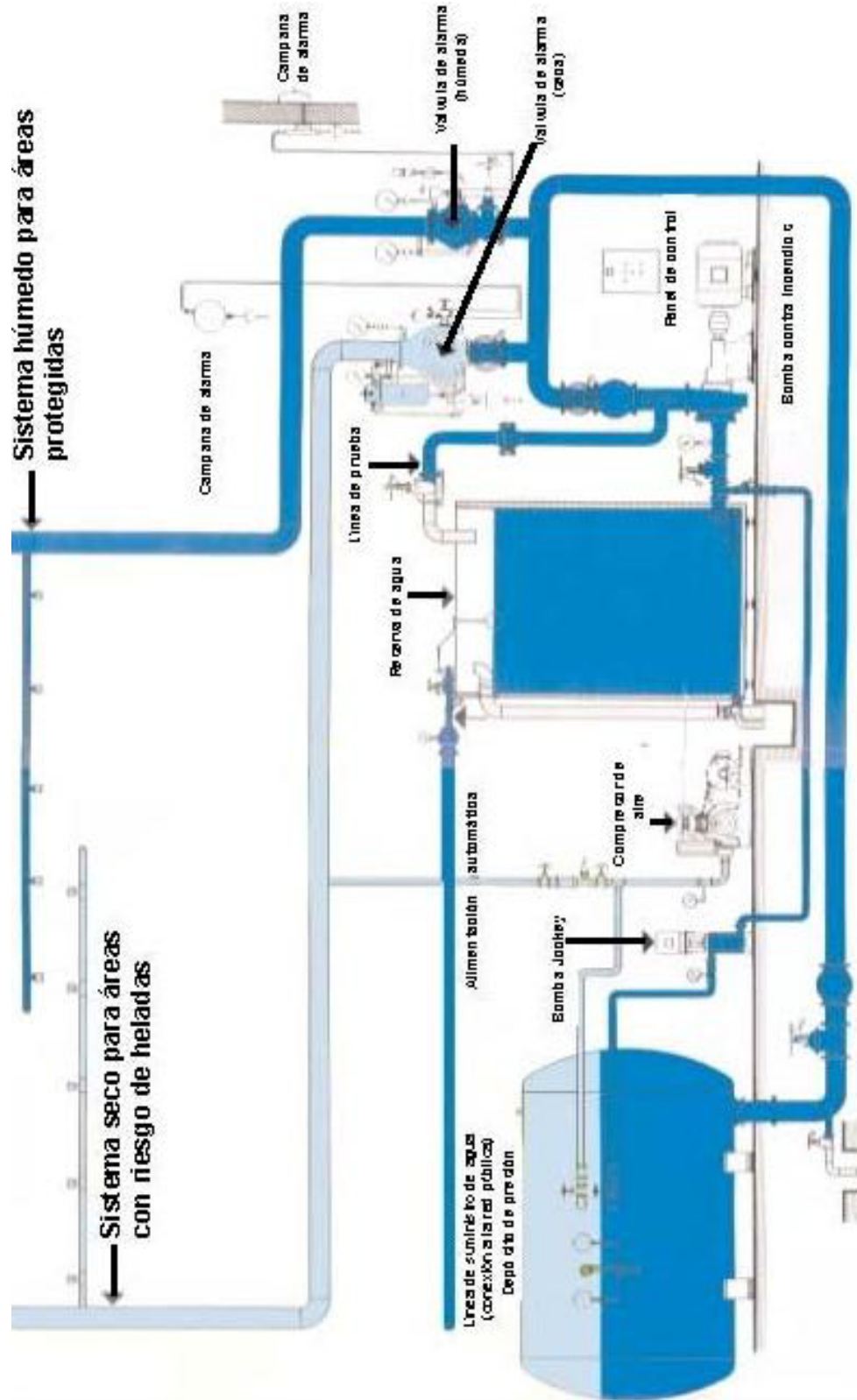


Ilustración 179, esquema de funcionamiento de un sistema de rociadores

Sistemas de nebulización de agua en alta presión

Los sistemas de agua nebulizada de alta presión son sistemas de control y supresión de incendios que utilizan agua dividida en gotas de tamaño micrométrico, usualmente produciendo enfriamiento del fuego, desplazamiento del oxígeno por parte del vapor generado y la atenuación del calor radiante.

Este tipo de sistemas están normados por NFPA 750 y EN14972, donde se establecen criterios mínimos para sistemas de agua nebulizada y la instalación de los mismos.

Los sistemas de agua nebulizada, son ideales para áreas en las que un sistema de rociadores o de inundación causaría el

mismo daño que el fuego, por ejemplo, museos, archivos, bibliotecas, cuartos de cómputo y de servidores, y cualquier edificación donde la naturaleza de lo que se encuentra almacenado sea altamente delicada y sensible al efecto del agua.

Este tipo de equipos, se caracteriza por la aspersión de una niebla de agua, que carga la atmósfera del incendio con

humedad, la aspersión es tan fina, que aumenta el volumen del agua en 1 a 1700 veces, su equivalente en vapor. Este tipo de sistemas han dado resultado incluso al ser utilizados en refrigeración de incendios donde existen componentes eléctricos de alto voltaje, o en fuegos en cocinas industriales, donde los sistemas con agua convencionales a base de rociadores son ineficaces.

La eficacia de este tipo de sistemas se basa en la acción conjunta de 3 acciones diferentes, de la siguiente manera:

- Enfriamiento por absorción del calor, evaporación
- Atenuación de la transmisión del calor, radiación
- Desplazamiento del oxígeno en el foco del fuego, dilución



Ilustración 180, difusor de un sistema de agua nebulizada



Ilustración 181, ensayo de sistema de agua nebulizada en alta presión



Ilustración 182, aplicación de agua nebulizada en prevención de fuegos eléctricos en bancos de transformadores

De acuerdo a NFPA 750, para este tipo de sistemas, todos y cada uno de los elementos a utilizar, deberán soportar como mínimo una presión nominal de 175 PSI y cumplir con normativa ASTM A269 y ASTM A268, las líneas de tuberías en este tipo de sistemas deben de ser tuberías de cobre o de acero inoxidable, soldadas.



Ilustración 183, sistema de agua nebulizada en cocina industrial

Componentes de un sistema de agua nebulizada

Un sistema de agua nebulizada está compuesto de los siguientes elementos:

- Equipo de bombeo, de motor diesel o de motor eléctrico
- Batería de agente comprimido, conformada por botella de agua comprimida a alta presión, y 3 o 4 botellas de aire comprimido, a una presión de trabajo de 40 bares (580 PSI)
- Línea de tuberías en Acero Inoxidable o en cobre, que cumplan con regulación ASTM A269 y ASTM A268
- Boquillas Difusoras para el sistema de nebulización de agua. El caudal de las boquillas tiene un rango de operación de 0.006 litros por minuto hasta 36 litros por minuto a una presión constante de 120 bares

Batería de agente comprimido

En un sistema de nebulización de agua en alta presión, existe una batería de botellas de agente comprimido, ya sea aire comprimido en alta presión, o una mezcla de aire y agua en alta presión contenidos en un mismo envase, o puede ser un sistema de mezcla donde cada uno de los elementos este envasado por separado, y al momento de activarse el sistema, por medio de un múltiple de escape se produce la mezcla que luego será presurizada y enviada al ambiente por medio de las líneas y el sistema de bombeo.



Ilustración 184, batería de botellas de aire comprimido y de mezcla de aire y agua comprimidos a alta presión

Difusores Cerrados

Los difusores abiertos son los adecuados para utilizarse en sistemas de tubería húmeda. Al igual que los rociadores, poseen un fusible o dispositivo de disparo que permite que el flujo de agua nebulizada pueda salir en función de la temperatura alcanzada.



Difusores Abiertos

Los difusores abiertos se instalan en sistemas de tuberías secas, donde es necesaria la instalación de un sistema que detecte el fuego y controle el arranque de las electrobombas o el disparo de las botellas de aire comprimido, según sea el sistema instalado. En los difusores abiertos la descarga se produce de forma directa cuando el agua llega a los mismos.

Los criterios de posicionamiento para los difusores, así como la distancia entre cada uno de estos elementos, son similares a los de un sistema de rociadores.



Tuberías para sistemas fijos de supresión

Las tuberías para los sistemas fijos de supresión son las líneas de conducción de agua hacia cada uno de los elementos que compongan el sistema de descarga. Se debe de considerar que las tuberías estarán expuestas a determinada temperatura por fuego, en función del tiempo que tome suprimir el incendio.



Ilustración 185, línea de tuberías para un sistema fijo de supresión con rociadores

Las tuberías siempre y en todo momento, deben de tener el caudal disponible de agua para abastecer al sistema, y encontrarse totalmente libres de obstrucciones y de fugas, así como de corrosión. Periódicamente, estos sistemas deben de estar sujetos a programas de pruebas y de mantenimiento, para garantizar de esta manera que se encuentren en óptimas condiciones en todo momento.

La corrosión es un factor que puede controlarse por medio de la adición de algunos aditivos al sistema de agua, o empleando tuberías que sean de materiales inoxidables, con el inconveniente de que aumenta considerablemente el precio de las instalaciones. Las bombas que funcionan para este tipo de sistemas, comúnmente vienen con componentes resistentes a la corrosión.

Existen 2 factores que son determinantes para un sistema de tuberías, las altas y las bajas temperaturas. Para evitar los posibles inconvenientes derivados de este tipo de

circunstancias que por lo regular están fuera del control humano, se puede recurrir a 2 tipos de instalaciones de las tuberías en el sistema contra incendios

- Tuberías mojadas
- Tuberías secas

Instalaciones de Tubería Mojada

Este tipo de instalaciones de tubería, permanecen todo el tiempo llenas de agua presurizada, a la espera de que el sistema sea activado. La normativa UNE EN 12845 recomienda el uso de este sistema toda vez que sea adecuado a las condiciones. El uso de este sistema de tuberías está sujeto a las condiciones de clima, no es recomendable tener sistemas de tubería mojada donde existan riesgos de bajas temperaturas, ni donde la temperatura de las tuberías alcance los 80°C.

En este tipo de sistemas, los rociadores pueden ser colocados en cualquier posición, dado que existe la garantía de que el agua no cambiara de estado físico y no obstruirá la salida de la boquilla

del sistema de rocío

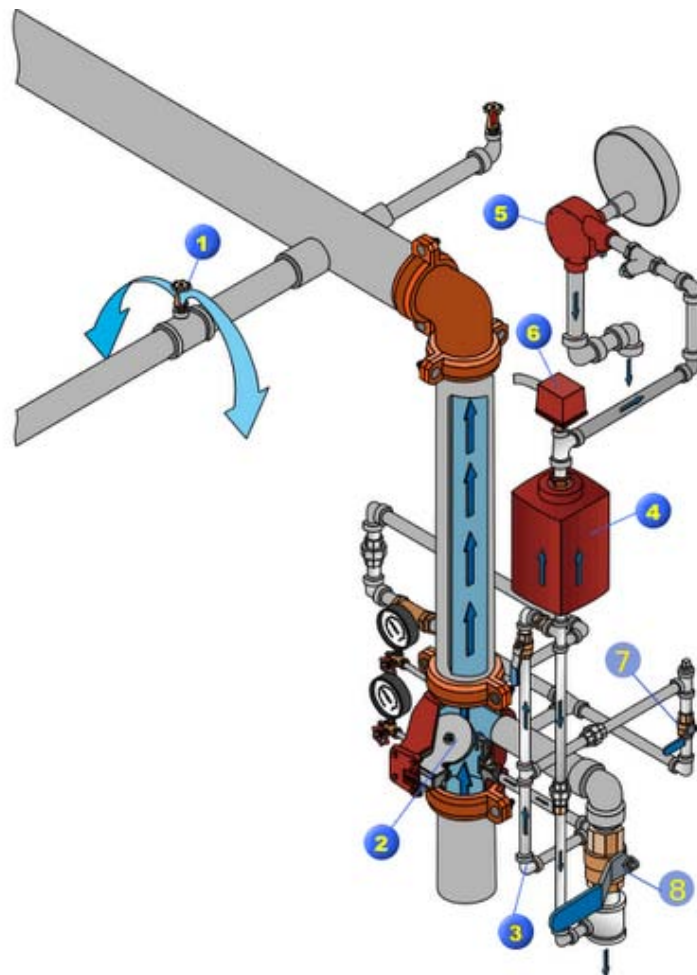


Ilustración 186, sistema de tubería mojada

Cuando el rociador (1) se abre, el agua que fluye levanta la clapeta de la válvula de alarma (2) y pasa a través del circuito de alarma (3) a la cámara de retardo (4). Cuando la válvula de retardo está llena, el agua fluye hacia la alarma hidrodinámica, o presostato (6) que activa una señal de alarma.

Instalaciones de tubería Seca

Este tipo de instalaciones de tubería, permanecen todo el tiempo vacías, llenas únicamente por un volumen de aire comprimido, o de gas presurizado, y se utiliza este tipo de sistema cuando las temperaturas a las cuales estará expuesta la línea de tubería serán demasiado bajas y corran riesgo de congelación. Para este tipo de sistemas, se recomienda la instalación de rociadores montantes, para evitar que cualquier condensación forme una acumulación de agua en la salida de un rociador y pueda congelarse, obstruyendo de esta manera la salida del rocío de agua.

Cuando un rociador se activa (1), la pérdida de presión en el sistema permite la apertura de la clapeta (2) de la válvula, llenando el sistema con agua. En sistemas grandes se puede incorporar un acelerador (3) para aumentar la presión del agua.

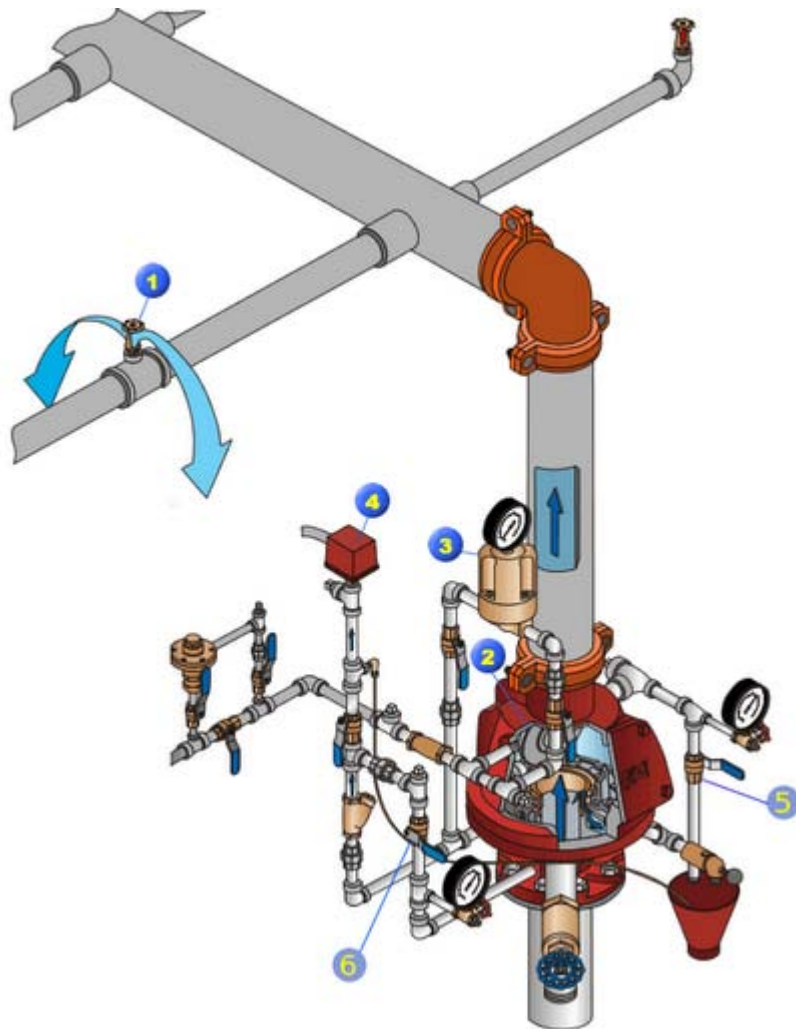


Ilustración 187, Sistema de tubería Seca

Uniones en tuberías

La línea de tuberías de un sistema de protección contra incendios, estará continuamente presurizada, por lo cual, las uniones deben de ser tan fuertes como la tubería misma. Comúnmente, las tuberías recomendadas para los sistemas de incendios son tuberías de Hg, cobre o acero inoxidable, de acuerdo al tipo de sistema de supresión que se desee instalar.

Para este tipo de tuberías se encuentran accesorios especiales para poder unirlos en donde así corresponda, salvo las uniones para sistemas de nebulización de agua por alta presión, en donde las uniones de las tuberías deben de ir soldadas.

Por lo regular, las juntas entre las tuberías y accesorios en un sistema para incendios, se efectúa a través de accesorios llamados bridas, mismas que ya están especificadas y normadas para los efectos de presión que deban de soportar.

Uniones por bridas o flanges

Este tipo de uniones, se caracterizan por ser uniones donde una pieza de acero, con perforaciones, se suelda al cuello de cada sección de tubo, para luego ser atornillada en cada tramo. Este tipo de uniones, son ideales cuando se cuenta con un sistema de tuberías de alta presión, para sistemas que utilicen flujos con altas presiones.

Existen piezas con medias estándar, las cuales pueden ser compradas sobre medida, hay diversas opciones que sirven para dar continuidad a una tubería, o bien

taponar para cerrar un acceso a la tubería de una manera segura.



Ilustración 188, accesorios tipo flange para formar unión con bridas de tuberías

Uniones flexibles

Las líneas de tuberías del sistema contra incendios, deben tener continuidad en todo punto hasta donde llegue la protección. En un proyecto de arquitectura, cuando se hace el diseño y el cálculo estructural, en función de las rigideces y del volumen de masas de la estructura será necesario que existan juntas, ya sea de dilatación o juntas constructivas.

Específicamente hablando de las juntas de dilatación, estas no pueden ni deben de rigidizarse en ningún momento, porque impedirían el libre

movimiento por dilatación o por contracción de materiales en función de la temperatura, ocasionando en el caso de las líneas de tuberías, esfuerzos adicionales para los cuales la tubería no está diseñada. Para este tipo de casos existen accesorios flexibles de unión, que deben de especificarse en cualquier parte donde la tubería esté sujeta a la estructura, y el movimiento de la estructura este contemplado dentro de los factores de diseño. Se



Ilustración 189, bridas de acople flexibles para uniones en juntas o con movimiento

debe de indicar desde la planificación que en estos puntos, esta especificada una unión flexible de tuberías, que permitirá el movimiento a la junta, y la continuidad de la línea de tubería del sistema contra incendios.

Colectores de Prueba

El sistema de incendios debe de estar continuamente presurizado, ya sea que se trate de un sistema de tubería mojada o de tubería seca, y debe de ser constantemente monitoreado para que al momento de ser necesitado, se encuentre funcionando en óptimas condiciones. La mayoría de los elementos son visibles y fácilmente inspeccionables, a excepción de las líneas de tubería, las cuales no puede chequearse fácilmente su interior. Para esto, se deben de dejar previstos varios puntos donde el sistema pueda ser probado, o purgado de ser necesario, con una válvula especialmente diseñada para estos efectos.



Ilustración 190, colector de prueba en línea de sistema contra incendios

Criterios a tomar en cuenta en el diseño de tuberías

- El sistema de tuberías, deberá ser en la medida de lo posible, auto soportante, y deberá tomar en cuenta requerimientos de flexibilidad
- El exceso de flexibilidad puede requerir soportes o sujeciones adicionales para evitar movimientos y vibraciones
- Las tuberías propensas a vibrar, tales como líneas de succión o las de distribución del sistema, deberán ser diseñadas con soportes propios, independientes de los de otras líneas de tuberías
- Las tuberías colgadas de estructuras, deben ser trazadas en los puntos mas rígidos, cerca de los miembros estructurales principales, en puntos donde es favorable añadir cargas a fin de evitar sobrecargar elementos que no contemplen este tipo de cargas en el diseño estructural.
- Debe recordarse en todo momento dejar suficiente espacio de manera que puedan colocarse libremente todos los componentes propios del ensamblaje de las tuberías (válvulas, flanges, bridas, etc.)
- Los soportes de las tuberías, deben de ser lo suficientemente rígidos para poder sostener la tubería sin exponerla a vibración innecesaria
- Es necesario dejar puntos de inspección o colectores de prueba para cuando sea necesario chequear el funcionamiento del sistema o purgar aire dentro de las tuberías, pueda hacerse convenientemente a través de estos puntos.

Diseño de tuberías

La tubería de conducción de agua es tan fundamental como cada uno de los componentes del sistema contra incendios. El diseño de la misma, debe de hacerse considerando cada una de las posibles variables a las cuales la tubería este sometida, el caudal, la presión, el desgaste, impactos, aumento de temperaturas.

Diámetro

Para empezar, se debe de estimar el diámetro de la tubería a utilizar, de la siguiente manera:

$$\varnothing = \sqrt{(0.236 * Q)}$$

Donde

\varnothing = Diámetro de tubería necesario

Q = Caudal a transportar, el cual debe estar expresado siempre en litros por hora

Espesor de pared de tuberías

El espesor de pared de una tubería para un sistema de protección contra incendios, debe de ser calculado, y al momento de especificar las líneas de tubería, se debe de vigilar cuidadosamente que las tuberías a especificar cumplan con parámetros ASTM A312, ASTM A123, y NFPA 13.

El espesor de pared se calcula de la siguiente manera:

Succiones de PVC

Si existieran succiones de PVC del tanque cisterna de almacenamiento, a una salida de bomba, para acoplarse a tuberías de acero, el espesor de pared mínimo para de un tubo PVC norma SDR 41, para soportar presiones según el cálculo de la bomba a utilizar es

$$e = \frac{Pr * d}{(2Td) + Pr}$$

Donde

e = espesor de pared de tubería, en milímetros

Pr = Presión requerida en el circuito, en bar (1 bar = 14.5038 PSI)

d = Diámetro de la tubería en Milímetros

Td = tensión de diseño según especificación MRS (minimum required strenght)

Valores de tensión de diseño para tuberías de acero		
designación del material	Valor Td (MRS) a 50 años y 20°C de temperatura de operación nominal	
	Mpa	bar
PE 100	10	100
PE 80	8	80
PE 63	6.3	63
PE 40	4	40
PE 32	3.2	32

Tabla 16, Tensiones admisibles de diseño en tuberías de Acero, Tabla de Elaboración propia, Datos obtenidos de ASME B31.1, Power piping design

Tuberías de acero para sistema de impulsión

Al momento de calcular las tuberías de acero para un sistema de impulsión, se debe de tener en cuenta que el resultado que den los cálculos, se debe de aproximar a la medida comercial más próxima que este a la venta, comparándolo con la cedula del tubo a comprar, para poder especificarlo en planos, los parámetros de la cedula del tubo, comúnmente los puede proporcionar el productor o distribuidor de las tuberías.

El espesor de una tubería de acero, para un sistema de incendios, siendo la tubería recta, sin secciones curvadas (exceptuando accesorios como codos, yes, tes, válvulas) existen 2 maneras de calcularlo:

Conociendo el Diámetro interno de la tubería:

Si se conoce el diámetro interno de la tubería, entonces,

$$T_m = \frac{P * D + SE * A}{2(SE + P * y - P)}$$

Donde

T_m = espesor mínimo de pared de acero, en pulgadas

P = presión de diseño en PSI

SE = máxima tensión admisible en el material, en PSI. Para tuberías de acero, en acero A36, el valor de (SE) se calcula como 36000/4 = 9000PSI

A = constante de corrección, 0.14 para tubería de hierro fundido en fundición centrífuga, 0.18 para tubería de hierro fundido en fundición estática, 0.0065 para tubería no ferrosa, hierro forjado o acero roscado menor a ¾ de pulgada de diámetro, 0.2 para tubería de acero mayor a 1 pulgada de diámetro

y = constante de soporte de temperatura

- tubería de acero expuesta a 900° F, 0.4
- tubería de acero expuesta a 950° F, 0.5
- tubería de acero expuesta a 1000 - 1150° F, 0.7

Estimando el diámetro externo, entonces

$$T_m = \frac{P * D}{2(SE + P * y)} + A$$

tubería de acero ANSI cedula 40		
Diámetro de la tubería (pulgadas)	espesor nominal de pared (pulgadas)	peso por pie lineal (lbs./ pie)
1	0.13	1.68
1 1/4	0.14	2.27
1 1/2	0.15	2.72
2	0.15	3.65
2 1/2	0.2	5.79
3	0.22	7.58
3 1/2	0.23	9.11
4	0.24	10.79
5	0.26	14.61
6	0.28	18.97
8	0.32	28.55
10	0.37	40.48

Sistemas de impulsión o de bombeo

Un equipo de bombeo contra incendios está compuesto básicamente por una bomba principal, la cual es accionada por un motor eléctrico, una bomba de reserva accionada

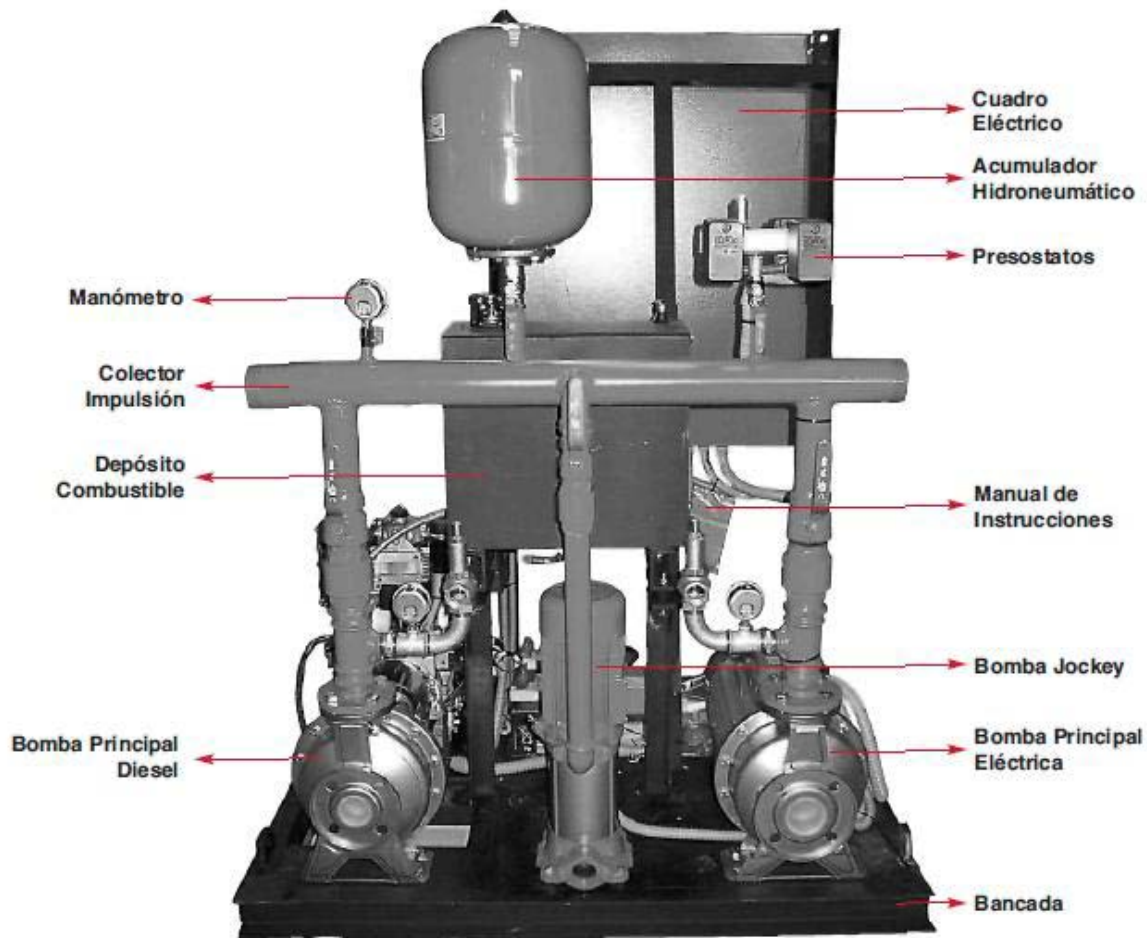


Ilustración 191, sistema de impulsión de agua, con bomba principal diesel, bomba principal eléctrica y bomba tipo jockey

por un motor diesel con capacidad igual a la principal y una bomba auxiliar o jockey, que siempre es eléctrica.

Ante la eventualidad de un incendio, y cuando se produce una demanda de agua, ya sea por la apertura de una boca de incendio, o automáticamente por el sistema de rociadores (sprinklers) instalado, el equipo de bombeo proporciona el caudal requerido por el sistema poniendo en servicio la bomba principal y alimentando así todos los puntos requeridos.

La bomba auxiliar, o jockey, es una pequeña bomba accionada eléctricamente, cuyo arranque y parada es automático y su función es mantener constantemente presurizada la red contra incendios, compensando así las posibles pérdidas que pudieran producirse en la instalación.

Las bombas principales suministran el caudal y la presión requeridos por el sistema. Su arranque es manual o automático, y el dispositivo de parada es accionado únicamente de manera manual.

Debido a las condiciones de diseño, y al espacio con el que se cuenta, los tipos de bombas utilizados son principalmente:

- Bomba horizontal de aspiración axial e impulsión radial
- Bomba horizontal de cámara partida axialmente
- Bomba sumergida de eje vertical con motor en superficie

Al momento de diseñar el sistema de bombeo, siempre es necesario tener en cuenta la altura geométrica entre el nivel del equipo de bombeo y el punto más desfavorable del circuito, así como las pérdidas de carga del recorrido. Dependiendo de las necesidades de las instalaciones contempladas en el proyecto, las opciones de configuración de equipos de bombeo pueden ser:

- Una bomba principal eléctrica + una bomba jockey
- Una bomba principal Diesel + una bomba jockey
- 2 bombas eléctricas principales + una bomba jockey
- Una bomba eléctrica + una bomba diesel principales, + una bomba jockey
- 2 bombas diesel principales + una bomba jockey



Ilustración 192, sistema de bombas combinado

Bombas principales

La bomba principal suministra el caudal y presión requeridos por el sistema. En la mayoría de los casos, y dependiendo de las especificaciones del fabricante, así como bajo qué tipo de normas este construida, es capaz de impulsar como mínimo el 140% del caudal nominal a una presión no inferior al 70% de su presión nominal. Los elementos que están en contacto con el agua bombeada y sometidos a fricción son de material resistente a la corrosión, siendo los impulsores y los anillos de desgaste en bombas en bronce, y el eje de la bomba en acero inoxidable. El sistema impulsor de bomba principal, puede ser una bomba impulsada por un motor eléctrico, una bomba impulsada por un motor diesel o ambas opciones, lo cual es mucho más aconsejable.

Bomba auxiliar jockey

La bomba auxiliar o jockey, es una bomba de tipo vertical multicelular de pequeño caudal que sirve para mantener presurizada la red contra incendios. El arranque y el paro se controlan mediante un presostato de forma automática. El cuadro de control dispone de un contador del número de arranques para controlar la posible existencia de fugas en la instalación.



Ilustración 193, bomba tipo jockey

Motores de impulsión



Ilustración 194, bomba de motor eléctrico



Ilustración 195, bomba de motor diesel

Como se ha mencionado, existen 2 posibilidades de poder de impulsión del sistema de bombeo, motores eléctricos, y motores Diesel.

Una de las configuraciones más seguras para el sistema de bombeo, es tener 2 bombas principales, una eléctrica y una de motor diesel, de esta forma, al fallar el suministro eléctrico para la alimentación de la bomba de motor eléctrico, queda una bomba de reserva que puede funcionar con combustible.

Cálculo de potencia del sistema de bombeo

El sistema de bombeo que mantendrá presurizada la línea de tuberías, debe de ser capaz de enviar presión y mantenerla a todo el sistema, durante determinado periodo de tiempo, a determinada presión constante.

Al momento de determinar la potencia del sistema de bombas, se debe de tomar en cuenta todos los sistemas que demandaran presión al momento del incendio, tales como:

- Sistema de hidrantes (cuando no son abastecidos por la red publica
- Sistema de bocas de incendio equipadas, por cada nivel donde estén ubicadas estas
- Sistemas fijos de supresión, sean estos por sistema de rociadores, por sistema de nebulización de agua, o por combinación de ambos.

La sumatoria de los caudales mínimos que deben de mantener estos sistemas, en litros o galones por minuto, será la capacidad mínima del sistema de bombeo a elegir. Tanto el sistema de hidrantes, el sistema de bocas de incendio equipadas y el sistema fijo de supresión pueden funcionar todos con una misma central de abastecimiento, y de ser así, el equipo de bombeo que será necesario instalar debe de cumplir la demanda necesaria para que el caudal se mantenga en todo el sistema, durante el tiempo mínimo estipulado por los reglamentos internacionales, como UNE y NFPA.

Existen 2 opciones para la planificación del sistema de bombeo, y la opción que se elija, debe de llenar las necesidades de supresión y extinción al momento de necesitarse:

- A. Sistema de bombeo unificado, donde el mismo sistema de bombas presuriza hidrantes, bocas de incendio equipadas, y sistemas fijos de supresión
- B. Un sistema de bombeo por cada sistema que deba de funcionar, ya sea sistema de hidrantes, sistema de boca de incendio equipadas o sistema fijo de supresión.

La decisión entre cualquiera de los dos tipos de sistema puede estar en función del espacio para cuarto de bombas que exista, el consumo de combustible o de fuerza, y el índice de riesgo del proyecto que se esté planificando.

La potencia de una bomba de motor diesel, está dada por:

$$P = \frac{Q * H}{75 * N}$$

Donde

P = potencia del motor, en HP

Q= caudal elevado, en litros por segundo

H= carga total o altura dinámica, en metros

N = 60, factor de eficiencia para motor diesel, o variable según especificación del fabricante

La potencia de una bomba de motor eléctrico, está dada por:

$$P = \frac{Q * H}{102 * N}$$

Donde

P = potencia del motor, en KW

Q= caudal elevado, en litros por segundo

H= carga total o altura dinámica, en metros

N = 85, factor de eficiencia para motor diesel, o variable según especificación del fabricante

Instalaciones de extinción y supresión a base de espumas, definiciones, parámetros y criterios

La espuma para combate de incendios es una formación de burbujas llenas de aire formadas de soluciones acuosas y es de más baja densidad que los líquidos inflamables. Al ser más liviana o ligera que la solución acuosa de la que se forma, y más liviana que los líquidos inflamables o combustibles, flota sobre estos, produciendo una capa cohesiva continua flotante, también llamada manta o manto de espuma.



Ilustración 196, sistema fijo de supresión de incendio a base de agente espumante

Evita o extingue el incendio por la exclusión de aire y posterior enfriamiento del combustible. También evita la re ignición al suprimir la mezcla combustible, la presencia de vapores inflamables. Tiene la propiedad de adherirse a las superficies, lo que proporciona un grado de protección a la exposición de incendios adyacentes. La espuma puede usarse como agente de prevención y control de incendios para riesgos de líquidos inflamables.

La espuma no se disgrega rápidamente y cuando se aplica al régimen adecuado, tiene la capacidad de extinguir el fuego progresivamente. A medida que continúa la aplicación, la espuma fluye fácilmente sobre la superficie incendiada en forma de capa hermética, evitando la re ignición en las superficies ya extinguidas. La espuma no es apropiada para incendios de combustibles líquidos fluyentes o incendio de gases, la espuma puede aplicarse para proteger la superficie de un líquido inflamable que aun no está incendiado.

Mecanismos de extinción de las espumas

Los mecanismos mediante los cuales un sistema de espumas actúa son los siguientes:

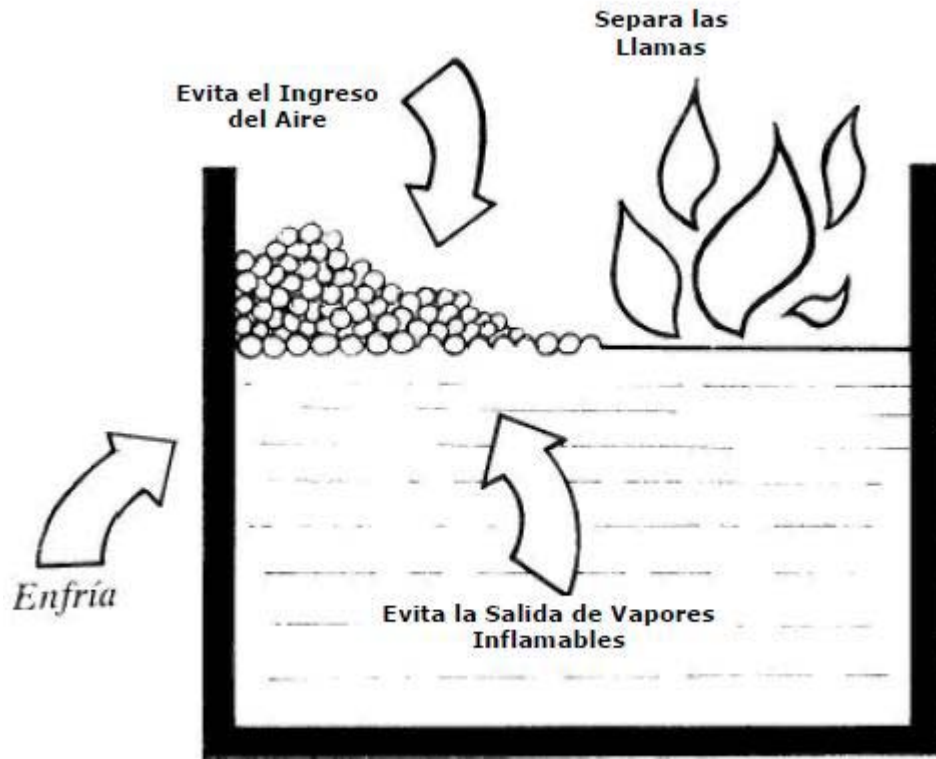


Ilustración 197, mecanismos extintores de un sistema fijo de espuma

Aislamiento

Lo primero que hace la espuma es formar progresivamente una manta que tapa al líquido inflamable incendiado y corre a las llamas de la superficie del mismo, evitando el ingreso de aire a la zona ya cubierta. También evita la salida de vapores combustibles. Una vez apagada la llama, lo segundo que hace es excluir el ingreso de aire a la zona de gases combustibles calientes que se encuentran en la superficie del líquido inflamable cubierto por la misma espuma, evitando así una posible reignición, por faltar el aire.

El poco aire atrapado debajo de la manta no logra mantener una combustión por superar el Límite Superior de Inflamabilidad (LSI). Hay que considerar que los líquidos inflamables tienen generalmente un LSI muy bajo, es decir, necesitan de mucho aire para sustentar una combustión.

La acción de la espuma también es de evitar la salida de los vapores inflamables de la superficie del combustible, eliminando la posibilidad de una nueva combustión en otra zona o sector.

Enfriamiento

Absorbe el calor de la superficie del combustible o del metal, ya sea en contenedores o en tanques, al drenar el agua contenida en la espuma, siendo esta un mecanismo

secundario, resultante de la ruptura de la espuma. A la espuma no se la usa porque ENFRÍA, sino principalmente porque AISLA

Generación de espumas

Las espumas según la forma de producirse se dividen en espumas químicas y espumas mecánicas. Las primeras han dejado de utilizarse, y se producían por una reacción química al mezclar bicarbonato sódico y sulfato de aluminio, que además generan CO_2 .

Las espumas mecánicas son las que se usan actualmente, y su generación o producción es el resultado de un proceso mecánico, que consta de 2 etapas:

- Inducción, en la cual se introduce al flujo de agua el concentrado espumígeno o agente espumante, mediante un dispositivo dosificador
- Generación, por el principio de inducción se agrega aire a la solución agua-espumante o preparado, a la salida del dispositivo de descarga y se produce la espuma en un ambiente abierto.

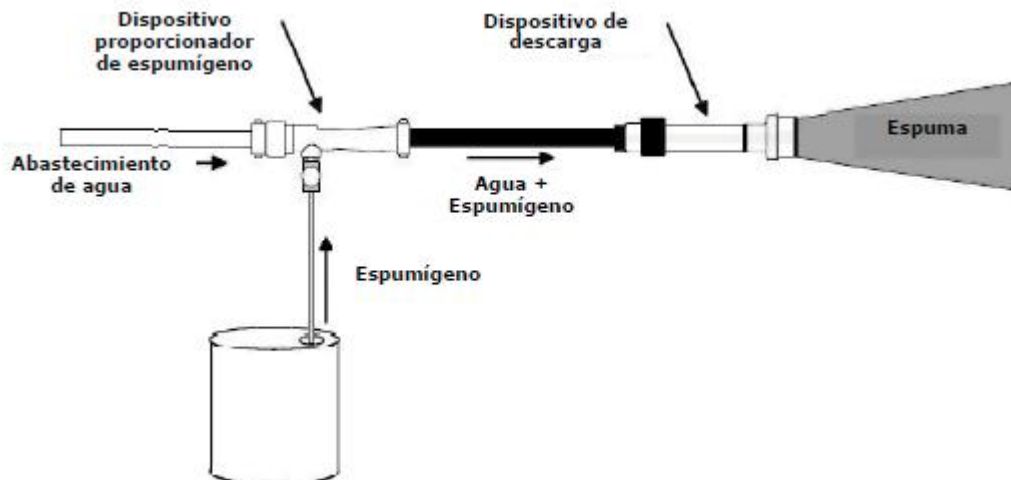


Ilustración 198, proceso de generación de espuma

Dependiendo de las características del sistema a instalar y del agente espumígeno a utilizar, se pueden obtener espumas espesas y viscosas, capaces de formar capas fuertemente resistentes al calor por encima de la superficie de los líquidos incendiados, incluso en superficies verticales. Otras espumas son más delgadas, pero se extienden rápidamente. Existen agentes espumígenos que producen una película que detiene el paso del vapor por medio de una solución acuosa superficialmente activa. Otras sirven para producir grandes volúmenes de celdillas de gas húmedo para inundar superficies y ocupar totalmente los espacios.

Clasificación de las espumas

Las espumas se clasifican por su relación de expansión, la cual es la relación del volumen de espuma final en relación con el volumen de la espuma original antes de añadir aire o preparado. Quedan definidas en 3 tipos:

Espumas de baja expansión:

Este tipo de espumas están diseñadas para protección de tanques de almacenamiento exterior, riesgos interiores de líquidos inflamables, estanterías de carga, áreas canalizadas y áreas de derrame sin dique o sin canalizar.

Se utilizan para la protección de procesos y tanques de almacenamiento a la intemperie. También para la



Ilustración 199, sistema de espuma de baja expansión

protección de riesgos en plantas manufactureras, al

igual que en patios de tanques, refinerías de petróleo y plantas de procesos químicos. Estos sistemas generalmente están diseñados para la operación manual, pero pueden ser automatizados parcial o totalmente.

Espumas de mediana expansión

Se pueden utilizar para suprimir la vaporización de productos químicos peligrosos o líquidos inflamables no incendiados, es decir, derrames.

Puede usarse en incendios de combustibles sólidos y líquidos donde sea necesario algún grado de cobertura en profundidad, por ejemplo, para la inundación total de



Ilustración 200, sistema de espuma de mediana expansión

volúmenes pequeños encerrados o parcialmente

enterrados tales como salas de motores o salas de transformadores. La espuma de mediana expansión puede proveer cobertura rápida y eficiente de derrames de líquidos inflamables o de derrames tóxicos donde es esencial la supresión rápida de los vapores.

El uso de este tipo de espuma aumenta la velocidad de cobertura por el tamaño de la espuma, y con ello, la velocidad de control de un derrame, además aumenta el rendimiento del concentrado o agente espumígeno. Este tipo de espumas son eficaces tanto en interiores como en exteriores

Espumas de alta expansión

Las espumas de mediana y de alta expansión son generadas mecánicamente por el pasaje del aire a través de una malla, criba u otro medio poroso que esta humedecido con una solución acuosa de agentes espumantes activos.

Es una gente de control y extinción de incendios clase a y b, y es especialmente adecuada para su uso como agente de inundación en espacios cerrados.



Ilustración 201, sistema de espumas de alta expansión

La espuma de alta expansión constituye un agente único para transportar agua a lugares inaccesibles; para inundación total de espacios cerrados; y para el desplazamiento de vapor, calor y humo. Puede usarse también en incendios de combustibles sólidos y líquidos, pero la cobertura en profundidad que proporciona es mayor que para la espuma de mediana expansión. Por lo tanto, es más apropiada para llenar volúmenes en los cuales hay incendios a varios niveles, por ejemplo incendios en depósitos con estanterías altas, sótanos, y pasajes subterráneos, lugares donde podría ser peligroso enviar personal para extinguir manualmente.

Este tipo de agente extintor es ideal para control de incendios con gas natural licuado (GNL) y gases licuados de petróleo (GLP) y para proporcionar control de dispersión de vapor para derrames de GNL o amoníacos. Es muy adecuado también su uso para incendios interiores en espacios confinados.

Son recomendables para fuegos tipo A, dado que sofocan el fuego produciendo muy poco daño a las instalaciones donde se aplica, o a lugares con equipos delicados. Su uso es recomendado para espacios como sótanos, minas, hangares, marinas, bibliotecas, salas de archivos, hemerotecas.

Componentes de un sistema de espumas contra incendios

Un sistema fijo de supresión a base de espumas, es una instalación muy parecida a un sistema de rociadores contra incendios.

El sistema de espumas contra incendios se compone de:

- Tanque de abastecimiento de agua
- Dispositivo o válvula de mezcla agua / agente espumante
- Sistema de impulsión (compresor y bomba)

- Tanque de aire comprimido, dependiendo del tipo de agente espumante a dosificar
- Tuberías de conducción de mezcla
- Boquillas de aspersión
- Ventilador, en los casos que se requiera de un alto volumen de espuma

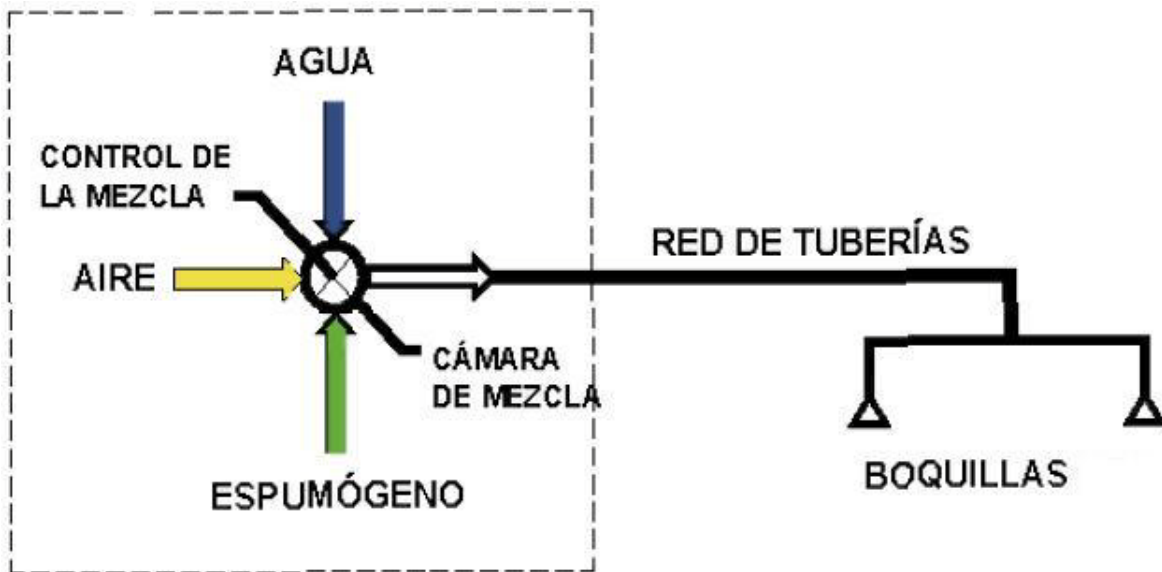


Ilustración 202, esquema de componentes de un sistema de supresión por espumas

Sistema de control de mezcla

El sistema controlador de la mezcla, es el sistema que regula la mezcla entre agua y agente espumígeno. Dependiendo del diseño y del sistema a aplicar, este puede estar compuesto por botellas de aire comprimido, tanque hidroneumático, compresor, dosificador de agente espumígeno, y en algunos casos, computadora, que puede programarse de acuerdo a la cantidad de metros cúbicos de espuma a dosificar, tiempo de funcionamiento del sistema de generación de espumas, proporción de dosificación de agente espumígeno, y presión de trabajo del sistema.



Ilustración 203, sistema de control de mezcla con aire comprimido

Rociadores

Los sistemas de espumas utilizan rociadores cuando se trata de un sistema generador de espumas de baja expansión, los cuales estarán posicionados a igual medida que si se tratara de un sistema de rociadores para agua. Estos, están contruidos en acero inoxidable, y cuentan con un dispositivo que ayuda a aumentar el volumen de aspersión de la espuma. El diámetro de entrada de la boquilla, varía según el fabricante, y están disponibles desde ½", ¾" y 1 pulgadas.



Ilustración 204, boquilla de doble acción, espuma-sprinkler, para sistema de espuma de baja expansión



Ilustración 205, boquilla de bronce para sistemas de mediana expansión



Ilustración 206, boquilla de latón, para sistemas de alta expansión

Cada una de las boquillas tienen diferentes aplicaciones, dependiendo del rango de presión al que trabajaran, así como también del tipo de agente espumígeno que utilizaran, y del rango de expansión que el agente espumígeno podrá alcanzar. Algunas de estas boquillas, como la que se ilustra en la figura 203, tienen doble acción, pudiendo ser aplicadas en un sistema de rociadores de agua, o en un sistema de espuma de baja expansión. Este tipo de boquillas, trabajan en cierto rango de presión, hasta de un máximo de 12 bares, cubriendo según norma NFPA 11 de 12.25 metros cuadrados, en posición colgante un máximo de 9 metros cuadrados, y en posición horizontal, un máximo de 2.5 metros cuadrados⁴⁴.

⁴⁴ National Fire Protection Association, NFPA 11, standard for low, médium and high expansion foam, edición 2002

Un sistema de rociadores, permitirá cierta descarga de espuma por unidad de tiempo, expresada comúnmente en litros por minuto, hasta un máximo de 200 litros por minuto. Esto permitirá una descarga sobre determinado ambiente, toda vez que se recuerde que este tipo de rociadores son aptos para sistemas de espumas de baja expansión.

Lanzas, cámaras y vertederas

Cuando se instala protección con espumas de mediana expansión, los dispositivos de descarga final ya no serán rociadores, sino lanzas o cámaras, las cuales están diseñadas para proporcionar flujos mayores de espumas de mediana expansión. Este tipo de accesorios, se colocan también se colocan conectados directamente a las líneas de tubería, al momento de colocarlas, se debe de tomar en cuenta el peso, el cual, según el fabricante y el tamaño del modelo, tienen como rango de peso 3 a 13 kg.

Cuando dependiendo de las necesidades del diseño, el volumen de espuma se hace mayor, los dispositivos de descarga serán cámaras o vertederas, las cámaras tienen la posibilidad de efectuar la descarga vertical, instaladas desde el techo, y las vertederas pueden ser utilizadas para descargar determinado volumen de espuma desde la pared.



Ilustración 207,
Lanza de
descarga de
espuma contra
incendios



Ilustración 209, vertedera de espuma para
instalación horizontal en pared



Ilustración 208, cámara de
espuma para instalación en
tubería colgante



Ilustración 210, descarga de espuma de mediana expansión producida por un sistema de lanzas

Equipos tipo Ventury y Generadores

Cuando por los requerimientos de cálculo se necesite volúmenes grandes de espumas de alta expansión, se colocaran generadores, los cuales son dispositivos de descarga que vienen equipados especialmente con un ventilador, para incorporar mayor cantidad de aire al agente espumante. La capacidad de descarga de este tipo de dispositivos esta medida en metros cúbicos por minuto, dependiendo del fabricante y del tamaño de dispositivo elegido, el peso de estos oscila entre 10 y 250 kg



Ilustración 211, equipos tipo Ventury instalados en techo



Ilustración 212, descarga producida por un sistema de generadores de espuma de alta expansión, nótese como referencia del volumen el tamaño de la escala humana

Monitores

Cuando sea necesario proteger instalaciones en exteriores, tales como patios de tanques, o almacenamiento exterior de sustancias altamente combustibles, se debe de prever la instalación de monitores, los cuales deberán ser colocados en sitios estratégicos que permitan no solo el mayor radio de cobertura, sino que también sean maniobrables de una manera segura, dado que estos requieren la operación por parte de personas. Este tipo de equipos, son de poco peso, dependiendo del fabricante pueden alcanzar pesos de hasta 35 Kg, y un caudal de descarga de hasta 2500 litros (2.5 metros cúbicos) por minuto, a una presión de 12 bares, (180 PSI).

Algunos de estos dispositivos son manuales, para operación por personal a cargo, y otros son asistidos por servomotores, lo cual permite su operación a distancia por medio de un mando remoto con el que vienen equipados.

Este tipo de equipos tiene una posibilidad de rotación de 340 a 360 grados, dependiendo de si es asistido por personal, o si es controlado a distancia por mando remoto.

Algunos de estos equipos pueden ser montados en torres de hasta 10 metros de altura, lo cual permite que el radio de alcance se incremente considerablemente. Este tipo de montaje en altura es recomendado para patios de almacenamiento, para instalaciones portuarias, para patios de maniobras de contenedores, y cualquier condición en la que se requiera cubrir distancias grandes donde no sea posible instalar sistemas de generadores.



Ilustración 214, monitor en plataforma elevada



Ilustración 213, monitor de accionamiento manual



Ilustración 215, monitor servoasistido con mando remoto

Diseño de Tuberías Para sistemas de Espumas

El diseño de las tuberías del sistema de espuma, es similar al diseño de tuberías de rociadores, se debe de contar con el caudal en litros por minuto para determinar el diámetro de la tubería.

NFPA 11 Standard for Low, Medium and High expansión foam, da parámetros en cuanto a los requerimientos mínimos que debe de cumplir la tubería para este tipo de sistemas.

NFPA 11 estipula que para las líneas de tubería de un sistema de espuma contra incendios, se debe de utilizar tuberías de acero al carbón, sin costura o con costura por soldadura eléctrica, de pared estándar, galvanizada, Tipo ASTM A53 E o S, o ASTM A106 grado A, como mínimo cedula 40.

Para los sistemas de válvulas, estas deben de ser de carcasa de Acero al carbón ASTM 126 grado A, o de hierro dúctil ASTM A395, los accesorios interiores de las válvulas deben de ser de Bronce 316ss.

Las juntas de la tubería, deben de hacerse por medio de Flanges que cumplan como mínimo ANSI B16.5, clase 150. Como estándar internacional, las tuberías de sistemas de incendios deben de pintarse de rojo, y este acabado puede ser con pintura epóxica o pintura resistente al calor.



Ilustración 216, tubería cedula 40 de acero, con costura por soldadura eléctrica

tubería de acero ANSI cedula 40		
Diámetro de la tubería (pulgadas)	espesor nominal de pared (pulgadas)	peso por pie lineal (lbs./pie)
1	0.13	1.68
1 1/4	0.14	2.27
1 1/2	0.15	2.72
2	0.15	3.65
2 1/2	0.2	5.79
3	0.22	7.58
3 1/2	0.23	9.11
4	0.24	10.79
5	0.26	14.61
6	0.28	18.97
8	0.32	28.55
10	0.37	40.48

Tabla 17, Espesores y pesos de tuberías ANSI Cedula 40, tabla de elaboración propia, Datos obtenidos de ASME B31.1, power piping design

Para el cálculo del diámetro, se procederá de la misma manera que con un sistema de rociadores.

Calculo de sistemas de Espuma contra incendios

Un sistema de espumas contra incendios, se calcula a partir del volumen de inundación requerido, y del tiempo de inundación requerido, en minutos.

La tasa de descarga de espuma necesaria para la supresión del incendio, o para tener el tiempo suficiente para controlar un derrame potencialmente inflamable dependerá del poder del sistema generador, la naturaleza del riesgo al que se está expuesto, la vulnerabilidad de la estructura y contenidos inflamables, y la pérdida potencial de vidas, propiedades y producción. Para calcular el sistema de espuma contra incendios, se debe de contar con los siguientes datos:

- Volumen del edificio a inundar
- Taza de descarga de espuma, en metros cúbicos por minutos
- Tiempo de inundación esperado, en minutos

Tiempo máximo para sumersión con espuma de alta expansión medido desde el comienzo de la descarga de espuma (en minutos)				
tipos de riesgos, materiales y parámetros	Construcción liviana o desprotegida		construcción pesada o protegida, resistente al fuego	
	con rociadores	sin rociadores	con rociadores	sin rociadores
líquidos inflamables, puntos de inflamación por debajo de 38°C, con presiones de vapor no mayor a 276 Kpa (40 PSI)	3	3	5	3
líquidos combustibles, con puntos de inflamación de 38°C y mayores	4	3	5	3
combustibles de baja densidad, cauchos espumados, plásticos, espumas de plástico, grandes cantidades de papel enrollado, papel crepe	4	3	6	4
combustibles de alta densidad, papel kraft enrollado o revestido sin zunchar, derivados de plástico en hojuelas finas, textiles, fibras	7	5	8	6
Llantas y productos de caucho en general, hules sintéticos	7	5	8	6
combustibles en cartones, bolsas, tambores de fibras	7	5	8	6

Tabla 18, tiempos máximos de sumersión con espumas, Tabla de elaboración propia, Datos obtenidos de NFPA 11

El cálculo del sistema de espuma, está en función del volumen que se desee inundar, el tiempo mínimo en el cual se debe de inundar, y la capacidad de inundación del sistema generador. NFPA 11 establece parámetros de tiempo mínimo en función del contenido del ambiente a inundar con espuma, de la siguiente manera

La tabla de la página anterior hace referencia a los tiempos en los cuales según parámetros estudiados y calculados, se debe de inundar totalmente a la altura del material combustible, con rociadores, o con generadores, hasta una altura máxima de 4.50 metros o 15 pies.

La descarga de espuma para ser eficiente debe ser la suficiente para satisfacer los requerimientos de tiempo de la tabla anterior, con las compensaciones necesarias para el encogimiento normal de la espuma, fugas de espuma, y efectos de rompimiento en el caso de las descargas por rociadores.

La mínima tasa de descarga o la capacidad total del generador de espuma deben de ser calculadas por la siguiente expresión

$$R = \left(\frac{V}{T} + R_s \right) * C_n * C_l$$

Donde

R = tasa de descarga, en metros cúbicos por minuto

V = volumen de sumersión en metros cúbicos (volumen a inundar)

T = Tiempo de sumersión en minutos

R_s = régimen de rompimiento de la espuma por los rociadores, en metros cúbicos por minuto

C_n= compensación por encogimiento normal de la espuma, 1.15 adimensional

C_l= compensación por filtración, este valor no puede ser menor a 1.0, ni mayor a 1.2, se estima de acuerdo a que tan hermética es el área donde se inundara con espuma, y va disminuyendo de acuerdo a las posibles aberturas en el área inundada.

El factor R_s se debe de calcular de acuerdo a la siguiente formula

$$R_s = S * Q$$

Donde

S = a la disgregación de la espuma en Metros cúbicos por minuto, este valor es una constante igual a 0.0748 metros cúbicos por minuto

Q = descarga total estimada del número máximo de rociadores que se espera operar, en litros por minuto, este valor esta proporcionado por el fabricante.

Estas operaciones nos permitirán saber la capacidad mínima en litros por minuto o en metros cúbicos por minuto, del generador o red de rociadores a especificar.

Una vez se ha calculado la cantidad necesaria en metros cúbicos o en litros por minuto, se debe de aplicar una corrección de seguridad estipulada en NFPA 11, que especifica que debe de proveerse suficiente concentrado de espuma de alta expansión y agua, como para permitir la operación continua de todo el sistema por 25 minutos o para producir 4 veces el volumen mínimo de sumersión, lo que sea menor, pero en ningún caso menos de lo suficiente para 15 minutos de operación total. La espuma, según normas, debe de permanecer durante 60 minutos luego de controlado el incendio, en áreas sin rociadores, y durante 30 minutos, en áreas con rociadores.

En cuanto a cantidad y a posicionamiento, la norma no establece un parámetro fijo en cuanto a número de elementos rociadores o de generadores ya sea tipo Ventury o lanzas, pero se hace referencia a que cualquiera que sea la distribución o la configuración del sistema, se deben de posicionar los elementos de manera que toda el área quede uniformemente cubierta por el volumen mínimo requerido de espuma.

La norma NFPA 11 especifica que debe de alcanzarse una altura mínima que en ningún caso será menor a 0.60 metros, o 2 pies, y el ideal será 1.1 veces la altura del combustible de mayor riesgo.



Ilustración 217, altura mínima a alcanzar según normativa NFPA en ambientes inundados de espuma contra incendios

Bocas de Incendio Equipadas de espuma y sistemas generadores portátiles

Las espumas también pueden ser aplicadas a las bocas de incendio, por medio de una lanza especialmente diseñada para succionar agente espumante que esta comúnmente contenido en un envase al tamaño de la boca de incendio, el cual funciona con el vacío creado por el caudal de agua. Este tipo de bocas de incendio, deben de cumplir con las mismas especificaciones para las bocas de incendio equipadas con agua, en cuanto a posicionamiento y distancias mínimas.

El funcionamiento de estas bocas de incendio es el mismo, pues funcionan con agua, y la dosificación del agente espumante, es por medio



Ilustración 218, boca de incendio equipada con sistema de espuma

de un contenedor pre dosificado a presión, o por medio de un tanque que puede tener capacidad para 25 o 50 litros de agente espumante. La presión nominal que debe de dotarse en este tipo de bocas de incendio es de 2 bares a la boquilla, y bajo estas condiciones de presión, pueden surtir un caudal de espuma de 90 a 110 litros por minuto.

Ante la eventual necesidad de un espumígeno en ambientes donde no esté al alcance un sistema de espumas fijo, o donde este no pueda cubrir la

emergencia, existen sistemas portátiles generadores de espuma, que pueden ser de lanza, o de

generador. Los sistemas de lanza trabajan ya sea con aire y agua comprimidos, o por medio de una manguera que proporciona el caudal de agua a una presión de operación de por lo menos 2 bares, y un contenedor portátil de agente espumante, el cual puede ser transportado fácilmente de un lugar a otro, con un contenido de 25 litros.

Se debe de prever la necesidad de uno de estos sistemas, por lo cual es conveniente dejar especificado en planos el lugar donde debe de permanecer, señalado de manera reglamentaria, al alcance del usuario en el momento de ser necesario.



Ilustración 219, sistema generador portátil de espuma



Ilustración 220, lanza portátil generadora de espuma

Instalaciones de extinción y supresión a base de dióxido de carbono (CO₂), definiciones, parámetros y criterios

El dióxido de carbono es una molécula cuya forma molecular es CO₂. Esta molécula lineal está formada por un átomo de carbono que está ligado a dos átomos de oxígeno. El dióxido de carbono es un gas incoloro e inodoro y con un sabor ácido, que se forma en todos aquellos procesos en que tiene lugar la combustión de sustancias que contienen carbono.

A pesar de que el dióxido de carbono existe en su forma gaseosa, también tiene forma sólida y líquida. Solo puede ser sólido a temperaturas por debajo de los -78°C. El dióxido de carbono líquido existe principalmente cuando se disuelve en agua, en estado licuado a alta presión o en forma criogénica. Solamente es soluble en agua cuando la presión se mantiene. Cuando la presión desciende intentará escapar al aire, dejando una masa de burbujas de aire en el agua.

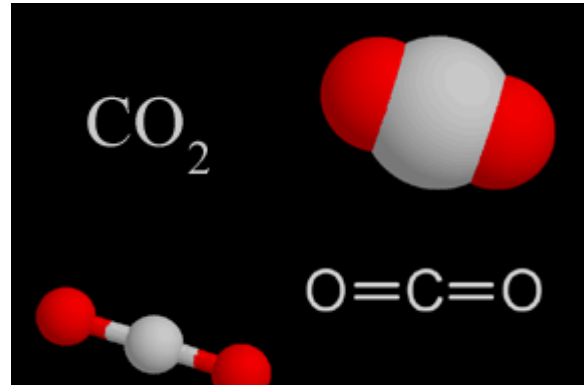


Ilustración 221, estructura de Lewis para una molécula de dióxido de carbono

El Dióxido de carbono no es combustible, ni aporta a la combustión. Pesa 1.4 veces más que el aire, se evapora a presión atmosférica a -78 °C y puede reaccionar en forma violenta con bases fuertes, especialmente a altas temperaturas.

Cuando se congela, el dióxido de carbono se convierte en el comúnmente llamado "hielo seco". Su temperatura de



congelamiento es de -78°C, es mucho menor que la del agua, que es 0°C.

Ilustración 222, Hielo Seco, apariencia sólida del dióxido de carbono a -78°C

Este gas puede almacenarse en cilindros de alta presión a temperatura ambiente normal, a 21°C. En estos contenedores el CO₂ alcanzara presiones de hasta 62 bar para una temperatura ambiente normal de 21°C, y puede alcanzar valores de hasta 100 bar o más en épocas de verano. Las botellas de este gas comprimido están dotadas de tapones fusibles o válvulas de seguridad calibradas en un rango de 180-210 bar, y son ensayadas

a una presión de 250 bar, la capacidad de estas botellas está limitada a 54 kg de masa como máximo, aproximadamente.

Puede almacenarse de una manera más segura en contenedores refrigerados a baja presión para mantener una temperatura de almacenamiento cercana a -18°C . a esta temperatura la presión de almacenamiento disminuye hasta 20 bar. La capacidad de almacenamiento de estos sistemas es bastante grande.

Los sistemas de supresión de dióxido de carbono, se diseñan generalmente para funcionar adecuadamente a temperaturas de almacenaje de 0 a 49°C .

El dióxido de carbono como agente extintor

El CO_2 es un eficaz agente extintor, principalmente porque reduce el contenido en oxígeno de la atmosfera, mediante dilución, hasta un punto en que no puede continuar la combustión.

Una descarga típica de CO_2 posee una apariencia de nube blanca, debido a las partículas finamente divididas de hielo seco que son transportadas con el vapor.



Ilustración 223, apariencia de una nube de descarga de CO_2 , efecto visual por descompresión del gas y cambio de temperatura al contacto con la temperatura ambiente

El principal mecanismo de extinción del CO_2 consiste en reemplazar el aire ambiente por, en este caso, un gas inerte para la reacción química de la combustión, como lo es el CO_2 . Al reemplazar en forma progresiva el aire que necesita la combustión por el CO_2 se desplaza en el eje del rango de inflamabilidad hacia el LSI (límite superior de inflamabilidad, ver pagina 21), superando este limite la combustión cesa por falta de uno de sus elementos en cantidad adecuada, como lo es el oxígeno.

Este mecanismo de acción sofocadora, tiene implícito otro efecto denominado “enfriamiento directo” o “enfriamiento químico”. A medida que el CO_2 va desplazando al oxígeno de la zona de mezcla inflamable o mezcla ideal, no solo se mueve esta fuera del rango de inflamabilidad, sino que como resultado de este movimiento, se produce una reacción química mucho más lenta, por ausencia de uno de sus reactivos, en este caso, el oxígeno, debido a esto, la cantidad de calor generado va disminuyendo de manera progresiva.

Habiendo eliminado gran parte del oxígeno, con una temperatura por debajo de la temperatura de ignición, y sin fuentes de ignición presentes, se puede considerar controlada la combustión.⁴⁵

Funcionamiento de un sistema de supresión por CO₂

Existen 2 formas en las que puede ser aplicado un sistema de supresión de incendios a base de CO₂

- Inundación total, la cual consiste en efectuar una descarga en un ambiente para dar lugar a la formación de una atmosfera inerte en un volumen encerrado.
- Aplicación local, la cual consiste en descargar directamente sobre el foco de combustión para obtener la extinción, sin necesidad de confinar un ambiente que retenga al CO₂

Inundación total

En un sistema de inundación total, existe un suministro fijo de CO₂ permanentemente conectado a una tubería fija, con boquillas fijas distribuidas para descarga de CO₂ en un recinto cerrado alrededor del riesgo.

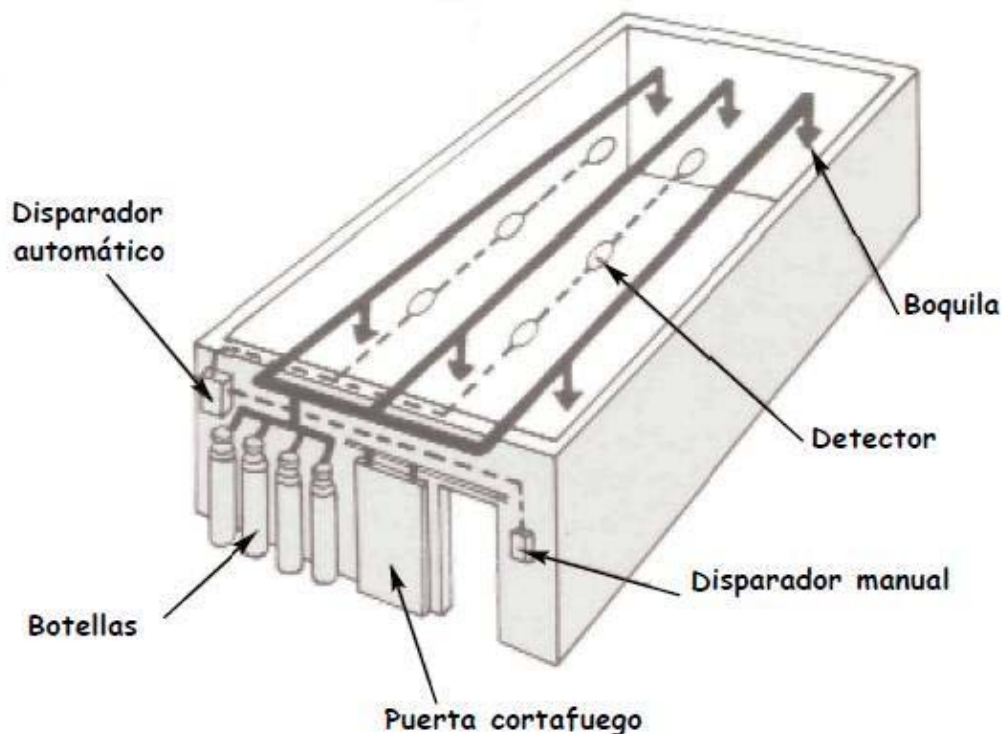


Ilustración 224, sistema de inundación total de CO₂ en un recinto cerrado

Este tipo de sistemas, deben de utilizarse cuando hay un cerramiento permanente alrededor del riesgo, que permita acumularse y mantenerse adecuadamente la concentración necesaria de CO₂ durante un periodo de tiempo requerido. Esto asegura la

⁴⁵ Red proteger, Argentina, LOS AGENTES EXTINTORES, EL CO₂, Ing. Néstor Adolfo Botta, 1ª. Edición, abril de 2010

extinción completa y permanente del incendio del combustible involucrado. En este tipo de sistemas se permiten pequeñas superficies abiertas respecto de la superficie que lo delimita. El esquema típico de estos sistemas es el siguiente:

- Batería de botellas de alta presión de CO₂ o depósito de baja presión
- Baterías de repuesto
- Tuberías de distribución
- Boquillas de aplicación
- Sistema de mandos y controles



Ilustración 225, botellas de alta presión de dióxido de carbono

Los sistemas de CO₂ comúnmente se aplican mediante toberas diseñadas y emplazadas de tal manera que generan una concentración uniforme de CO₂ en todos los puntos del recinto. La cantidad de CO₂ requerida para conseguir una atmósfera extintora se calcula

fácilmente, basándose en el volumen del recinto a inundar, y la concentración requerida para el material combustible que se encuentra en el recinto.

Aplicación local

Un sistema de aplicación local consiste de un suministro fijo de CO₂ conectado permanentemente a un sistema de tubería fija con boquillas distribuidas para descargar directamente en el elemento incendiado.

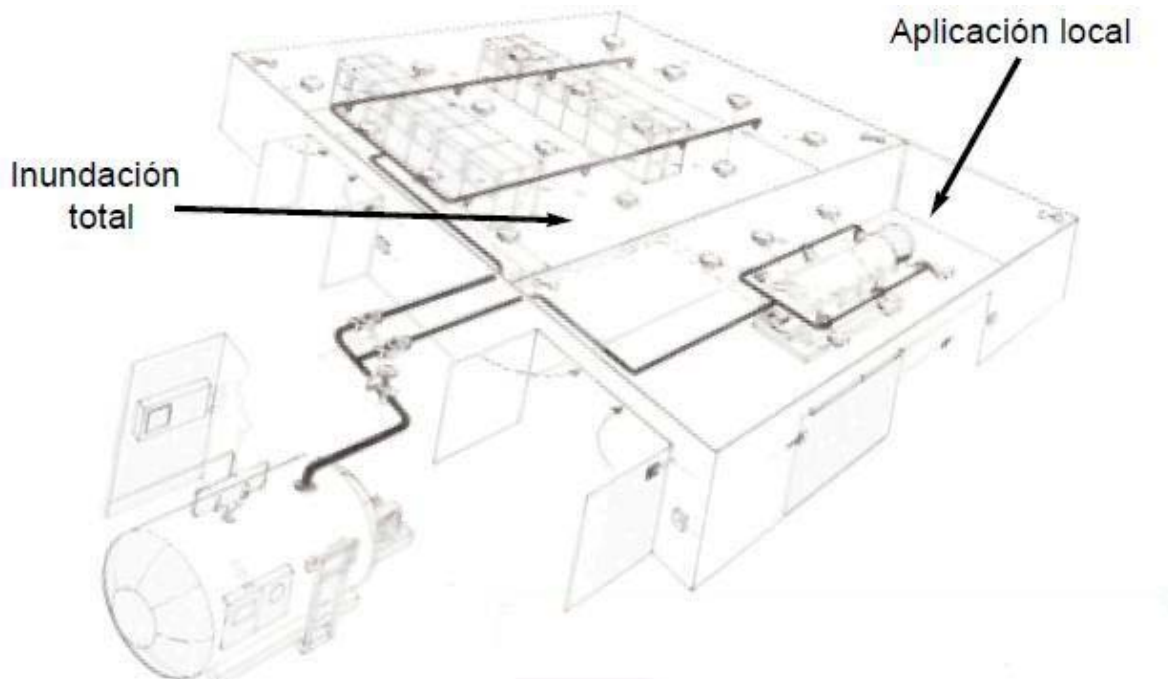


Ilustración 226, sistemas de inundación total y de aplicación local de CO₂

Los sistemas de aplicación local se deben usar para la extinción de incendios de superficies en líquidos, gases y sólidos inflamables de poca profundidad donde el riesgo no está encerrado o donde el cerramiento no se ajusta a los requerimientos para una inundación total.

En este tipo de sistemas el CO₂ se aplica directamente a las superficies en combustión mediante toberas especialmente diseñadas para dicho efecto. El objeto es cubrir todas las superficies combustibles mediante toberas emplazadas estratégicamente, a fin de extinguir todas las llamas lo más rápidamente posible. La descarga debe durar al menos 30 segundos o más tiempo si se requiere enfriar una fuente potencial de reignición.

Sistema de Tuberías de conducción de CO₂

De acuerdo con lo establecido en la norma NFPA 12, para un sistema de supresión por CO₂ las tuberías de conducción del agente extintor deben de ser de acero negro o galvanizado, con especificación ASTM A53 sin costura o soldadura eléctrica, grado A o B, o bien, ASTM A106 grado A, B o C. si se utilizan secciones de tubo de acero inoxidable, este debe de cumplir con especificaciones TP304 o TP316, para conexiones roscadas, y TP304L o TP316L para conexiones soldadas. Para las líneas de conducción donde se utilice gas en alta presión, se puede especificar un diámetro desde $\frac{3}{4}$ de pulgada y aun menores, siempre y cuando la tubería cumpla con especificaciones ASTM anteriormente citadas, y además, cedula 40. Las tuberías de 1 pulgada hasta 4 pulgadas deberán ser mínimo cedula 80, sin costura.



Ilustración 227, Tubería Flexible de acero inoxidable

Las mangueras a especificarse en este tipo de sistemas, ya sea mangueras de acople a las botellas de alta presión o uniones flexibles, deben de tener un factor de resistencia a la rotura de por lo menos 5000 PSI, y cuando se trate de sistemas a baja presión, este factor será como mínimo 1800 PSI.



Ilustración 228, mangueras flexibles de acero inoxidable de alta presión para conducción de CO₂

Estas mangueras pueden ser flexibles de acero inoxidable, o bien de resorte de acero con forro de hule y recubrimiento de polímero.

En los puntos donde sea necesario hacer uniones con bridas, ya sea para válvulas o para uniones flexibles, las bridas deben de ser clase 600, con empaquetaduras de alta presión, para garantizar hermeticidad en el sello y evitar fugas en uniones flexibles o uniones a válvulas.



Ilustración 229, Brida tipo 600 para unión de tuberías, con empaquetadura de alta presión

En el diseño de las líneas de tuberías se debe de considerar que si se trata de un sistema de alta presión, las presiones serán de 300 a 750

PSI, por lo que al momento de calcular el diámetro de la tubería a utilizar, se tendrá como presión inicial de diseño la presión

máxima a la cual estará trabajando el sistema de Dióxido de carbono. El dióxido de carbono es un elemento que tiene 2 fases de comportamiento, a determinada presión y temperatura se comporta como un gas, y a otra presión y temperatura, se comporta como un líquido.

El diámetro mínimo de las líneas de tubería para un sistema de CO₂ de alta presión, puede calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$D = \sqrt[5]{\frac{Q^2 S L_e}{(P_1^2 - P_2^2)(52.335^2)}}$$

Donde,

D= Diámetro mínimo, en metros

Q = Caudal o Gasto nominal en la tubería, en Metros cúbicos/hora

S = Densidad del CO₂

L_e = Longitud equivalente, en metros

P₁ = Presión de entrada

P₂ = Presión de salida

Debe de tenerse en mente, que para que la formula funcione, todos los parámetros deben de estar en unidades del sistema internacional, si existieran unidades diferentes, se debe de hacer la conversión entre cada sistema, de manera que todas y cada una de las unidades a utilizar estén en unidades del SI

Juntas de dilatación para tuberías de Acero para sistemas de CO₂

Se debe de estimar que los sistemas de alta presión para CO₂ estarán sometidos a bruscos cambios de temperatura, los cuales a pesar de ser de corta duración (descarga estándar 1 minuto), son de considerable magnitud. La descarga procedente de las botellas de gas comprimido, llegara al sistema de tuberías con una temperatura promedio de -79°C, y la temperatura ambiente de la ciudad de Guatemala

oscila entre una máxima de 24°C y una mínima de 16°C. Esto supondrá una diferencia instantánea



Ilustración 230, Junta de dilatación de alta presión, hecha en hule

de 103°C para condiciones de temperatura máxima, y 95°C para condiciones de temperatura mínima.

La dilatación lineal en los cuerpos está en función de los cambios de temperatura que sean experimentados, en este caso, los cambios de temperatura que actuaran sobre la tubería que cuando no esté en uso se conservara a temperatura ambiente, y al momento de ser utilizada, se contraerá por efecto del cambio de temperatura.

Este cambio de temperatura inducirá que la tubería se contraiga, es decir, se acorte por efecto térmico una determinada longitud, expresada por ΔL y esta

diferencia de longitud puede ser calculada de la siguiente manera:

$$\Delta L = k * L * C * \Delta t$$

Donde

ΔL = Cambio de longitud

K = constante, con valor de 1000, si L esta en metros, C esta en $^{\circ}C^{-1}$, y Δt en $^{\circ}C$, bajo estas condiciones, ΔL estará expresado en mm

K = constante, con valor de 12 si L esta en pies, C esta en $^{\circ}F^{-1}$ y Δt en $^{\circ}F$, bajo estas condiciones, ΔL estará expresado en pulgadas

L = longitud original

C = Coeficiente de expansión Lineal

Δt = cambio de temperatura

Para el acero, el coeficiente de expansión lineal es $1.2 * 10^{-5} \text{ } ^{\circ}C^{-1}$

Las juntas por dilatación o contracción de tubería, son accesorios que vienen específicamente diseñados para contraerse o para alargarse dependiendo de la necesidad del diseño, y habiéndose calculado cuanto se dilatara la tubería, se debe de proponer las juntas necesarias, a efectos de prevenir cualquier falla por contracción en la tubería. Una línea de tubería sometida a este tipo de cambios bruscos de temperatura puede fallar por ruptura en uniones bridadas, por ruptura de tornillos en conexiones bridadas, por desgarramiento en uniones soldadas.

Las juntas deben de especificarse según el tipo de junta que se escoja, ya sea de resorte, de manguera flexible, de hule, pero en todo caso, debe de especificarse que las bridas y la conexión flexible cumplan con los requerimientos mínimos de presión establecidos en NFPA 12



Ilustración 231, Junta de dilatación de alta presión hecha de resorte de acero

Calculo de sistemas de supresión por CO₂

Para efectuar el cálculo de este tipo de sistemas, se debe tener siempre en mente que cuando se habla de un sistema por inundación de CO₂, se habla todo el tiempo de un sistema que abastecerá a un área cerrada, lo mas hermética posible, y debido a ello, se tratara de un área que mientras dura la descarga de CO₂ se mantendrá vacía y confinada, sin acceso de personas, debido a 2 factores

- El riesgo que corren las personas al ser alcanzadas por una descarga de CO₂ en concentraciones elevadas (mayores al 34%) puede representar una amenaza igual a la del incendio que se está dando
- El sistema en el caso de la inundación, trabajara por sofocación, lo que quiere decir que se necesita tener determinado volumen de CO₂ confinado dentro de un área, durante un mínimo de 30 segundos según se establece en NFPA 12, sin dilución del agente extintor en el aire, ni ventilación de ningún tipo.

Método NFPA 12

Paso No. 1, para calcular el sistema, se debe de tener el volumen exacto del área de riesgo que se desea proteger, en metros cúbicos. Se obtendrá el volumen multiplicando el área del suelo, por la altura del ambiente.

Paso No. 2 determinar o conocer el factor de inundación, el cual está basado en el riesgo específico a ser protegido. Para determinar el factor de inundación de CO₂ se debe de multiplicar el volumen del área de riesgo, por el factor de inundación, el cual está dado

Factores de inundación para riesgos específicos					
Concentración de diseño	factores de volumen				Riesgos o Peligros Específicos
	Pie ³ /Lb CO ₂	m ³ /kg CO ₂	Lb CO ₂ / Pie ³	Kg CO ₂ /m ³	
50	10	0.62	0.1	1.6	Peligros de electricidad seca en general, espacio de 0-2000 pies ³ (56.6 m ³)
50	12	0.75	0.083 (200 lb mínimo)	1.33 (91 kg mínimo)	Peligros de electricidad seca en general, espacio mayores a 2000 pies ³ (56.6 m ³)
65	8	0.5	0.125	2	Almacenamiento de archivos (papel en volumen) ductos, fosos cubiertos.
75	6	0.38	0.166	2.66	Bodegas para almacenajes de pieles, recolectores de pieles

Tabla 19, Concentraciones de Diseño para sistemas de dióxido de carbono, tabla de elaboración propia, Datos obtenidos de NFPA 12 para algunos riesgos, de la siguiente manera

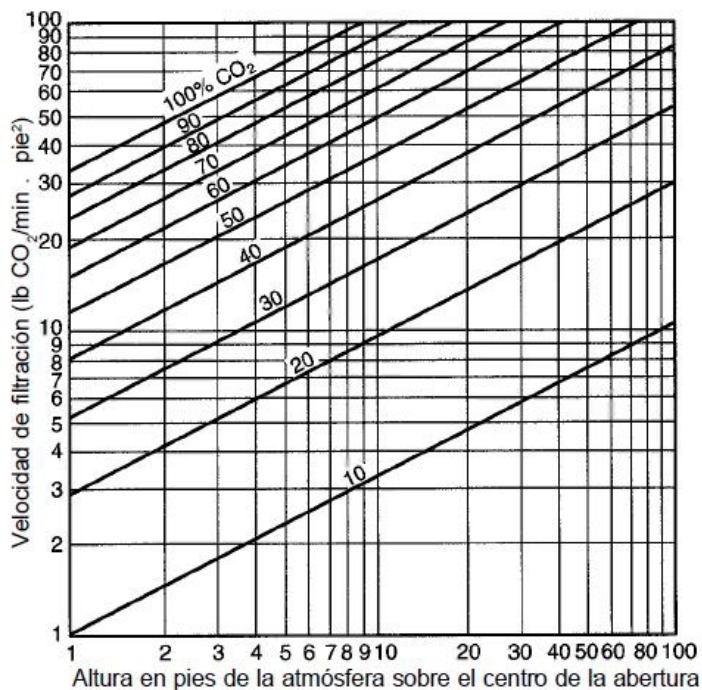
Paso No. 3 calcular la mínima cantidad extintora requerida, la cual está basada en el volumen de riesgo a ser protegido, y el factor de inundación, en este paso, multiplicar el volumen en metros cúbicos obtenido en el paso 1, por el factor de la columna que expresa el factor de volumen en **Kg CO₂/m³** si se cuenta con el volumen en metros cúbicos, o por el factor de la columna que expresa el volumen en **Lb CO₂ / Pie³** si se cuenta con el volumen en pies cúbicos.

Paso No. 4 se debe de calcular el ajuste por fugas. Para calcular el ajuste por fugas, se tomara en cuenta la concentración de diseño, dada en la primera tabla de la columna anterior, y definida también por los siguientes valores establecidos por NFPA:

Material	Factor del material	Concentración Teórica Mínima de CO ₂ (%)	Concentración de Diseño Mínima de CO ₂ (%)
A (fuegos que involucran gases y líquidos)			
Acetileno	2,57	55	66
Acetona	1	27*	34
Gas Avión Grados 115/145	1,06	30	36
Benzol, Benceno	1,1	31	37
Butadieno	1,26	34	41
Butano	1	28	34
Butano-I	1,1	31	37
Disulfuro de Carbono	3,03	60	72
Monóxido de Carbono	2,43	53	64
Carbón o Gas Natural	1,1	31*	37
Ciclopropano	1,1	31	37
Diesel	1		34
Eter dietílico		33	40
Eter dimetilico	1,22	33	40
Dow Therm	1,47	38*	46
Etano	1,22	33	40
Alcohol etílico	1,34	36	43
Eter etílico	1,47	38*	46
Etileno	1,6	41	49
Dicloruro de Etileno	1	21	34
Oxido de Etileno	1,8	44	53
Gasolina	1	28	34
Hexáno	1,03	29	35
n-heptano	3,3		35
Hidrocarburos con Alto contenido de Parafinas C _n H _{2n} + 2m -5		28	34
Hidrógeno	3,3	62	75
Sulfuro de Hidrógeno	1,06	30	36
Isobutano	1,06	30*	36
Isobutileno	1	26	34
Formiato de Isobutil	1	26	34
JP-4	1,06	30	36
Keroseno	1	28	34
Metano	1	25	34
Acetato Metílico	1,03	29	35
Alcohol Metílico	1,22	33	40
Metil Butano-I	1,06	30	36
Metil-Etil-Cetona	1,22	33	40
Formiato Metílico	1,18	32	39
n-octano	1,03		35
Pentano	1,03	29	35
Propano	1,06	30	36
Propileno	1,06	30	36
Aceites lubricantes para enfriamiento	1	28	34

Material	Factor del material	Concentración de Diseño Mínima de CO ₂ (%)	Tiempo de inhibición o restricción en minutos
B (fuegos que involucran materiales sólidos)			
Material celulósico	2,25	62	20
Algodón	2	58	20
Papel, cartón (papel corrugado)	2,25	62	20
Material granulado para plásticos	2	58	20
Poliestireno	1	34	-
Solamente poliuretano curado	1	34	-
C (casos especiales)			
Cuartos de transferencia y ductos para cables	1,5	47	10
Áreas de manejo de datos	2,25	62	20
Instalaciones eléctricas para computadoras	1,5	47	10
Interruptores eléctricos y cuartos de distribución	1,2	40	10
Generadores, incluyendo sistemas de enfriamiento	2	58	hasta que se detengan
Transformadores llenos de aceite	2	58	-
Áreas de imprentas	2,25	62	20
Instalaciones de pintura por aspersión y secado	1,2	40	-
Máquinas rotatorias	2	58	-

Ilustración 232, tablas de valores para concentración de diseño, obtenidas de NRF-102 Pemex



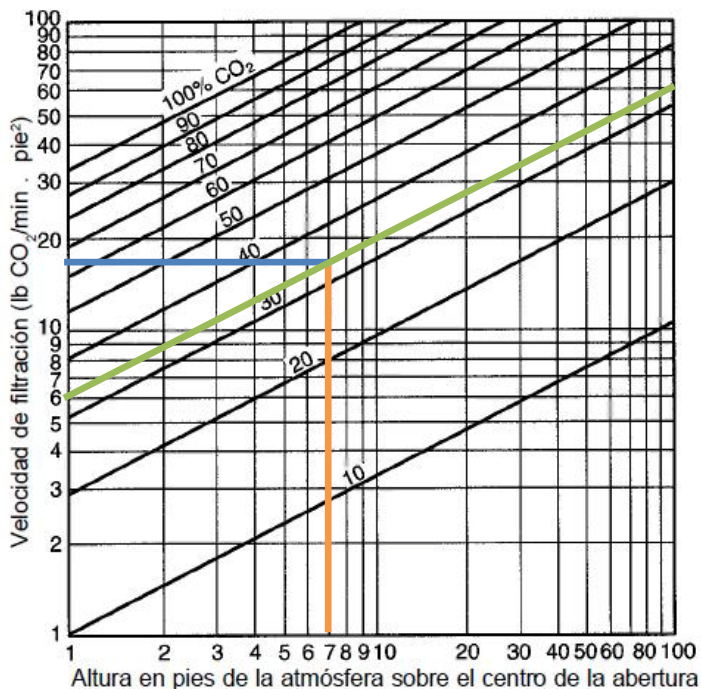
Para unidades SI, 1 pie = 0.305 m; 1 lb/min · pie² = 4.89 kg/min · m².

Ilustración 233, grafica de Tasa de pérdida de CO₂. Fuente: NFPA 12

Habiendo determinado el valor de la concentración de diseño mínima requerida, se debe de cuantificar el área de aberturas posibles que permitan la fuga del gas durante la inundación del sistema, y la altura promedio de estas aberturas sobre el suelo del área protegida, esta altura debe de estar expresada en pies. Las líneas inclinadas de la grafica 229 (izquierda) representan los valores de concentración de diseño obtenidos a partir de tablas (ilustración 228) preestablecidas. El eje de las x representa la altura del área de fugas en pies, y el eje de las y representa la velocidad de filtración. Con una línea, se debe de hacer coincidir el valor de la altura de las aberturas en pies, con el valor de la concentración de diseño. Al alcanzar este punto, se desplazara hacia la izquierda, y esto

dará la velocidad de filtración en libras de CO₂ por minuto por pie cuadrado. (Ver ejemplo en página). Teniendo la velocidad de filtración por minuto, se multiplicara la velocidad de filtración, por el área de fugas, y esto dará como resultado el ajuste que debe de hacerse en la cantidad mínima de la capacidad extintora para compensar las pérdidas por posibles fugas en el sistema de inundación. Este ajuste, se sumara a la cantidad mínima extintora, y esto será la mínima cantidad extintora ajustada que debe de especificarse.

Ejemplo de uso de la grafica



Para unidades SI, 1 pie = 0.305 m; 1 lb/min · pie² = 4.89 kg/min · m².

Datos:

Concentración de diseño: 34 %

Altura de fugas: 7 pies (2.10 metros fuga en marco de puerta, sobre altura de vano estándar)

Área de fuga: sobre marco semiabierto en puerta, 3 pies cuadrados (ancho de vano igual a 3 pies, altura 1 pie)

La concentración de diseño (34%) está representada por la línea verde, la altura de fugas (7 pies) está representada por la línea naranja, la resultante, está representada por la línea azul, el valor de la velocidad de filtración es aproximadamente 17 libras de CO₂/minuto * pie.

La cantidad de Dióxido de carbono a compensar es:

$$\frac{17 \text{ libras de CO}_2}{\text{minuto} \cdot \text{pie}} * 3 \text{ pies} = 51 \text{ Libras de CO}_2$$

De esta manera se determina según Normativa NFPA la capacidad mínima extintora que debe de dotarse al momento de planificar el sistema contra incendios.

Método VdS

En Alemania, los parámetros de VdS (Vertrauen dutch Sicherheit, Asociación de Aseguradores de Alemania, por sus siglas en Alemán) establecen otra manera de poder calcular la capacidad extintora a dotar en determinados recintos. La normativa alemana hace referencia al volumen mínimo dependiendo de la capacidad en metros cúbicos del

ambiente al cual se desea proteger, aplicando cierto margen de seguridad, que está relacionado con la naturaleza del almacenaje que se dé en el ambiente.

Cantidad de CO ₂ en función del volumen bruto del recinto a proteger, según parámetros Vds.		
de	a	por cada metro ³ de local
1 m ³	100 m ³	1 Kg de CO ₂
101 m ³	300 m ³	0.95 Kg de CO ₂
301 m ³	500 m ³	0.90 Kg de CO ₂
501 m ³	1000 m ³	0.85 Kg de CO ₂
1001 m ³	1500 m ³	0.80 Kg de CO ₂
1501 m ³	2000 m ³	0.75 Kg de CO ₂
más de 2001 m ³		0.70 Kg de CO ₂

Tabla 20, Cantidades de dióxido de carbono por unidad de volumen, según método de cálculo VDS, tabla de elaboración propia, datos obtenidos de

A este volumen mínimo estimado, se le debe de multiplicar por un coeficiente definido por VdS como “Factor de Riesgo”, de la siguiente manera

Factores de Riesgo a aplicar			
riesgo	factor de riesgo	riesgo	factor de riesgo
Alcohol Etílico	1.2	Etanol	1.3
Éter Etílico	1.5	Etileno	1.6
Oxido de Etileno	1.8	acetileno	2.5
Benceno	1.1	Butadieno	1.3
Gas Natural	1.1	Hexano	1.1
Isobutano	1.1	oxido de carbono	2.4
Metanol	1.6	Pentano	1.1
Propano	1.1	propileno	1.1
Sulfuro de Carbono	2.5	Tolueno	1.3
Hidrogeno	3.2		

Tabla 21, Factores de riesgo a aplicar, en cálculo de dióxido de carbono por método VDS, Tabla de elaboración propia, datos obtenidos de

La multiplicación de la cantidad de CO₂ en función del volumen bruto a proteger, por el factor de riesgo a aplicar, dará como resultado el volumen total de aprovisionamiento de dióxido de carbono a mantener en reserva ante la eventualidad de un incendio.

Espaciamiento y dimensionado de Boquillas para sistemas de CO₂

La norma NFPA 12, hace referencia al espaciamiento de boquillas y no establece ningún rango máximo de distancia, y únicamente hace referencia a que la localización y tamaño de las boquillas se debe de seleccionar de manera que asegure la distribución del dióxido de carbono en toda la red de tuberías, y una distribución uniforme en todo el local de incendio. NFPA 12, sección b3 establece que un parámetro aceptable es que las boquillas deben de cubrir un área mínima de 16 pies cuadrados.



Ilustración 234, descarga de gas a través de boquillas

Para determinar el número de boquillas necesario para proteger determinado ambiente, y llenar los requisitos establecidos por los reglamentos, se deben seguir los siguientes pasos:

Paso No. 1, determinar el volumen en metros cúbicos, del área que se desea proteger con el sistema de CO₂

Paso No. 2, calcular por medio de Método NFPA 12 o Método VdS el volumen necesario de aprovisionamiento mínimo a dotar para el recinto a proteger.

Paso No. 3, definir el rango de presión en el cual actuara el sistema, la presión del sistema estará en función de la velocidad a la que se desee alcanzar la concentración de diseño necesaria para suprimir el fuego, y esta está ligada con el tipo de riesgo al cual se está protegiendo, y la velocidad de respuesta esperada. Los sistemas de alta presión funcionan en un rango de 300 a 750 PSI



Ilustración 235, boquillas para sistema de dióxido de carbono

Paso No. 4, definido el rango de presión al cual se trabajara el sistema, se debe de chequear en las tablas NFPA cuál es la en función del diámetro, el coeficiente que corresponde a los valores de D^2 , y de $D^{1.25}$. se debe de determinar la presión terminal a la cual trabajara el sistema, para ello, NFPA 12 dispone de 2 graficas, en las cuales se debe de interpolar el valor del caudal dividido dentro del valor de D^2 , y el valor de la Longitud equivalente dividido dentro del valor de $D^{1.25}$, de la siguiente manera:

$$\frac{Q}{D^2}, \frac{L}{D^{1.25}}$$

Los valores de D^2 y $D^{1.25}$ deben de buscarse en función del diámetro de la tubería, en las tablas que aparecen a continuación

Tabla A-1-10.5(c) Valores de $D^{1.25}$ y D^2 para Varios Tamaños de Tubería

Tipo y Tamaño de Tubería	Diámetro Interior (Pulg.)	$D^{1.25}$	D^2
1/2 Std	0.622	0.5521	0.3869
1/4 Std.	0.824	0.785	0.679
1 Std.	1.049	1.0615	1.100
1 XH	0.957	0.9465	0.9158
1 1/4 Std.	1.380	1.496	1.904
1 1/4 XH	1.278	1.359	1.633
1 1/2 Std.	1.610	1.813	2.592
1 1/2 XH	1.500	1.660	2.250
2 Std.	2.067	2.475	4.272
2 XH	1.939	2.288	3.760
2 1/2 Std.	2.469	3.09	6.096
2 1/2 XH	2.323	2.865	5.396
3 Std.	3.068	4.06	9.413
3 XH	2.900	3.79	8.410
4 Std.	4.026	5.71	16.21
4 XH	3.826	5.34	14.64
5 Std.	5.047	7.54	25.47
5 XH	4.813	7.14	23.16
6 Std.	6.065	9.50	36.78
6 XH	5.761	8.92	33.19

en la primera columna aparecen los diámetros de tuberías, y aparecen sus correspondientes valores para D^2 , y $D^{1.25}$.

Estos valores son los que deben de utilizarse al momento de obtener los factores que se utilizaran para interpolar en la grafica de presión terminal suministrada por NFPA 12 para efectos de cálculo.

Una vez obtenidos estos valores, se debe de proceder a interpolarlos en la grafica que NFPA proporciona para estimar la presión terminal en las tuberías conductoras. Para ello, se procederá de la siguiente manera:

En la grafica de presión terminal, aparecen en el eje de las X los valores para $\frac{L}{D^{1.25}}$, de modo que sobre este eje debe de posicionarse el producto obtenido de la división entre estos 2 factores. En el cuadrante de la grafica, aparecen líneas curvas que interceptan los valores del eje X, estas curvas corresponden a los valores para $\frac{Q}{D^2}$, de modo que entre los intervalos de cada una de las curvas debe de localizarse y trazarse una curva paralela que represente el producto obtenido de la división entre estos 2 factores. Se localizara el punto donde se intercepten la prolongación del valor sobre el eje de las X y la curva en el cuadrante. Donde estos valores se interceptan, se trazara una recta hasta el eje de las Y, y ahí obtendremos el valor aproximado de la presión terminal en el sistema de la tubería. Teniendo este valor, se procederá a calcular el área equivalente de orificios en boquillas. Las tablas esta localizadas en la página 264,

Paso No. 5, definido el valor de la presión terminal, se debe de calcular la velocidad de descarga en las boquillas. Esta velocidad de descarga se calcula por medio de la siguiente expresión

$$Q_F = \frac{W_f}{1.4 T_L}$$

Donde

Q_f = velocidad de descarga, en Libras por minuto o Kilogramos por minuto, dependiendo de las unidades utilizadas

W_f = Cantidad de dióxido de carbono total calculado para el ambiente

T_L = Tiempo de descarga, estándar 1 minuto, pero puede variar de acuerdo al tiempo de descarga necesario o propuesto.

Paso No.6, se debe de calcular el área equivalente de agujeros, a partir de la siguiente expresión

$$A = \frac{Q}{Q_f}$$

Donde

A = Área equivalente de orificios, en mm

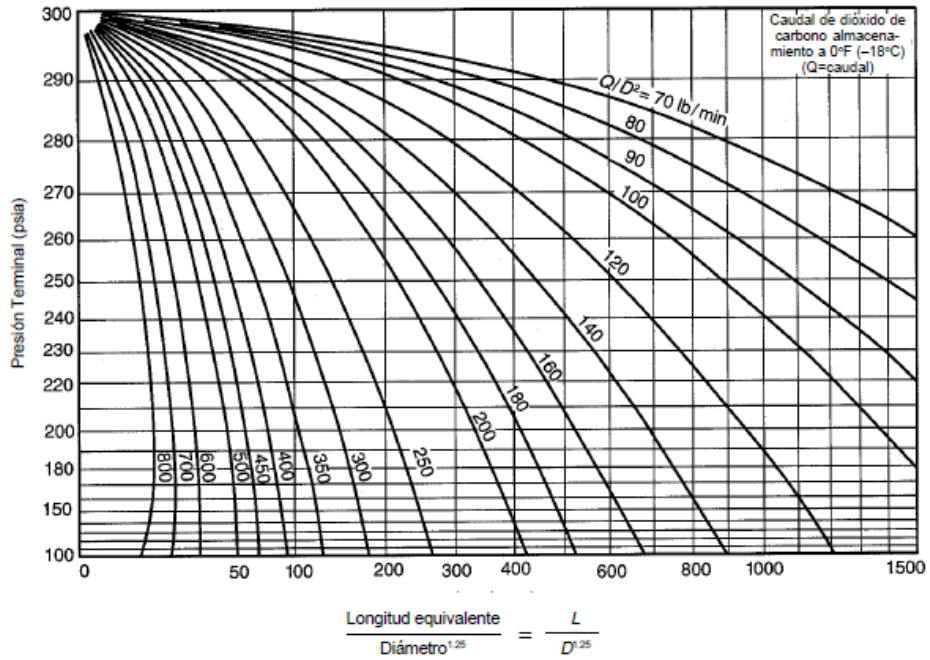
Q = Caudal de diseño (volumen de CO_2 calculado)

Q_f = Velocidad de Descarga

Este último paso, dará como resultado el área equivalente necesaria de agujeros, para compararlo contra el área de agujeros de boquillas especificada por el fabricante para cada modelo, y a partir de esta área, podremos saber por medio de una división, cuantas boquillas será necesario dotar en el sistema de CO_2

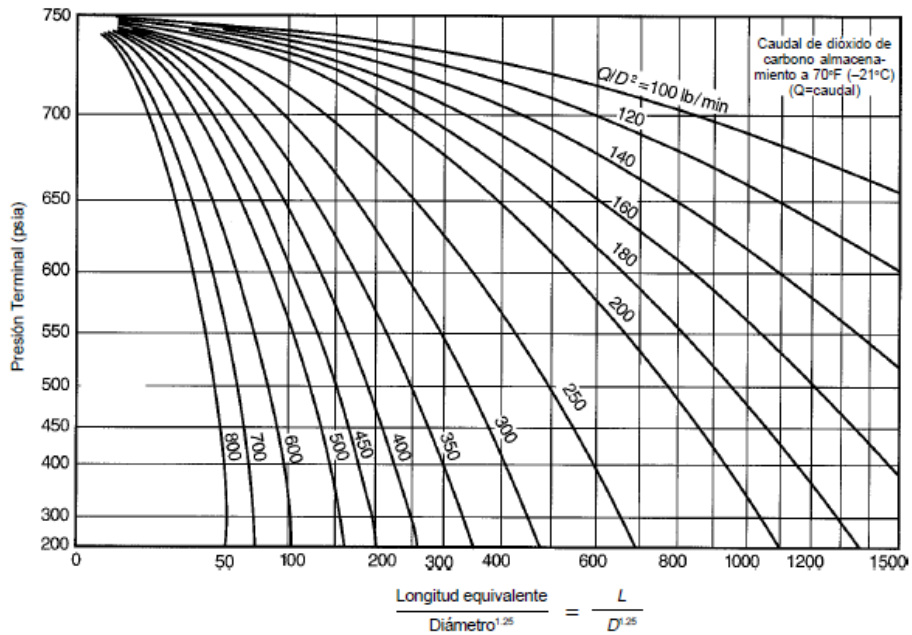
La superficie de agujeros será la superficie total de descarga necesaria para proteger el ambiente que se esté calculando. Se debe comparar entonces el valor de la superficie de agujeros contra las tablas NFPA 12, para corroborar el No. De código del orificio de salida de las boquillas propuestas en el sistema.

GRAFICA A-1-10.5(a) Caída de presión en la tubería para presión de almacenamiento de 300psia (2068 kPa).



Para unidades SI, 1 psia = 6.89 kPa; 1 lb/min = 0.454 kg/min

GRAFICA A-1-10.5(b) Caída de presión en la tubería para presión de almacenamiento de 750 psia (5171 kPa).



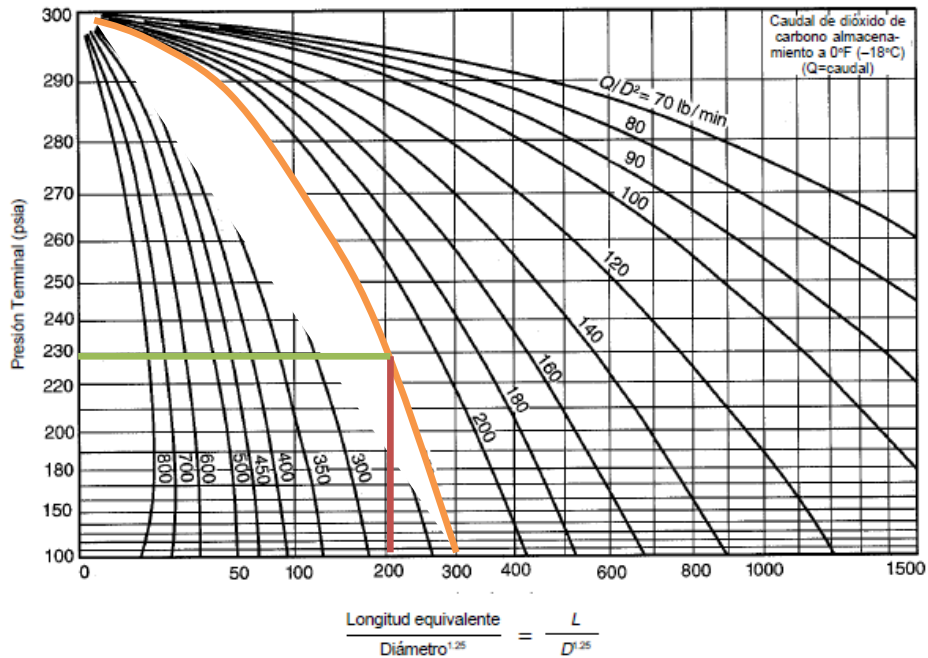
Para unidades SI, 1 psia = 6.89 kPa; 1 lb/min = 0.454 kg/min

Ejemplo de uso de la grafica

Se desea calcular la presión terminal de un sistema de baja presión consistente en una línea de tubería de 2 pulgadas de diámetro, con longitud de 500 pies, y una tasa de flujo de 1000 libras por minuto.

$$\frac{Q}{D^2} = \frac{1000}{4.28} = 234 \text{ Libras / Minuto} \quad ; \quad \frac{L}{D^{1.25}} = \frac{500}{2.48} = 201 \text{ Pie/D}^{1.25}$$

GRAFICA A-1-10.5(a) Caída de presión en la tubería para presión de almacenamiento de 300psia (2068 kPa).



Para unidades SI, 1 psia = 6.89 kPa; 1 lb/min = 0.454 kg/min

Se procede a trazar la recta, localizando el punto de las X representado por la línea roja el valor de $\frac{L}{D^{1.25}} = \frac{500}{2.48} = 201 \text{ Pie/D}^{1.25}$

Se procede a trazar la curva, localizando en las curvas que interceptan las rectas, con el valor de $\frac{Q}{D^2} = \frac{1000}{4.28} = 234 \text{ Libras / Minuto}$, representado por la curva naranja

Donde se interceptan la recta y la curva, ese punto se prolonga hacia el eje de las Y, con una línea representada por la línea verde, y ese será el valor de la presión final en la línea de tubería.

Tabla 1-10.5.3 Velocidad de Descarga por Pulgada Cuadrada de Área Equivalente de Orificio para Almacenamiento a Alta Presión [750 psia (5171 kPa)]

Presión en el Orificio		Velocidad de Descarga	
psia	kPa	lb/min-in. ²	kg/min-mm ²
750	5171	4630	3.258
725	4999	3845	2.706
700	4826	3415	2.403
675	4654	3090	2.174
650	4481	2835	1.995
625	4309	2615	1.840
600	4137	2425	1.706
575	3964	2260	1.590
550	3792	2115	1.488
525	3620	1985	1.397
500	3447	1860	1.309
475	3275	1740	1.224
450	3103	1620	1.140
425	2930	1510	1.063
400	2758	1400	0.985
375	2586	1290	0.908
350	2413	1180	0.830
325	2241	1080	0.760
300	2068	980	0.690

Tabla 1-10.5.2 Velocidad de Descarga por Pulgada Cuadrada de Área Equivalente de Orificio para Almacenamiento a Baja Presión [300 psia (2068 kPa)]

Presión en el Orificio		Velocidad de Descarga	
psia	kPa	lb/min-in. ²	kg/min-mm ²
300	2068	4220	2.970
290	1999	2900	2.041
280	1931	2375	1.671
270	1862	2050	1.443
260	1793	1825	1.284
250	1724	1655	1.165
240	1655	1525	1.073
230	1586	1410	0.992
220	1517	1305	0.918
210	1448	1210	0.851
200	1379	1125	0.792
190	1310	1048	0.737
180	1241	977	0.688
170	1172	912	0.642
160	1103	852	0.600
150	1034	795	0.559

Instalaciones de extinción y supresión a base agentes halogenados, definiciones, parámetros y criterios

Los agentes extintores halogenados son hidrocarburos en los que uno o más átomos de hidrogeno han sido sustituidos por átomos de halógeno: flúor, cloro, bromo y yodo.

La sustitución confiere no solo inflamabilidad, sino también propiedades extintoras de llama a muchos de los compuestos resultantes. Estos agentes se emplean en extintores portátiles y en sistemas de extinción.

El mecanismo de extinción de los agentes halogenados no está totalmente claro. Existe sin duda una reacción química que interfiere en el proceso de combustión, actúan eliminando los elementos químicos activos que interfieren en las reacciones en cadena de la llama. Aunque todos los halógenos son activos de esta manera, el bromo es mucho más efectivo que el cloro o el flúor.

Todos los agentes halogenados tienen una alta velocidad de extinción, esto se debe a que interfieren en los más profundos niveles de la combustión como lo es el proceso de la reacción química en cadena.⁴⁶

Agentes Halogenados

Los agentes halogenados se conocen actualmente como halones, y existe un sistema para la denominación de los hidrocarburos halogenados. Este sistema simplificado de nomenclatura describe la composición química de los materiales sin necesidad de emplear los nombres químicos ni las abreviaturas para evitar confusiones. Este, identifica los agentes halogenados de la siguiente manera:

Nombre Químico	Fórmula	Nro. de Halón
Bromuro de metilo	CH ₃ Br	1001
Ioduro de metilo	CH ₃ I	10001
Bromoclorometano	BrCH ₂ Cl	1011
Dibromodifluorometano	Br ₂ CF ₂	1202
Bromoclorodifluorometano	BrClCF ₂	1211
Bromotrifluorometano	BrCF ₃	1301
Dibromotetrafluoretano	Br ₂ C ₂ F ₄	2402

Los agentes halogenados, tienen todas características químicas que hacen que cada uno de ellos tenga aplicaciones específicas para determinadas condiciones, y para determinado tipo de fuegos. Los agentes halogenados actúan de una manera más rápida que el Dióxido de Carbono.

⁴⁶ Red Proteger, LOS HALONES Y AGENTES LIMPIOS, Ing. Nestor Adolfo Botta, 1era edición, Argentina, año 2010

Debido a que los agentes halogenados son gases o líquidos que se vaporizan rápidamente en los fuegos, los halones no dejan residuos corrosivos o abrasivos después de su empleo. No son conductores de la electricidad y poseen alta densidad en estado líquido, lo que permite el empleo contenedores de almacenamiento compactos. Las áreas de mayor uso son para la protección de equipos eléctricos o electrónicos, de motores de vehículos aéreos, y terrestres y otras áreas donde es importante una rápida extinción o donde deba reducirse al mínimo el daño a equipos o materiales o la limpieza después de su empleo.

Nº Halón	Tipo de Agente	Punto de ebullición (°C)	Calor latente de evaporación H ₂ O = 540 kcal/kg CO ₂ = 138 kcal/kg
104	Líquido	76,5	46
1001	Líquido	4,5	62
1011	Líquido	66,0	--
1202	Líquido	24,5	29
1211	Gas licuado	-4	32
1301	Gas licuado	-58	28
2402	Líquido	47	25

Funcionamiento de un sistema de supresión por Agentes halogenados

Los sistemas de aplicación de agentes halogenados, son similares a los sistemas de aplicación para Dióxido de Carbono, son utilizados por medio de inundación total, o por medio de aplicación local.

Las concentraciones de diseño a utilizarse para los agentes halogenados varían de acuerdo al tipo de sistema a utilizar, de la siguiente manera:

- sistemas de inundación total, son recomendables los halones 1301 y 1211. El halón 1301 requiere como promedio 10% menos de volumen que el 1211, al emplearse contra cualquier combustible. En general se acepta que, para el mismo peso, ambos agentes son aproximadamente dos veces y media más efectivos que el dióxido de carbono.
- Aplicación local, halón 2402. La capacidad de extinción de llama de los vapores del halón 2402 es muy buena y muy parecidas a las del halón 1301 y 1211, pero debido a que es líquido a la temperatura de la habitación, es que se lo destina para aplicaciones locales.

Sistemas de inundación total

Los sistemas de inundación total de agentes halogenados, deben de aplicarse a recintos cerrados, donde pueda tener acción la concentración de diseño calculada para determinada condición de fuego, de forma que el recinto debe de estar parcial o totalmente sellado al momento de la aplicación del agente halogenado.

Los agentes halogenados son menos tóxicos que el dióxido de carbono, y dependiendo de la concentración de diseño, son inofensivos para el usuario, que pudiera quedar confinado dentro de un ambiente al momento de la descarga del agente. Este tipo de

sistemas son ideales para aplicaciones en las cuales este comprometido cualquier equipo que sea delicado o susceptible de dañarse con otros agentes que pudieran causar el mismo daño que el fuego, de tal manera que al momento de suprimir el incendio, también cuiden de los valores

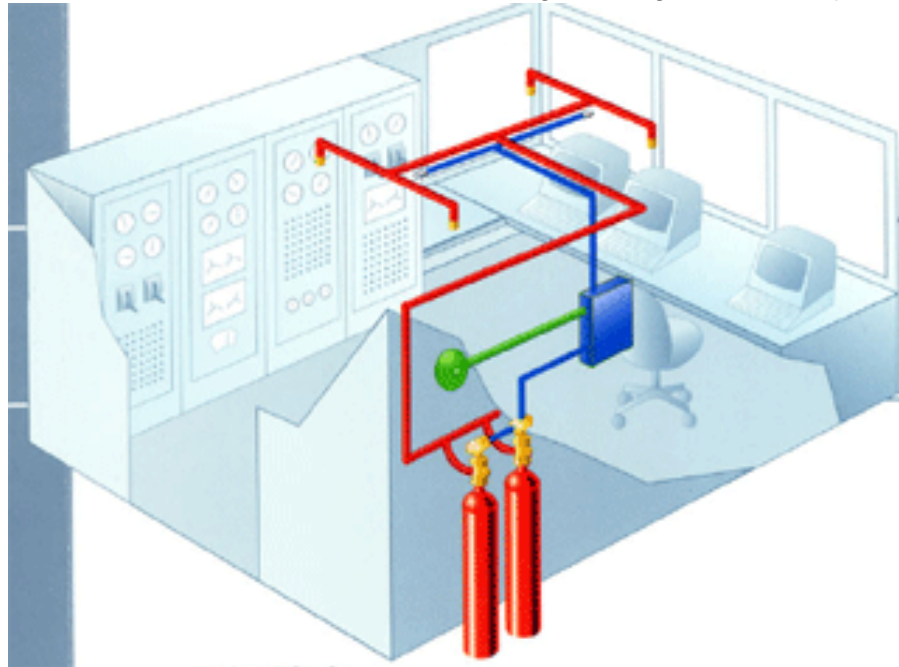


Ilustración 236, funcionamiento de un sistema de bromotrifluorometano

depositados en los recintos protegidos. Estos sistemas están constituidos de la siguiente manera:

- Sistema automático de detección
- Sistema de almacenamiento (agente comprimido)
- Sistema de líneas de conducción (tuberías)
- Sistema de boquillas de descarga

Diseño de sistemas de supresión por agentes halogenados

Los agentes halogenados, son agentes limpios que actúan más rápidamente que el dióxido de carbono, y tienen la característica que al estar comprimidos en altas presiones son líquidos, pero la descarga final es en forma de gas. Debido a esto, las condiciones en las cuales se aplicaran este tipo de sistemas tienen que ser condiciones cuidadosamente diseñadas y planificadas, para que el sistema sea eficiente al momento de ser necesitado, y cumpla a cabalidad su función.

Cuando se diseña un sistema de inundación total para agentes halogenados, se debe de tomar en cuenta que es absolutamente necesario que los ambientes a proteger sean herméticos, sin fugas. Esto significa dotar al ambiente de elementos de sello en puertas, ventanas y sistemas de ventilación electromecánicos. Esto es fundamental debido a 2 razones:

- Los agentes halogenados, específicamente hablando del halógeno 1301 (bromotrifluorometano) actúan a nivel molecular en las cadenas de combustión, por lo cual es necesario saturar el ambiente con determinada concentración de diseño, la cual será alcanzada si no existe adición de oxígeno de ninguna forma.
- Según NFPA 12A, la descarga estándar de agentes halogenados debe de ser efectuada en 10 segundos, debido a esto, el gas se mantiene en altas presiones, y al momento de ser saturado el ambiente, debe de tener el máximo grado de hermeticidad y sello presurizado, para garantizar que el tiempo de descarga se cumpla, así como el tiempo de retención del agente en el ambiente.

Almacenamiento de agentes Halogenados

El almacenaje de los agentes halogenados se debe de planificar desde la fase de diseño, considerando que debido a los requerimientos de densidad y de presión del sistema, los contenedores de halógenos soportan altas presiones, y debido a ello, la temperatura de almacenaje juega un papel importante en la seguridad del abastecimiento del agente halogenado.



Ilustración 237, banco de almacenamiento de bromotrifluorometano

Para poder alcanzar las altas presiones de descarga que deben de tener estos sistemas, aparte de la carga del agente extintor, por lo regular son superpresurizados con nitrógeno seco a 600 PSI.

NFPA 12A establece que para el almacenaje seguro de los agentes halogenados, se debe de tener como parámetro que la densidad de llenado de la carga del agente no debe de superar en ningún momento 70 libras por pie cubico, o 1121 kilogramos por metro cubico.

Las temperaturas de almacenaje en ningún momento deben de exceder 130°F (55°C) ni ser menores a -20°F (-29°C) para el suministro de agente para sistemas de inundación

total. Cuando sea necesario tener un sistema de almacenamiento de bromotrifluorometano en temperaturas que por factores ambientales superen los límites, se debe de hacer los ajustes correspondientes en la densidad de llenado, o proveer un sistema ya sea de calentamiento o de enfriamiento para el agente, según sea necesario.

Sistema de Tuberías de conducción de agentes halogenados

Un sistema de agentes halogenados se calcula con una presión mínima de 1000 PSI para sistemas de alta presión con carga presurizada a 600 PSI, y con una presión mínima de 600 PSI para sistemas de baja presión con carga presurizada a 320 PSI.



Ilustración 238, tuberías de acero sin costuras

De acuerdo con lo establecido en la norma NFPA 12A, para un sistema de supresión por agentes halogenados las tuberías de conducción del agente extintor deben de ser de acero negro o galvanizado, con especificación ASTM A53

sin costura o soldadura eléctrica, grado A o B, o bien, ASTM A106 grado A, B o C. si se utilizan secciones de tubo de acero inoxidable, este debe de cumplir con especificaciones TP304 o TP316, para conexiones roscadas, y TP304L o TP316L para conexiones soldadas. Para las líneas de conducción donde se utilice gas en alta presión, se puede especificar un diámetro desde ¾ de pulgada y aun menores, siempre y cuando la tubería cumpla con especificaciones ASTM anteriormente citadas, y además, cedula 40. Las tuberías de 1 pulgada hasta 4 pulgadas deberán ser mínimo cedula 80, sin costura.

Calculo de Diámetro de Tuberías

El diámetro mínimo de las líneas de tubería para un sistema de agentes halogenados de alta presión, puede calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$D = \sqrt[5]{\frac{Q^2 S L_e}{(P_1^2 - P_2^2)(52.335^2)}}$$

Donde,

D= Diámetro mínimo, en metros

Q = Caudal o Gasto nominal en la tubería, en Metros cúbicos/hora

S = Densidad del agente halógeno

L_e = Longitud equivalente, en metros

P_1 = Presión de entrada

P_2 = Presión de salida

Debe de tenerse en mente, que para que la formula funcione, todos los parámetros deben de estar en unidades del sistema internacional, si existieran unidades diferentes, se debe de hacer la conversión entre cada sistema, de manera que todas y cada una de las unidades a utilizar estén en unidades del SI

Cedula de tuberías

De acuerdo a NFPA 12A, se debe de calcular el mínimo espesor permitido en las paredes de la tubería, es decir, la cedula del tubo. Al momento de efectuar estos cálculos, se debe de tener en mente que NFPA establece parámetros ASTM mínimos a los cuales debe de obedecer el tipo de tubería a especificar en planos para este tipo de sistemas.

La cedula de la tubería se calculara de la siguiente forma:

$$t = \left(\frac{PD}{2SE} \right) + A$$

Donde

T= espesor de pared de tubo requerido, en pulgadas

D =diámetro exterior de la tubería, en pulgadas

P = Máxima presión admisible en la tubería

SE = Máxima tensión admisible en la tubería

A = permisibilidad para uniones atornilladas, biseladas, roscadas, etc.

El valor de A podrá ser la profundidad de la rosca en conexiones roscadas, cero para las uniones soldadas, cero para las juntas bridadas, cero para las uniones en tuberías de cobre con fittings de compresión.

El valor de SE esta definido como $\frac{1}{4}$ de la capacidad de tensión del material de la tubería, multiplicado por un coeficiente de eficiencia de uniones, este coeficiente de eficiencia en uniones es dado de la siguiente manera:

- 1 para tubería sin costura
- 0.85 para tubería tipo ERW (Electric Resistance Welding)
- 0.60 para uniones con soldadura continua

El Valor de SE está especificado en ASME B31.1 para tuberías con especificación ASTM, de la siguiente manera:

	Document	SE Value
Grade C Seamless Pipe	ASTM A 106	17500 psi (120662 kPa)
Grade B Seamless Pipe	ASTM A 53	15000 psi (103425 kPa)
Grade B Seamless Pipe	ASTM A 106	15000 psi (103425 kPa)
Grade A Seamless Pipe	ASTM A 53	12000 psi (82740 kPa)
Grade A Seamless Pipe	ASTM A 106	12000 psi (82740 kPa)
Grade B ERW Pipe	ASTM A 53	12800 psi (88256 kPa)
Grade A ERW Pipe	ASTM A 53	10200 psi (70329 kPa)
Class F Furnace Welded Pipe	ASTM A 53	7200 psi (49608 kPa)
Seamless Copper Tubing (Annealed)	ASTM B 88	5100 psi (35164 kPa)
Seamless Copper Tubing (Drawn)	ASTM B 88	9000 psi (62055 kPa)

Soportes de tuberías

Las tuberías de conducción del agente necesitan de soportes para poder sostenerse, dado que muy rara vez la tubería puede diseñarse para ser auto soportante. Debido a ello, se debe de cumplir con ciertas condiciones mínimas estipuladas para los soportes de las tuberías.

Los soportes o pescantes para tuberías deben de ser espaciados de acuerdo al diámetro de la tubería, pero también deben de cumplirse los siguientes parámetros

- Los soportes o pescantes de tuberías deben de estar localizados generalmente siempre a 12 pulgadas de las boquillas de descarga
- Cuando existan codos, los soportes o pescantes de las tuberías deben de estar localizados con una separación mínima de 24 pulgadas entre secciones con codos, y a 12 pulgadas del codo más próximo
- Los soportes deben de ser fijados a estructuras capaces de soportar la tubería con carga de operación o de flujo al momento de ser utilizado el sistema.

La normativa internacional BS ISO 14520-1:2000 establece la separación entre soportes de líneas de tuberías suspendidas de estructuras, de la siguiente manera:

separación de pescantes en líneas de tuberías			
diámetro de la tubería		máximo espaciamiento	
milímetros	pulgadas	metros	pies
10	3/8	1	3
15	1/2	1.5	5
20	3/4	1.8	6
25	1	2.1	7
32	1 1/4	2.4	8
40	1 1/2	2.7	9
50	2	3.4	11
65	2 1/2	3.5	11.5
80	3	3.7	12
100	4	4.3	14
150	6	5.2	17

peso de tuberías cedula 40 por metro lineal			
diámetro de tubería		peso Kg / metro	
mm	pulgadas	Kg / metro	libras / metro
12.7	1/2	1.347	2.97
19.05	3/4	1.69	3.73
25.4	1	2.73	6.02
31.8	1 1/4	3.41	7.52
38	1 1/2	4	8.82
51	2	5.4	11.90
64	2 1/2	8.6	18.96
76	3	11.3	24.91
89	3 1/2	13.6	29.98
102	4	16.1	35.49
127	5	21.8	48.06
152	6	28.2	62.17
203	8	42.5	93.70

Los soportes de las tuberías deben de ser colocados de tal manera que se respeten los parámetros anteriormente descritos, esto debe de tomarse en cuenta al momento de diseñar la red de tuberías, de modo que el espaciamiento de los soportes debe de estar supeditado al espaciamiento calculado de las boquillas, y que las distancias mínimas de seguridad, tanto en el diseño del sistema de boquillas como en el posicionamiento de elementos soportantes, no interfiera uno con el otro y se cumplan los estándares mínimos establecidos.

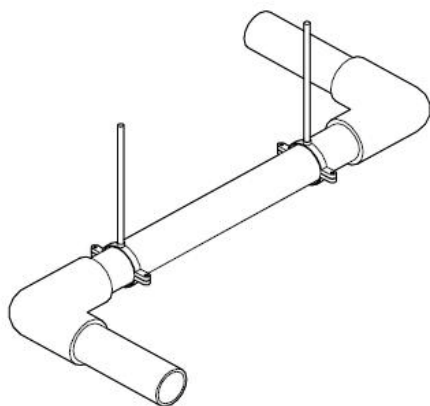


Ilustración 240, soportes de tubería con codos

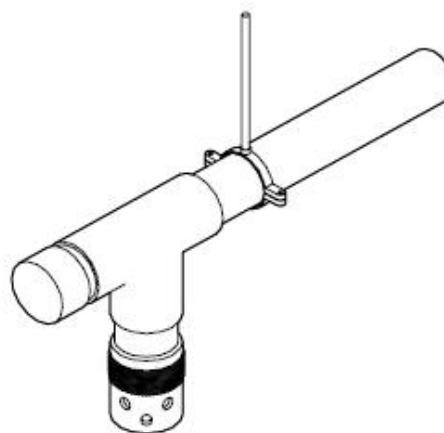


Ilustración 239 soportes de tubería con boquilla

Conexiones en tuberías

En este tipo de sistemas, puede darse las conexiones por medio de bridas, uniones



Ilustración 241, uniones con flanges y con brida soldada a la tubería



Ilustración 242, uniones por medio de fittings

roscadas, fittings, o soldaduras. Se debe de especificar que en cualquier caso, todas las uniones deben de ser calculadas para altas presiones, por lo que es aplicable códigos específicos para el cálculo y diseño de la tubería, así como las uniones en el sistema. Las uniones por medio de fittings, deben de hacerse con accesorios que cumplan ASTM A420

Uniones soldadas

Para este tipo de sistemas, cuando se especifican uniones de tubería soldadas, se debe de cumplir con lo especificado en ASME B31.1, y el punto de fusión del cordel de soldadura a aplicar en la tubería, por recomendación NFPA 13 debe de ser de 1000°C.

Si se tratara de uniones soldadas, se debe de especificar en detalles constructivos que los tramos de tuberías necesariamente deben de ser biselados, de manera de aplicar cordel de soldadura que no tengan partes vacías, y efectuados de acuerdo a lo contenido en ASME B31.1

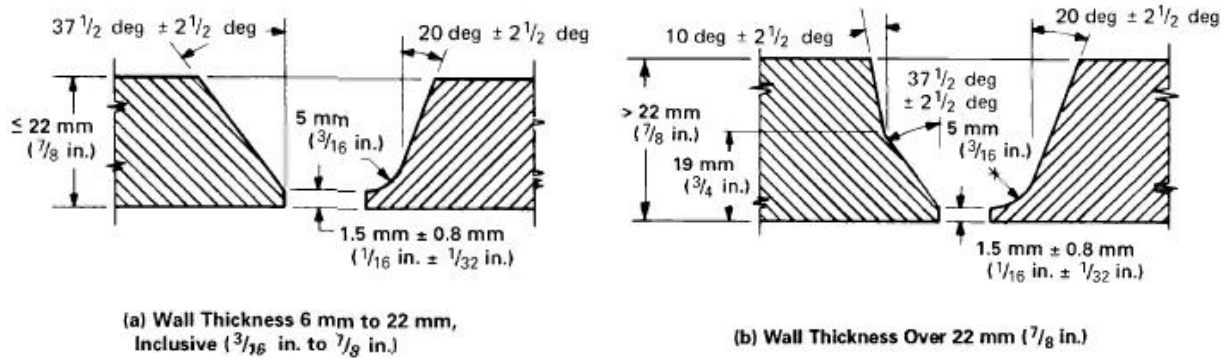
Los filetes de soldadura deben de tener borde en forma de lomo, cóncavo cuando se trate de uniones en tuberías, y convexo cuando se trate de uniones de tuberías a flanges. Las soldaduras se deberán de especificar según parámetros de AWS (American Welding Society , por sus siglas en ingles)

Se debe de especificar en planos, según NFPA 13 las condiciones para las uniones soldadas, de la siguiente manera:

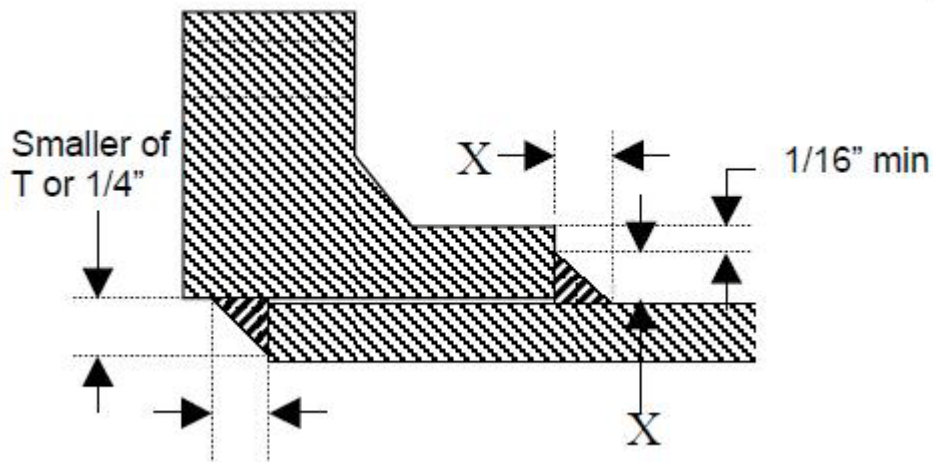
- Procesos de soldadura (arco eléctrico, plasma, MIG, TIG, STIG)
- Base de metal para soldadura
- Tipo de electrodo a utilizar
- Diseño de lomo o filete de soldadura
- Temperaturas de precalentamiento, comúnmente cuando se suelda tubería, antes de iniciar el proceso de soldadura, se debe precalentar a 50°C

- Tipo de tratamiento post-soldadura
- Mezcla de gases de protección, cuando se utilicen procesos que involucran gas (MIG, TIG)
- Características eléctricas del proceso de soldadura, por cada tipo y tamaño de electrodo

Dependiendo de la cedula del tubo, ASME recomienda algunos procesos de biselado para las piezas de tubería a unir, de la siguiente manera:



Cuando se requiere hacer soldaduras en la tubería para unir secciones de tubería con flanges, AWS establece que debe de hacerse con filetes de soldadura localizados en la boca de la brida, y en la boca del tubo, como se muestra en la imagen a continuación



De tal manera que la soldadura quede aplicada en el inicio de la boca del tubo y en el final del cuello de la brida.⁴⁷

⁴⁷ Walter J. Sperko, WELDING FIRE PROTECTION PIPING, Greensborough, NC.

Cuando se deba de especificar uniones a tope de tubería, sin niples o fittings, puede especificarse una soldadura con anillo de unión, la cual será aplicada a los bordes biselados del tubo, y como filete en la ranura biselada entre secciones de tubería, de la siguiente manera

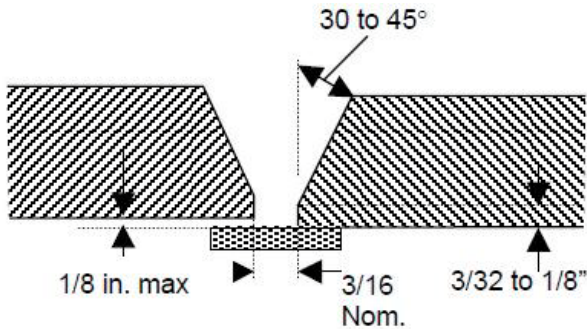
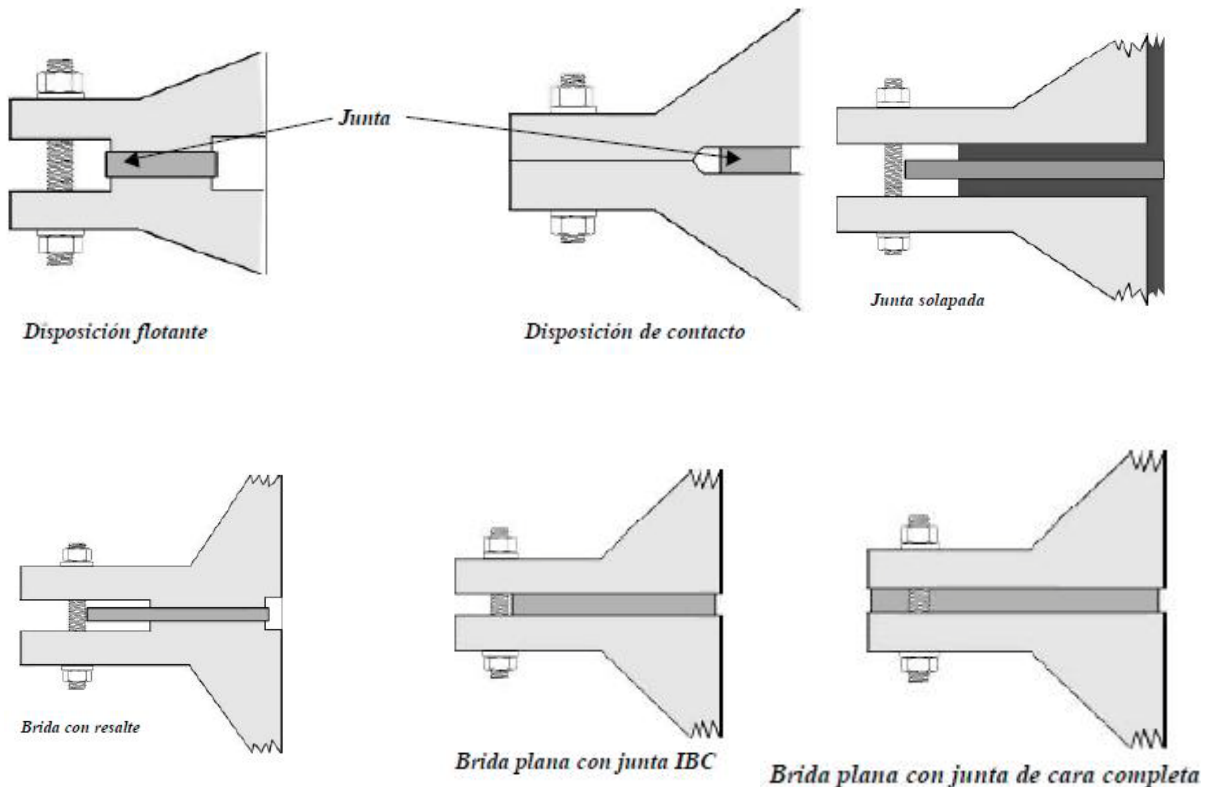


Ilustración 243, sección de unión biselada para piezas de tubería

Ilustración 244, uniones de tubería con anillo de soporte

Sellos y empaquetaduras en bridas

Las bridas son uniones en las cuales un flange perforado se une firmemente con soldadura a una pieza de tubería. En estas uniones es absolutamente necesario especificar el tipo de empaquetadura o junta para garantizar el sello hermético de la tubería. Dependiendo del tipo de brida a especificar, existen diferentes tipos de sellos, que deben de especificarse en planos, algunos de los cuales son los siguientes



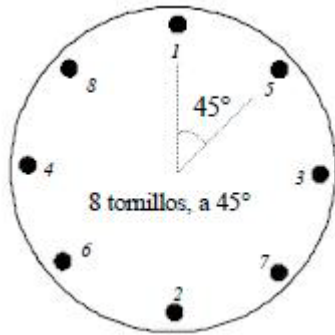


Ilustración 245, secuencia de apretado de tornillos en uniones con brida

De acuerdo a lo especificado en UNE EN 1759-1 bridas para tuberías de acero, existe una manera de apretar los tornillos de las conexiones bridadas, esto, para garantizar que al momento de aplicar el torque correspondiente, las bridas entren en contacto de una manera paralela, sin someter los tornillos a esfuerzos adicionales que puedan fracturarlos. La figura a la izquierda muestra la manera en la que debe de especificarse el apriete en bridas de

conexiones para las tuberías de alta presión.

Tuberías y acoples flexibles

Las mangueras a especificarse en este tipo de sistemas, ya sea mangueras de acople a las botellas de alta presión o uniones flexibles, deben de tener un factor de resistencia a la rotura de por lo menos 5000 PSI, y cuando se trate de sistemas a baja presión, este factor será como mínimo 1800 PSI. Estas mangueras pueden ser flexibles de acero inoxidable, o bien de resorte de acero con forro de hule y recubrimiento de polímero.



Ilustración 246, mangueras flexibles en acero inoxidable

En los puntos donde sea necesario hacer uniones con bridas, ya sea para válvulas o para uniones flexibles, las bridas deben de ser clase 600, con empaquetaduras de alta presión, para garantizar hermeticidad en el sello y evitar fugas en uniones flexibles o uniones a válvulas.

En el diseño de las líneas de tuberías se debe de considerar que si se trata de un sistema de alta presión, las presiones serán de 1000 PSI, por lo que al momento de calcular el diámetro de la tubería a utilizar, se tendrá como presión inicial de diseño la presión máxima a la cual estará trabajando el sistema de agente halogenado.

Juntas de dilatación para tuberías de Acero para sistemas de agentes halogenados

Se debe de estimar que los sistemas de alta presión para bromotrifluoroetanos estarán sometidos a bruscos cambios de temperatura, los cuales a pesar de ser de corta duración (descarga estándar 1 minuto), son de considerable magnitud. La descarga procedente de las botellas de gas comprimido, llegara al sistema de tuberías con una temperatura promedio de -58°C , y la temperatura ambiente de la ciudad de Guatemala oscila entre una máxima de 24°C y una mínima de 16°C . Esto supondrá una diferencia instantánea de

82°C para condiciones de temperatura máxima, y 74°C para condiciones de temperatura mínima.

La dilatación lineal en los cuerpos está en función de los cambios de temperatura que sean experimentados, en este caso, los cambios de temperatura que actuaran sobre la tubería que cuando no esté en uso se conservara a temperatura ambiente, y al momento de ser utilizada, se contraerá por efecto del cambio de temperatura.

Este cambio de temperatura inducirá que la tubería se contraiga, es decir, se acorte por efecto térmico una determinada longitud, expresada por ΔL y esta diferencia de longitud puede ser calculada de la siguiente manera:

$$\Delta L = k * L * C * \Delta t$$

Donde

ΔL = Cambio de longitud

K = constante, con valor de 1000, si L esta en metros, C esta en $^{\circ}C^{-1}$, y Δt en $^{\circ}C$, bajo estas condiciones, ΔL estará expresado en mm

K = constante, con valor de 12 si L esta en pies, C esta en $^{\circ}F^{-1}$ y Δt en $^{\circ}F$, bajo estas condiciones, ΔL estará expresado en pulgadas

L = longitud original

C = Coeficiente de expansión Lineal

Δt = cambio de temperatura

Para el acero, el coeficiente de expansión lineal es $1.2 * 10^{-5} \text{ } ^{\circ}C^{-1}$

Las juntas por dilatación o contracción de tubería, son accesorios que vienen específicamente

diseñados para contraerse o para alargarse dependiendo de la necesidad del diseño, y habiéndose calculado cuanto se dilatara la tubería,

se debe de proponer las juntas necesarias, a efectos de prevenir cualquier falla por



Ilustración 247, Junta de dilatación de alta presión, hecha en hule



Ilustración 248, Junta de dilatación de alta presión hecha de resorte de acero

contracción en la tubería. Una línea de tubería sometida a este tipo de cambios bruscos de temperatura puede fallar por ruptura en uniones bridadas, por ruptura de tornillos en conexiones bridadas, por desgarramiento en uniones soldadas.

Las juntas deben de especificarse según el tipo de junta que se escoja, ya sea de resorte, de manguera flexible, de hule, pero en todo caso, debe de especificarse que las bridas y la conexión flexible cumplan con los requerimientos mínimos de presión establecidos en NFPA 12



Ilustración 249, Juntas de expansión con resorte



Ilustración 251, compensador de expansión con junta de caucho

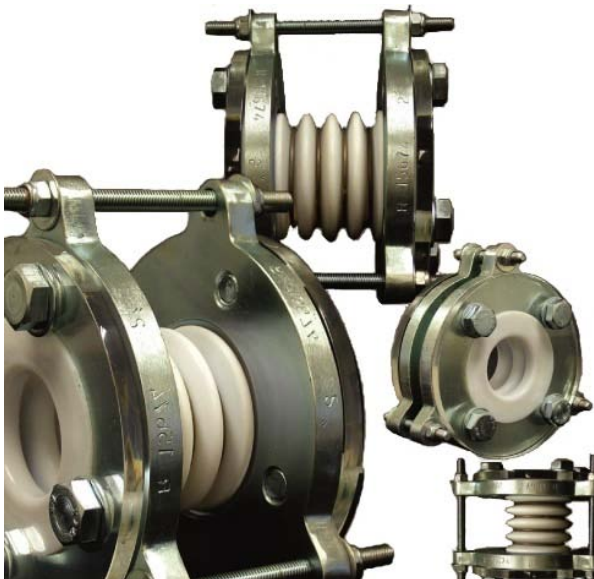


Ilustración 250, compensador de expansión con junta de goma



Ilustración 252, compensador de contracción de acero inoxidable

Calculo de volumen de agente halogenado para supresión de incendio

La normativa NFPA 12 A, standard on halon 1301 fire extinguishing systems, establece determinadas condiciones mínimas que deben de cumplirse al momento de planificarse un proyecto en el cual existan recintos que deban de protegerse por medio de sistemas de supresión a base de bromotrifluorometano.

La sección 5.3 del manual NFPA 12A, que habla a cerca de los cerramientos, hace referencia a que para todos los tipos de incendios, el área que no pueda ser cerrada o hermetizada debe de ser mínima, es decir, todos los elementos constructivos deben de facilitar sellar determinado ambiente al momento de la descarga de halón 1301. Para prevenir la pérdida del agente a través de aberturas hacia otros ambientes, las aberturas o las fugas deben de ser selladas permanentemente o equipadas con juntas que permitan cerramientos automáticos. Cuando el confinamiento del agente no pueda darse, debido a que exista relación necesaria con otros ambientes a través del recinto protegido, entonces deberá de extenderse la protección con agente halogenado a las demás áreas relacionadas, que tengan conexión con el recinto a proteger. Esto, para garantizar que la descarga sea capaz de proveer la concentración de diseño mínima requerida para ser eficaz en los 10 segundos de duración de la descarga estándar.

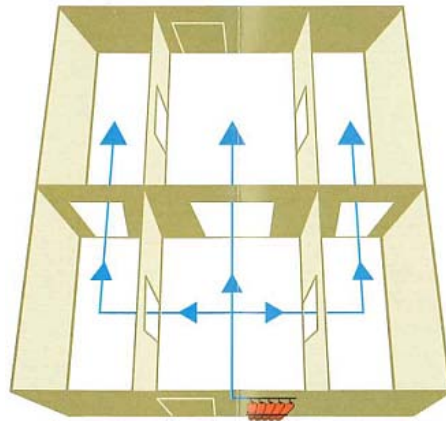


Ilustración 253, cuando no es posible una descarga local debido a fugas, se debe de proteger todos los ambientes circundantes para garantizar la protección y la concentración de diseño requerida

Cuando debido a la naturaleza de las sustancias combustibles contenidas dentro del recinto a proteger exista el riesgo de una reignición o de una explosión, se debe de hacer uso de una concentración de diseño de gas que contemple un porcentaje de inertización de la atmosfera explosiva del recinto a proteger. Para determinados combustibles y sustancias altamente inflamables, NFPA 12A establece parámetros fijos de porcentajes de inertización adicional a la carga a calcular como dotación de agente extintor.

Determinación de cantidad total de halón 1301 para sistemas de inundación

La cantidad de bromotrifluorometano requerido para alcanzar las concentraciones de diseño mínimas para la supresión del incendio, deben de ser calculadas de acuerdo a lo estipulado en NFPA 12A de la siguiente manera:

$$W = \frac{V}{s} \left(\frac{C}{100 - C} \right)$$

Donde

W = peso de halón 1301 requerido para alcanzar la concentración de diseño, en libras

S = $2.2062 + 0.00546 t$, donde **t** es la temperatura del ambiente a proteger, en °F

V = volumen neto del ambiente de riesgo a proteger, volumen cerrado menos el volumen de cualquier estructura impenetrable por el halón

C = concentración de diseño de halón 1301, en porcentaje por volumen

Cada una de las unidades de medida para esta fórmula, debe de ser introducida en unidades del sistema ingles, libras, pies, grados Fahrenheit si se utilizan unidades del sistema internacional, deberá de hacerse el ajuste correspondiente, para kilogramos, metros cúbicos y grados Celsius respectivamente

Tanto la concentración adicional por inertización, como la concentración de diseño en porcentaje por volumen están dadas en tablas que establecen coeficientes precalculados, de la siguiente manera

Table 5.4.1.2 Halon 1301 Design Concentrations for Flame Extinguishment (in 25°C at 1 atm)

Fuel	Minimum Design Conc. % by Volume
Acetone	5.0
Benzene	5.0
Ethanol	5.0
Ethylene	8.2
Methane	5.0
n-Heptane	5.0
Propane	5.2

Table 5.4.1.1.1 Halon 1301 Design Concentrations for Inerting

Fuel	Minimum Conc. % by Volume ¹
Acetone	7.6
Benzene	5.0
Ethanol	11.1
Ethylene	13.2
Hydrogen	31.4
Methane	7.7
n-Heptane	6.9
Propane	6.7

Ilustración 254, concentración de diseño en porcentaje por volumen

Ilustración 255, concentración de inertización

Es posible, de acuerdo a los requerimientos de concentración de diseño, agregar cantidades adicionales del agente para compensar cualquier condición especial que pudiera afectar la eficiencia de la supresión del sistema.

Ajustes por elevación en metros sobre el nivel del mar

Debido a la naturaleza química del bromotrifluorometano, la concentración de diseño calculada, está sujeta a la altura en metros sobre el nivel del mar.

Las concentraciones de diseño contenidas en las ilustraciones 250 y 251 deben de ser ajustadas en función de la elevación en metros sobre el nivel del mar del lugar donde se esté proponiendo el sistema supresor de incendios, y debe de ser compensada para todas aquellas altitudes mayores a 1000 msnm, metros sobre el nivel del mar (3000 psm, pies sobre el nivel del mar) o para todas aquellas instalaciones que debido a la naturaleza de las actividades realizadas, su presión varíe en más de un 10% de la presión estándar al nivel del mar (29 pulgadas de mercurio a 70°F). La ciudad de Guatemala está localizada a 1413 metros sobre el nivel del mar.

elevación de los departamentos de Guatemala	
Departamento	Altura en MSNM
Alta Verapaz	1316
Baja Verapaz	940
Chimaltenango	1800
Chiquimula	424
Peten	174
El Progreso	518
Quiche	2021
Escuintla	347
Guatemala	1413
Huehuetenango	1901
Izabal	75
Jalapa	1362
Jutiapa	905
Quetzaltenango	2357
Retalhuleu	239
Sacatepéquez	1530
San Marcos	2398
Santa Rosa	893
Sololá	2113
Suchitepéquez	371
Totonicapán	2505
Zacapa	220

Tabla 22, elevación en metros sobre el nivel del mar por departamentos en la República de Guatemala

factor de corrección por elevación en MSNM		
Alturas a compensar		factor de compensación
pies	metros	
-3000	-900	1.11
-2000	-610	1.07
-1000	-300	1.04
0	0	1
1000	300	0.96
2000	610	0.93
3000	910	0.89
4000	1200	0.86
5000	1520	0.82
6000	1830	0.78
7000	2130	0.75
8000	2450	0.72
9000	2740	0.69
10000	3050	0.66

Tabla 23, Ajuste de compensación por altitud en MSNM

Cuando se tenga calculado el peso en libras del agente halogenado a utilizar en el recinto a proteger, se debe de multiplicar por el factor de corrección en función de la elevación en metros sobre el nivel del mar.

Boquillas para sistemas de Agentes halogenados

Para los agentes halogenados, NFPA 12A establece requisitos mínimos para el posicionamiento de las boquillas, así como coberturas que protege una boquilla para determinadas condiciones.

Para el posicionamiento de boquillas en el sistema de halón 1301, se asumen los siguientes criterios



- La localización de las boquillas es afectada directamente por la forma del recinto a proteger
- El máximo radio de descarga para boquillas es de 8.7 metros (26.8 pies) para una boquilla de descarga a 360 grados, y de 10.5 metros (33 pies) para una boquilla de descarga de 180 grados
- Los orificios de las boquillas no deben de colocarse en lugares donde la descarga sea hacia objetos cercanos
- Las boquillas deben de ser instaladas a una distancia máxima de 300 milímetros (12 pulgadas) del cielo del ambiente
- La máxima altura de protección para boquillas, de 180 o 360 grados es 4.87 metros
- Las boquillas de descarga a 180 grados deben ser colocadas junto a paredes o muros adyacentes

Ilustración 256, Descarga de agente halogenado

Instalaciones de extinción y supresión a base Polvos Químicos Secos (PQS), definiciones, parámetros y criterios

El polvo químico seco es una mezcla de polvos que se emplea como agente extintor; se aplica por medio de extintores portátiles, mangueras manuales o sistemas fijos de extinción. Los primeros agentes de este tipo que se desarrollaron fueron a base de bórax y de bicarbonato sódico. El bicarbonato sódico llegó a ser el más empleado por su mayor eficacia como agente extintor.

Los términos “polvo regular” y “polvo ordinario” se refieren, generalmente a los polvos clasificados para su empleo contra los fuegos de clase B y de clase C. el término “polvo polivalente” se refiere a los polvos que están homologados para su empleo contra fuegos de clase A, Clase B y clase C. se le denomina también comúnmente polvo anti brasa o polvo ABC.

Al polvo seco se le reconoce su extraordinaria eficacia para la extinción de fuegos de líquidos inflamables. También puede emplearse contra los fuegos de algunos tipos de equipos eléctricos. El polvo seco normal está limitado a aplicaciones para la extinción de fuegos superficiales con llama de los materiales combustibles sólidos, pero para apagar los fuegos incandescentes profundos se necesita el empleo de agua. El polvo polivalente puede emplearse contra fuegos de líquidos inflamables, de equipos eléctricos bajo tensión y de materiales sólidos.

Los polvos químicos secos, actualmente utilizados son los siguientes:

Nombre Químico	Fórmula	Tipo Combustible
Bicarbonato Sódico	NaHCO_3	BC
Cloruro Sódico	NaCl	BC
Bicarbonato Potásico	KHCO_3	BC
Cloruro Potásico	KCl	BC
Sulfato Potásico	K_2SO_4	BC
Fosfato Monoamónico	$(\text{NH}_4)\text{H}_2\text{PO}_4$	ABC
Urea+bicarbonato potásico	$\text{NH}_2\text{CONH}_2 + \text{KHCO}_3$	BC

Propiedades físicas de los productos químicos secos

Los principales productos básicos que se emplean en la producción de polvos químicos secos disponibles son: bicarbonato sódico, bicarbonato potásico, cloruro potásico, bicarbonato de urea-potasio, y fosfato mono amónico.

Estos productos se mezclan con varios aditivos para mejorar sus características de almacenamiento, de fluencia y de repulsión al agua.

Los aditivos más comúnmente empleados son estereatos metálicos, fosfato tricalcico o siliconas que recubren las partículas de polvo seco para conferirles fluidez y resistencia a los efectos del endurecimiento y formación de costras por la humedad y vibración.

Mecanismos de extinción

Cuando se aplica directamente sobre un área incendiada, el polvo químico seco apaga la llama casi instantáneamente.

Los mecanismos de extinción por lo cual los polvos químicos secos apagan una combustión son los siguientes:

- Rotura de la reacción en cadena de la llama
- Apantallamiento de la radiación
- Acción sofocante
- Acción aislante
- Acción enfriadora

El mecanismo y la química de esta acción extintora se debe a la sofocación, el enfriamiento y la obstrucción de la radiación que contribuyen a la eficacia extintora de estos productos, pero más a fondo, los estudios realizados han demostrado que la reacción de la rotura de la cadena en la llama puede ser la causa principal de la extinción.

Uso de los polvos químicos secos

Los polvos químicos secos son agentes del tipo ABC y BC, esto depende del tipo de polvo que se esté usando, y estos son aptos para los siguientes tipos de combustibles:

- Combustibles tipo A, el fosfato mono amónico, que es polivalente, se puede emplear sobre fuegos de superficies de materiales combustibles sólidos. Sin embargo, siempre que se empleen estos agentes contra combustibles tipo A, de tipo superficial, deben de ser complementados con agua pulverizada para apagar las brasas incandescentes, o cuando el fuego profundiza por debajo de la superficie. Este tipo de polvos químicos secos no son aptos para combustiones de masa.
- Combustibles tipo B, se utilizan principalmente para extinguir fuegos de líquidos inflamables, salvo las restricciones indicadas en sus especificaciones
- Combustibles tipo C, eléctricamente no conductores, pueden emplearse contra fuegos de líquidos inflamables en que también participan equipos eléctricos bajo tensión. Es recomendable un minucioso estudio para el caso de uso en instalaciones de alta tensión
- Combustibles tipo D, no son aptos, hay que usar polvos especialmente aptos para metales, y se deben de hacer estudios de las reacciones del polvo al metal.

Métodos de aplicación de Polvos Químicos Secos

Para los PQS existen 2 tipos de sistemas básicos, los cuales se denominan sistemas fijos, y sistemas de manguera manual. Los otros métodos de aplicación de polvo químico seco son extintores manuales o equipos montados sobre ruedas.

Sistemas Fijos

Los sistemas fijos de PQS consisten en un suministro de agente, un gas impulsor, un método de activación, tuberías fijas y lanzas o boquillas a través de las cuales se descarga el agente extintor sobre la zona protegida. Los sistemas fijos pueden ser de 2 clases

- De inundación total
- De aplicación local

Para la inundación total por tuberías y lanzas fijas o toberas, se descarga una cantidad predeterminada de polvo dentro de un recinto cerrado donde se encuentre el foco peligroso. La inundación total es aplicable cuando el punto de peligro este en un recinto cerrado o cuando todas las aberturas pueden cerrarse automáticamente en el momento en el que comienza la descarga. Solamente cuando no es previsible la reignición puede emplearse este método, puesto que la acción extintora del agente es transitoria.

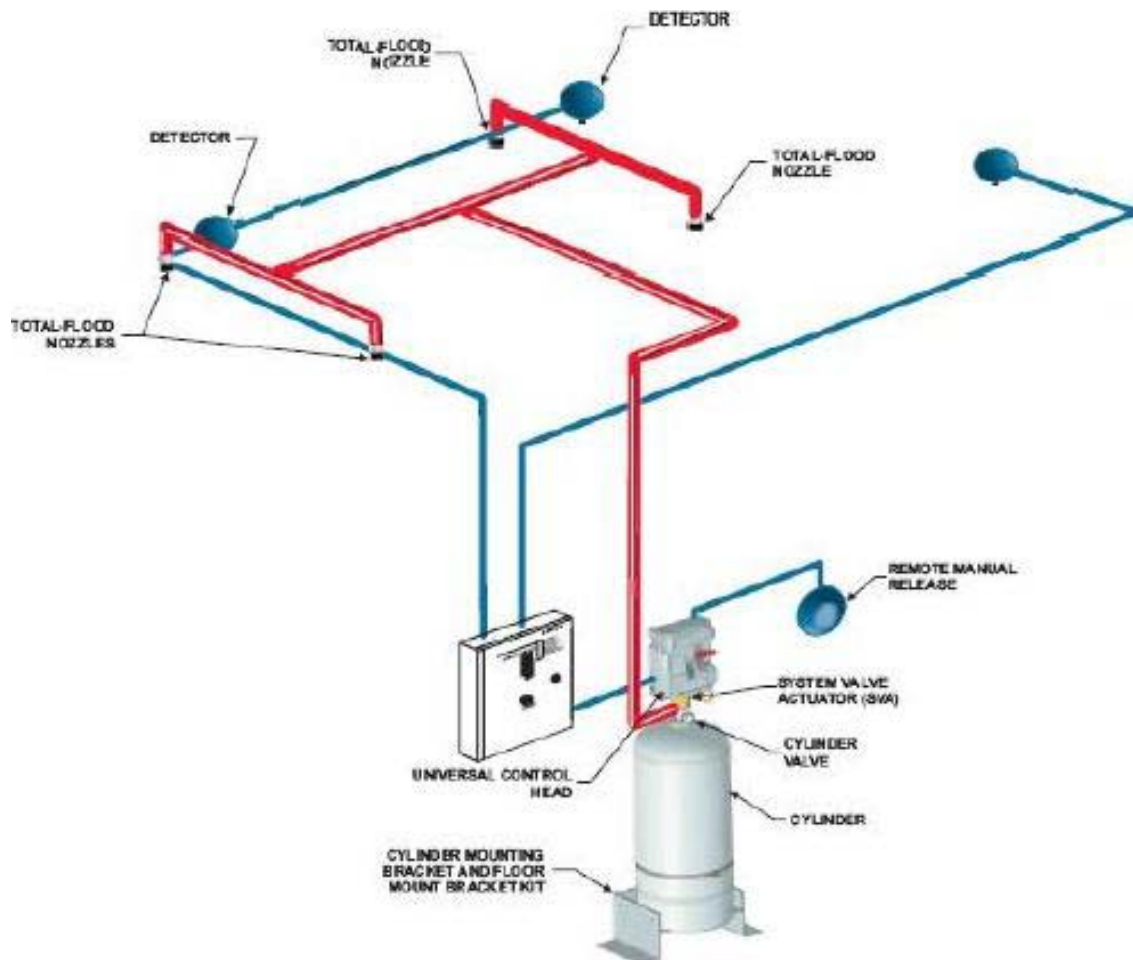


Ilustración 257, Sistema de Polvo Químico seco por Inundación Total

La aplicación local difiere de la inundación total en el sentido de que las boquillas están dispuestas para descargar directamente sobre el punto donde se prevé que puede declararse el fuego. La aplicación local es útil en aquellas situaciones en que el punto peligroso pueda aislarse de otros objetos potencialmente peligrosos de modo que el fuego no se propague de la zona protegida. El principal empleo de los sistemas de aplicación local es la protección de depósitos abiertos de líquidos inflamables. Igual que sucede en los sistemas de inundación total, la aplicación local no es eficaz a no ser que la extinción sea inmediata y no existan fuentes de posible reignición.



Ilustración 258, Sistema de Polvo Químico seco de aplicación local

Almacenamiento de Polvos Químicos Secos

Existen dos sistemas básicos de almacenamiento, uno es el sistema de presión Permanente, y el otro es el sistema de presión no permanente o presión ambiente. En el sistema de presión permanente el polvo químico seco se guarda en un contenedor junto a un agente presurizador, que en algunos casos es nitrógeno seco. Este tipo de sistemas son de baja presión. La presión de servicio ronda los 14 bar (203 PSI) a temperatura ambiente, y comúnmente los contenedores son ensayados a 35 bar (507 PSI) los contenedores del sistema comprimido son regularmente de acero soldado, para ambos tipos de sistemas.

En un sistema de presión no permanente o de presión ambiente, el PQS se guarda en un contenedor a presión atmosférica, el cual debe de estar cerrado y estanco para evitar el ingreso de aire húmedo que pueda apelmazar el polvo e inutilizarlo. El polvo permanece de esta manera hasta que el sistema es accionado y presurizado a la presión del gas impulsor almacenado junto a él.



Ilustración 259, Contenedor de Polvo Químico Seco con agente presurizador

Los recipientes en los que se almacena el polvo separadamente a presión atmosférica están provistos de un orificio de entrada para el gas impulsor, una abertura para el llenado hermética a la humedad y una abertura de salida del polvo. La entrada del gas conduce a un sistema de tubos internos de tal forma que cuando el gas penetra en el depósito agita el polvo y se mezcla con él, haciéndolo fluir. El orificio de salida del polvo contiene discos de ruptura y válvulas para permitir que se forme una presión de trabajo adecuada en el depósito antes de que comience la descarga del agente. El conjunto del gas impulsor consiste en un envase a presión, además de las válvulas necesarias, reguladores y tuberías para hacerlo pasar al depósito de almacenamiento del polvo, a presión y con el caudal necesario. El gas impulsor suele ser nitrógeno, pero en ocasiones también se emplea anhídrido carbónico.



Ilustración 261, Contenedores para Polvo Químico Seco sin agente presurizador



Ilustración 260, Contenedores de Polvo Químico Seco presurizado con nitrógeno

Agentes Impulsores en Sistemas de Polvos Químicos Secos

Los sistemas de polvos químicos secos, ya sea que se trate de un sistema de presión permanente o de presión permanente, necesitan de un agente impulsor, que es el que trabaja como el vehículo transportador de la solución en polvo, y al mezclarse con el polvo, genera la solución que se utiliza como agente extintor en el sistema.

Generalmente, se utilizaran como agentes impulsores

- Dióxido de carbono (CO_2)_L, en estado gaseoso sin fase líquida
- Nitrógeno Seco N_2

Estos agentes, tienen cada uno características que es necesario contemplar al momento de la planificación, porque debido a su estado gaseoso y al factor de compresión al cual esta envasado el agente, la densidad del mismo depende de la temperatura ambiente a la cual estarán almacenados. Al incrementar la temperatura, el volumen del gas se expande, generando un incremento de presión que puede resultar contraproducente, y de acuerdo a normas y estándares internacionales de seguridad, existe cierta capacidad de envasado que no debe de excederse. Aunque el fabricante o envasador del agente provea botellas llenadas de acuerdo a especificaciones, estas pueden perderse si el agente no se almacena en los rangos de temperatura especificados como seguros para estos.

El almacenamiento de los cilindros de agente presurizador, debe de asegurar que estos no serán sometidos a temperaturas mayores a 54°C (130°F) y que tampoco entren en contacto con sistemas energizados eléctricamente. Los cilindros deben de ser almacenados todo el tiempo en posición vertical, y debe de cuidarse de proveer un sistema eficaz de anclaje que no permita que las botellas puedan caer accidentalmente, para evitar dañar el casco del envase, así como la válvula que retiene el flujo dentro de la botella.

De acuerdo a las especificaciones del fabricante, al momento de realizar la planificación, debe de cumplirse con los requisitos mínimos estipulados para el almacenamiento de los gases inertes de impulsión. Las atmosferas demasiado calientes ocasionaran que el volumen del gas incremente, y las atmosferas frías, harán que decaiga el límite del punto triple.

Calculo de Sistemas de Polvo Químico Seco

La cantidad de polvo químico seco, así como la tasa de aplicación deben de ser siempre suficientes para desarrollar y mantener una concentración específica en el recinto y además, considerar un adecuado margen de compensación para todas aquellas aberturas que no puedan ser cerradas, y por cualquier sistema de ventilación electromecánico que no pueda ser apagado durante el periodo de operación del sistema de inundación.

La pérdida de polvo en el recinto por lo general reduce la efectividad, y en la medida de lo posible, se debe de minimizar la pérdida por medio de incluir en la planificación dispositivos de sello hermético en ventanas, así como dispositivos automáticos de paro de ventilación electromecánica. Cuando se considere que los ductos de un sistema de ventilación electromecánico son parte del sector de riesgo, es preferible dejar funcionando el sistema de ventilación, de manera que se pueda facilitar la extinción en los ductos que alimentan el sistema.

La cantidad mínima de polvo seco a dotar, está dada por la siguiente expresión

$$M = m_1 + m_2 + m_3 + m_4$$

Donde

M = capacidad mínima de PQS a dotar, en Kg

M₁ = en kilogramos, 0.65 por el volumen en metros cúbicos del recinto a proteger

M₂ = en kilogramos, 2.5 por el área de aberturas en metros cuadrados, por cada abertura que sea menor al 5 % del área limitante total

M₃ = en kilogramos, 5.0 por el área de aberturas en metros cuadrados, por cada abertura que sea mayor al 5 % del área limitante total

M₄ = en kilogramos, 0.65 por la tasa de ventilación por el tiempo de descarga del sistema.

Cuando en determinadas condiciones no existan aberturas por compensar, es decir, en ambientes que sean totalmente herméticos, se debe de hacer una compensación equivalente al 0.022 del volumen total en metros cúbicos de la capacidad del recinto a proteger.

De esta manera se obtendrá el mínimo de polvo químico seco, en kilogramos, que se debe de dotar por el ambiente calculado, en un sistema de inundación de polvos químicos secos.

Si se utilizara un sistema de presión permanente, teniendo calculada la cantidad mínima de polvo químico seco a dotar, se debe de especificar en planos los tipos de botellas de agente comprimido a utilizar que cubran este rango calculado, de acuerdo a las especificaciones del fabricante del agente comprimido.

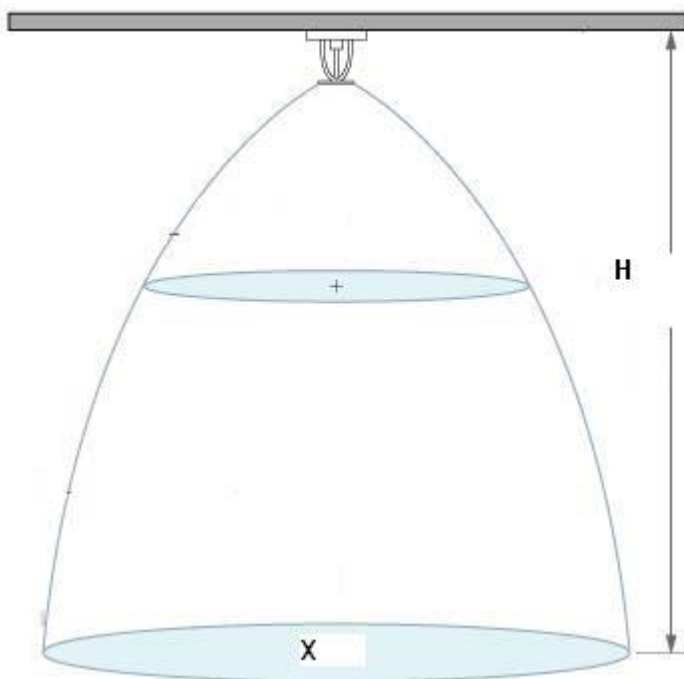
Si se utilizara un sistema de presión ambiente, la cantidad mínima calculada será la cantidad de polvo que debe de existir en el depósito, para luego presurizarlo con agente adicional, ya sea este nitrógeno seco o dióxido de carbono, aunque también es posible

utilizar aire comprimido, en todo caso, el agente presurizador debe de cumplir con especificaciones de humedad establecidas en los códigos.

Calculo de boquillas para sistemas de polvo químico seco

Un sistema de polvo químico seco actúa de una manera eficiente siempre y cuando la aspersión del polvo forme una nube uniforme que actúe llevando la concentración de diseño en la atmosfera de forma que el agente extintor pueda llegar a toda el área que se desea proteger, y actúe de una manera uniforme.

Para un sistema de polvos químicos secos, la separación de las boquillas es función directa de la altura de instalación de las mismas, habiendo rangos dentro de los cuales está definida el área de cobertura por cada boquilla, en metros cuadrados o en pies cuadrados.



En el sistema de protección por polvos químicos secos, las boquillas deben de estar posicionadas de forma que provean la concentración extintora de polvo a lo largo de la duración de la descarga en el sector de riesgo, y para dar cobertura a las superficies abiertas que no puedan ser cerradas, y que no serán mayores de un 5% del área limitante total.

El tipo de boquillas y la disposición de cada una de estas, debe de ser tal que la descarga no salpicaran líquidos inflamables, ni causara daños en cielos falsos,

o que puedan crear nubes de polvo que puedan volverse potencialmente explosivas, o aumentar la carga de fuego.

En el diseño del sistema de boquillas de inundación total se debe de tener en consideración las máximas coberturas de las boquillas especificadas por el fabricante. La cobertura de las boquillas es inversamente proporcional de la altura de instalación a la que deban de ser posicionadas, esto quiere decir, que a mayor altura, menor área de cobertura, esto con el fin de mantener la cobertura volumétrica. Cuando se alcanzan alturas mayores a 6 metros, el espaciamiento se vuelve cada vez menor, y cuando estas condiciones son alcanzadas, por ejemplo en bodegas de almacenaje con altura considerable con racks o pallets, conviene establecer niveles de altura para posicionar un doble circuito de boquillas, de tal manera que la altura de cada circuito permita un espaciamiento razonable de acuerdo al área que proteja la boquilla en determinadas condiciones de altura.

Máxima cobertura de boquillas					
Altura del sector		Área de protección		Volumen de protección	
pies	metros	pies ²	metros ²	pies ³	metros ³
5	1.52	112	10.41	562	15.91
6	1.83	112.5	10.45	675	19.11
7	2.13	112.5	10.45	787.5	22.30
8	2.44	112.5	10.45	900	25.49
9	2.74	112.5	10.45	1012.5	28.67
10	3.05	112.5	10.45	1125	31.86
11	3.35	112.5	10.45	1350	38.23
12	3.66	112.5	10.45	1350	38.23
13	3.96	103.85	9.65	1350	38.23
14	4.27	96.4	8.96	1350	38.23
15	4.57	90	8.36	1350	38.23
16	4.88	84.4	7.84	1350	38.23
17	5.18	79.4	7.38	1350	38.23
18	5.49	75	6.97	1350	38.23
19	5.79	71	6.60	1350	38.23
20	6.10	67.5	6.27	1350	38.23

Tabla 24, máxima cobertura de boquillas para sistemas de polvos químicos secos, Tabla de Elaboración propia, Datos obtenidos de NFPA 17

Sistema de Tuberías de conducción de Polvos Químicos Secos

De acuerdo con lo establecido en la norma NFPA 17, para un sistema de supresión por Polvos químicos secos, las tuberías de conducción del agente extintor deben de ser de acero negro o galvanizado, con especificación ASTM A53 sin costura o soldadura eléctrica, grado A o B, o bien, ASTM A106 grado A, B o C. si se utilizan secciones de tubo de acero inoxidable, este debe de cumplir con especificaciones TP304 o TP316, para conexiones roscadas, y TP304L o TP316L para conexiones soldadas. Para las líneas de conducción donde se utilice gas en alta presión, se puede especificar un diámetro desde $\frac{3}{4}$ de pulgada y aun menores, siempre y cuando la tubería cumpla con especificaciones ASTM anteriormente citadas, y además, cedula 40. Las tuberías de 1 pulgada hasta 4 pulgadas deberán ser mínimo cedula 80, sin costura.

Las mangueras a especificarse en este tipo de sistemas, ya sea mangueras de acople a las botellas de alta presión o uniones flexibles, deben de tener un factor de resistencia a la rotura de por lo menos 5000 PSI, y cuando se trate de sistemas a baja presión, este factor será como mínimo 1800 PSI.

Estas mangueras pueden ser flexibles de acero inoxidable, o bien de resorte de acero con forro de hule y recubrimiento de polímero.

En los puntos donde sea necesario hacer uniones con bridas, ya sea para válvulas o para uniones flexibles, las bridas deben de ser clase 600, con empaquetaduras de alta presión,

para garantizar hermeticidad en el sello y evitar fugas en uniones flexibles o uniones a válvulas.

En el diseño de las líneas de tuberías se debe de considerar que si se trata de un sistema de presión no permanente, las presiones serán las presiones indicadas por el fabricante, quien dara especificaciones en cuanto al factor de compresión utilizado, así como la presión a la que el agente comprimido estará contenido en las botellas, por lo que al momento de calcular el diámetro de la tubería a utilizar, se tendrá como presión inicial de diseño la presión máxima a la cual estará trabajando el sistema de Polvo Químico Seco, incluyendo el agente impulsor. El dióxido de carbono es un elemento que tiene 2 fases de comportamiento, a determinada presión y temperatura se comporta como un gas, y a otra presión y temperatura, se comporta como un líquido, y el nitrógeno seco, se comportara como un elemento gaseoso.

El diámetro mínimo de las líneas de tubería para un sistema de Polvo Químico Seco presurizado con Dióxido de Carbono o con Nitrógeno Seco, puede calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$D = \sqrt[5]{\frac{Q^2 S L_e}{(P_1^2 - P_2^2)(52.335^2)}}$$

Donde,

D= Diámetro mínimo, en metros

Q = Caudal o Gasto nominal en la tubería, en Metros cúbicos/hora

S = Densidad del gas impulsor

L_e = Longitud equivalente, en metros

P₁ = Presión de entrada

P₂ = Presión de salida

Debe de tenerse en mente, que para que la formula funcione, todos los parámetros deben de estar en unidades del sistema internacional, si existieran unidades diferentes, se debe de hacer la conversión entre cada sistema, de manera que todas y cada una de las unidades a utilizar estén en unidades del SI

Juntas de dilatación para tuberías de Acero para sistemas de Polvos Químicos Secos`

Los sistemas de polvos químicos secos, cuando se trate de un sistema de presión no continua, o de presión atmosférica, serán presurizados por medio del uso de Nitrógeno seco o Dióxido de Carbono.

Para el nitrógeno seco, se tiene una temperatura de ebullición de -147°C , y para el Dióxido de Carbono una temperatura de ebullición de -79°C . Ambos gases estarán comprimidos, a presiones nominales de hasta 20 bar (290 PSI) a una temperatura de 15°C .

Se debe de estimar que los sistemas de polvos químicos secos, debido a la temperatura de los agentes presurizadores, las líneas de tuberías estarán sometidas a bruscos cambios de temperatura, los cuales a diferencia de otros sistemas, podrían tener una duración de entre 25 y 60 segundos. La descarga procedente de las botellas de gas comprimido, llegara al sistema de tuberías con una temperatura promedio de -79°C , y la temperatura ambiente de la ciudad de Guatemala oscila entre una máxima de 24°C y una mínima de 16°C . Esto supondrá una diferencia instantánea de 103°C para condiciones de temperatura máxima, y 95°C para condiciones de temperatura mínima.

La dilatación lineal en los cuerpos está en función de los cambios de temperatura que sean experimentados, en este caso, los cambios de temperatura que actuaran sobre la tubería que cuando no esté en uso se conservara a temperatura ambiente, y al momento de ser utilizada, se contraerá por efecto del cambio de temperatura.

Este cambio de temperatura inducirá que la tubería se contraiga, es decir, se acorte por efecto térmico una determinada longitud, expresada por ΔL y esta diferencia de longitud puede ser calculada de la siguiente manera:

$$\Delta L = k * L * C * \Delta t$$

Donde

ΔL = Cambio de longitud

K = constante, con valor de 1000, si L esta en metros, C esta en $^{\circ}\text{C}^{-1}$, y Δt en $^{\circ}\text{C}$, bajo estas condiciones, ΔL estará expresado en mm



K = constante, con valor de 12 si L esta en pies, C esta en °F⁻¹ y Δt en °F, bajo estas condiciones, ΔL estará expresado en pulgadas

L = longitud original

C = Coeficiente de expansión Lineal

Δt = cambio de temperatura

Para el acero, el coeficiente de expansión lineal es $1.2 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Las juntas por dilatación o contracción de tubería, son accesorios que vienen específicamente diseñados para contraerse o para alargarse dependiendo de la necesidad del diseño, y habiéndose calculado cuanto se dilatara la tubería, se debe de proponer las juntas necesarias, a efectos de prevenir cualquier falla por contracción en la tubería. Una línea de tubería sometida a este tipo de cambios bruscos de temperatura puede fallar por ruptura en uniones bridadas, por ruptura de tornillos en conexiones bridadas, por desgarramiento en uniones soldadas.

Las juntas deben de especificarse según el tipo de junta que se escoja, ya sea de resorte, de manguera flexible, de hule, pero en todo caso, debe de especificarse que las bridas y la conexión flexible cumplan con los requerimientos mínimos de presión establecidos en NFPA 17

Soportes de tuberías

Las tuberías de conducción del agente necesitan de soportes para poder sostenerse, dado que muy rara vez la tubería puede diseñarse para ser auto soportante. Debido a ello, se debe de cumplir con ciertas condiciones mínimas estipuladas para los soportes de las tuberías.

Los soportes o pescantes para tuberías deben de ser espaciados de acuerdo al diámetro de la tubería, pero también deben de cumplirse los siguientes parámetros

- Los soportes o pescantes de tuberías deben de estar localizados generalmente siempre a 12 pulgadas de las boquillas de descarga
- Cuando existan codos, los soportes o pescantes de las tuberías deben de estar localizados con una separación mínima de 24 pulgadas entre secciones con codos, y a 12 pulgadas del codo más próximo
- Los soportes deben de ser fijados a estructuras capaces de soportar la tubería con carga de operación o de flujo al momento de ser utilizado el sistema.

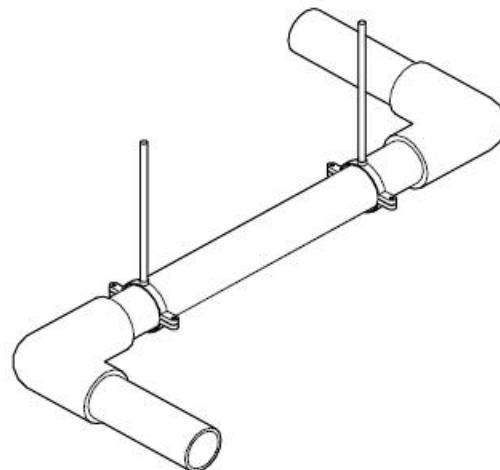
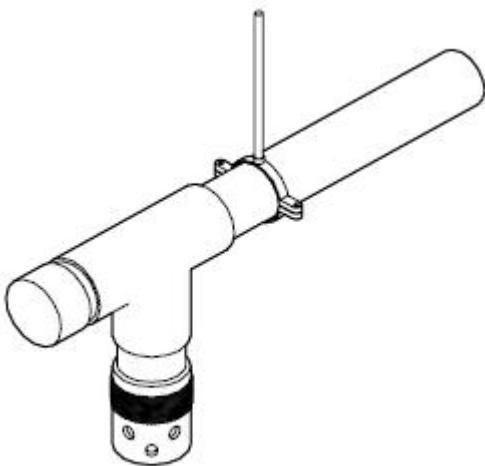
La normativa internacional BS ISO 14520-1:2000 establece la separación entre soportes de líneas de tuberías suspendidas de estructuras, contenidas en las tablas en la pagina 296.

Los soportes de las tuberías deben de ser colocados de tal manera que se respeten los parámetros anteriormente descritos, esto debe de tomarse en cuenta al momento de diseñar la red de tuberías, de modo que el espaciamiento de los soportes debe de estar supeditado al espaciamiento calculado de las boquillas, y que las distancias mínimas de seguridad, tanto en el diseño del sistema de boquillas como en el posicionamiento de

elementos soportantes, no interfiera uno con el otro y se cumplan los estándares mínimos establecidos.

separación de pescantes en líneas de tuberías			
diámetro de la tubería		máximo espaciamento	
milímetros	pulgadas	metros	pies
10	3/8	1	3
15	1/2	1.5	5
20	3/4	1.8	6
25	1	2.1	7
32	1 1/4	2.4	8
40	1 1/2	2.7	9
50	2	3.4	11
65	2 1/2	3.5	11.5
80	3	3.7	12
100	4	4.3	14
150	6	5.2	17

peso de tuberías cedula 40 por metro lineal			
diámetro de tubería		peso Kg / metro	
mm	pulgadas	Kg / metro	libras / metro
12.7	1/2	1.347	2.97
19.05	3/4	1.69	3.73
25.4	1	2.73	6.02
31.8	1 1/4	3.41	7.52
38	1 1/2	4	8.82
51	2	5.4	11.90
64	2 1/2	8.6	18.96
76	3	11.3	24.91
89	3 1/2	13.6	29.98
102	4	16.1	35.49
127	5	21.8	48.06
152	6	28.2	62.17
203	8	42.5	93.70



Sistemas de protección pasiva contra incendios

Sistemas de protección pasiva contra incendios

La protección pasiva contra incendios comprende todos aquellos materiales, sistemas y técnicas diseñados para prevenir la aparición de un incendio, impedir o retrasar su propagación y por último su extinción.

Se entiende por protección pasiva o protección estructural al conjunto de elementos constructivos de un edificio, que presentaran una barrera contra el avance del incendio, confinándolo a un sector y limitando por ello las consecuencias del mismo.

Como tal, la protección pasiva contra incendios, consiste en una serie de elementos y de productos especiales dispuestos a evitar el inicio del fuego (ignifugación de los materiales), evitar que se propague (compartimentación, cerramientos, sellados), evitar que se afecte gravemente las instalaciones (protección estructural) y facilitar la evacuación de las personas (señalización luminiscente), así como permitir una actuación segura por parte de los equipos de emergencia.

Este tipo de medidas contra incendios, están presentes todo el tiempo, y no dependen de otros factores para poder actuar, son totalmente independientes de suministros tanto de agentes como de energía eléctrica o mecánica, y son la última línea de defensa cuando la extinción de incendios se prolonga, exponiendo a las estructuras a efectos de largos periodos de cargas de fuego.

La protección pasiva, prevé la adopción de medidas necesarias para que en caso de producirse el incendio, quede asegurada la evacuación de las personas, limitando el desarrollo del fuego; impidiendo los efectos de los gases tóxicos y garantizando la integridad estructural del edificio.

Al principio de este documento, en el capítulo 2 se hizo un análisis del comportamiento de los materiales de construcción expuestos a efectos del fuego. Teniendo definidos cuales son los efectos del fuego en los materiales de construcción, y las reacciones de estos a las altas temperaturas, tenemos una idea más clara de contra cuales efectos se debe de proteger una estructura en un proyecto de arquitectura.

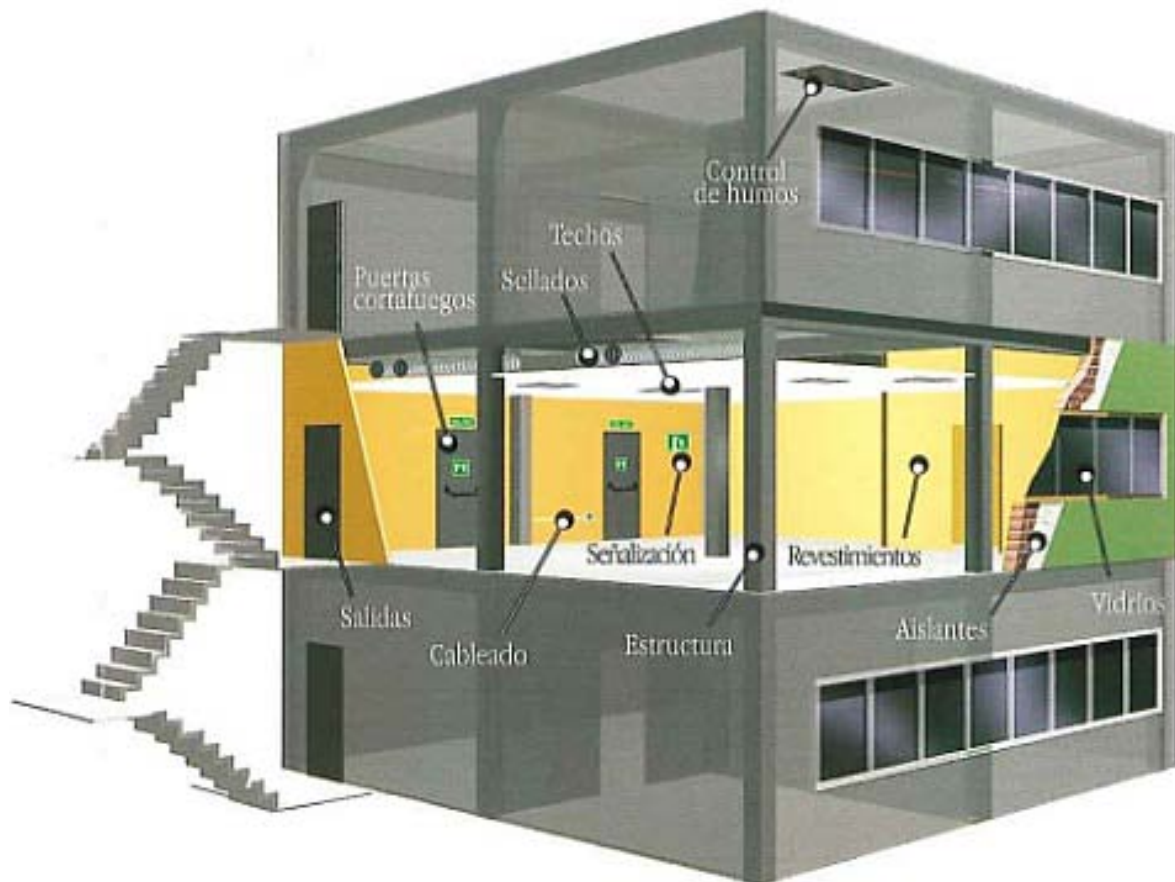
La evacuación de los proyectos de arquitectura será siempre la mejor opción ante la ocurrencia de un siniestro, y la finalidad de un sistema contra incendios será garantizar el tiempo necesario de evacuación, persiguiendo que el usuario pueda salir ileso en condiciones de emergencia. Pero esto será posible en la medida en la que se pueda garantizar tanto la integridad estructural del edificio, como el funcionamiento de las rutas de evacuación, y es en esta parte de la planificación cuando el arquitecto debe de conocer las herramientas disponibles a su alcance para garantizar la planificación de un diseño arquitectónico funcional, estético y seguro al momento de la ocurrencia de un siniestro.

La protección pasiva en un proyecto de arquitectura, es directamente proporcional a la resistencia de los materiales al fuego. La protección pasiva contra incendios esta normada de una forma internacional por códigos que se encuentran vigentes. De esta manera, al

momento de planificarse la protección pasiva contra incendios, esta debe de hacerse con materiales que han sido previamente ensayados y que superan los ensayos realizados por laboratorios acreditados, y de esta manera demuestran su eficacia (reacción, resistencia, estabilidad, luminiscencia) en pruebas de fuego real. Tras las pruebas son aptos para su instalación atendiendo una serie de parámetros (soportes, espesores, métodos de aplicación, etc.) bien definidos.

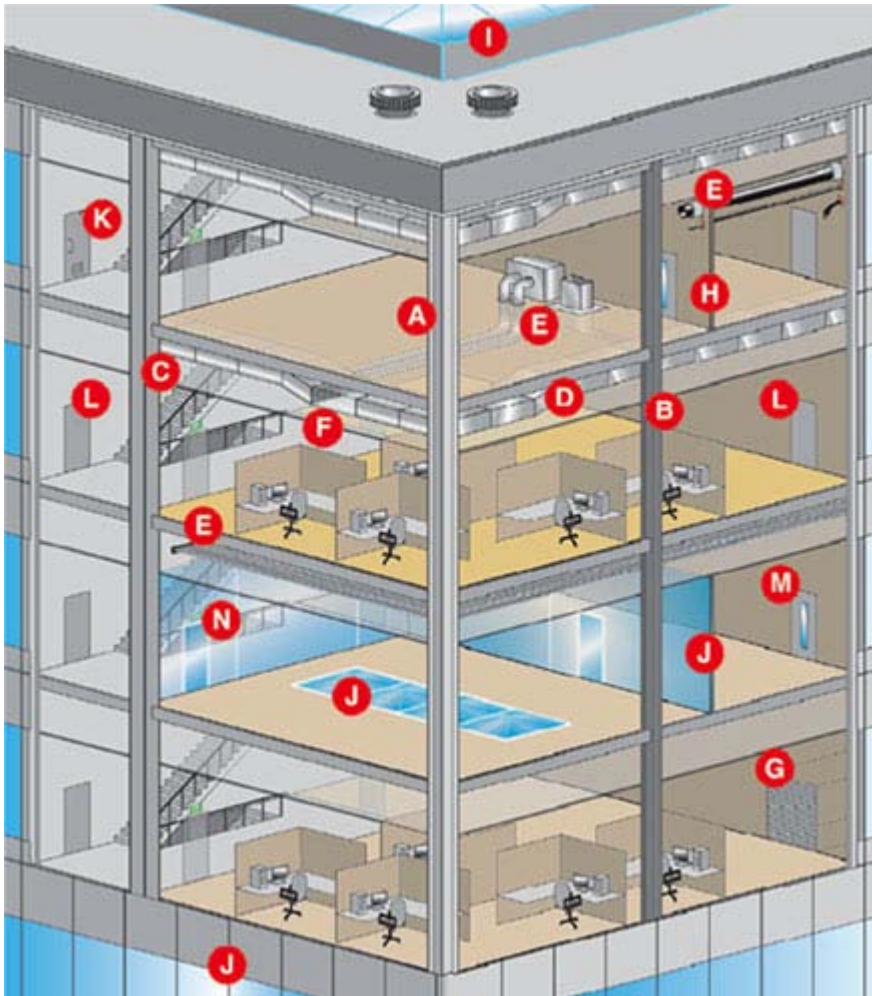
De acuerdo a la normativa internacional vigente, la protección pasiva se encarga de:

- Garantizar el confinamiento y control de un incendio y facilitar la evacuación del usuario
- Garantizar la estabilidad del edificio y limitar el desarrollo de un posible incendio



Al igual que en los sistemas de protección activa los componentes trabajan como un solo sistema para garantizar la supresión del incendio, en un sistema de protección pasiva todos los componentes trabajan al mismo tiempo como un solo sistema, garantizando la posibilidad de evacuación del usuario, y garantizando que la estructura sufra el menor daño posible frente a los efectos del fuego.

Dependiendo del tipo de proyecto, el diseño, el uso final y la cantidad de usuarios, algunos componentes en un sistema de protección pasiva contra incendios pueden ser:



- A. recubrimientos intumescentes resistentes al fuego para acero estructural
- B. Pinturas intumescentes ignifugantes para perfiles de acero
- C. Miembros de acero estructural con recubrimientos resistentes al fuego
- D. Ductos extractores de humo resistentes al fuego
- E. Sellos de penetración resistentes al fuego
- F. Controladores de humos a prueba de fuego
- G. Puertas o cortinas industriales a prueba de fuego
- H. Muros compartimentadores resistentes al fuego
- I. Vidrios para tragaluces resistentes al fuego
- J. Vidrios para transparencias en suelos resistentes al fuego
- K. Puertas para cuartos de equipos, resistentes al fuego
- L. Puertas controladoras de humo y resistentes al fuego
- M. Puertas con Ventanería resistentes al fuego
- N. Tabicaciones en vidrio resistentes al fuego

Cuando se hace la planificación de los sistemas de protección contra incendios, se debe de abarcar tanto la protección activa como la protección pasiva. La protección pasiva de un proyecto de arquitectura, está íntimamente relacionada con el tiempo de evacuación de las instalaciones, y con la capacidad resistente de los elementos constructivos.

El tiempo de exposición equivalente será un parámetro determinante al momento de calcular y diseñar el sistema de protección pasiva, porque de acuerdo a este, se especificaran recubrimientos o especificaciones técnicas tanto de materiales como de elementos constructivos.

Para el desarrollo del estudio de los sistemas de protección pasiva, se dividirá la protección pasiva en los siguientes renglones

- **Tratamientos y Revestimientos ignifugantes**
- **Protección estructural**
- **Compartimentación**

Tratamientos y Revestimiento Ignifugantes

Los tratamientos y revestimientos ignifugantes son tratamientos que se aplican a las diferentes partes de una construcción para mejorar su reacción al fuego. Su función consiste en no propagarlo, ya que la reacción ante el fuego de este material debe ser como cualquier material combustible, pero no inflamable. Pueden ser tratamientos Aislantes o Intumescentes.

La intumescencia es una propiedad de ciertas sustancias que consiste en la capacidad de aumentar su volumen y expandirse a elevadas temperaturas. Cuando el calor ocasiona el ascenso de temperatura a determinados límites especificados, los recubrimientos intumescentes se convierten en una masa espumosa que retarda o anula el avance de la combustión.



Ilustración 262, Pruebas de aplicación de llama a revestimiento ignifugante aplicado a estructuras de acero

Entre estos productos se destacan la aplicación de pinturas y barnices sobre estructuras y elementos metálicos o de madera, pudiendo emplearse también masillas, morteros o pastas, en otras aplicaciones específicas.

Las pinturas intumescentes son aquellas que ante la presencia del calor generado por el fuego, reaccionan formando una capa de espuma aislante que protege al soporte de las altas temperaturas, retardando la propagación del calor.

Este tipo de revestimientos, están diseñados químicamente de manera que al momento de aparecer la llama, y arder los materiales combustibles, el calor generado hace que los componentes del revestimiento se descompongan, formando compuestos que inhiben el oxígeno necesario para el proceso de combustión.

Algunos de estos revestimientos, dependiendo del fabricante, pueden resistir una gama de temperaturas que van desde los 300°C a 1200°C.

Protección estructural

La protección estructural se

compone de elementos o productos que pueden ser pinturas, morteros, morteros de inyección, fibras, que se aplican a la estructura portante (vigas, columnas, muros de carga, muros estructurales) del edificio, con el fin de incrementar su estabilidad ante el fuego.

La protección estructural se da por medio de revestimientos aislantes, los cuales se emplean para proteger los elementos estructurales de la acción del fuego, y así de esta manera mantener la estabilidad de la estructura ante el calentamiento y posterior debilitamiento de los materiales que conforman el sistema estructural portante del proyecto arquitectónico.

Para este fin, se recurre al empleo de productos como morteros ignífugos, los cuales pueden ser de cemento, perlita, vermiculita, yeso, fibra de vidrio, fibras cerámicas, mampostería, paneles prefabricados, etc.

La aplicación de estos puede ser en interiores y exteriores, manual o mediante la proyección mecánica del elemento. Este tipo de métodos son aplicables para la protección de perfiles de acero, madera o materiales similares.

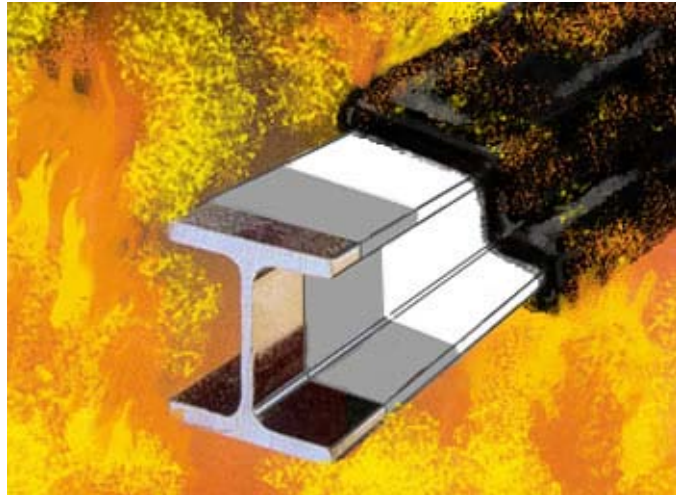


Ilustración 263, protección pasiva por recubrimiento intumescente



Ilustración 264, protección pasiva por pintura intumescente

Dependiendo del tiempo de exposición al fuego, y la temperatura final alcanzada, se diseñara la protección y el espesor de la capa de recubrimiento a aplicar. La protección estructural se aplicara indistintamente para concreto y para acero estructural, dado que ambos materiales presentan daños considerables al momento de ser expuestos al fuego.

Compartimentación

La compartimentación consiste en implantar una serie de elementos y dispositivos resistentes al fuego para delimitar y aislar espacios (sectores de incendio) con la finalidad de evitar la propagación del fuego. Al igual que la protección estructural, la compartimentación debe considerarse desde las fases del diseño arquitectónico, teniendo en cuenta que la funcionalidad de las instalaciones no debe ser incompatible con evitar que el fuego se propague, tanto en los espacios de uso personal, como a través de las canalizaciones.

Entre las características que definen la compartimentación se pueden señalar:

- Detención de la acción destructora del fuego, cuya consecuencia es minimizar los daños en la instalación
- Confinamiento del fuego en el espacio (sector) y

en el tiempo, permitiendo poner a salvo a las personas y a los bienes.

- Estanqueidad ante la propagación del humo y gases, peligrosos para la salud de las personas y por infundir pánico
- Proteger las vías de evacuación de las personas



Cuando el sistema compartimentador está bien diseñado, se cumple el objetivo de confinar espacios de fuego, es decir, reducir el radio de acción del incendio a

determinados recintos aislando el paso del mismo a otros contiguos. También se logra proteger los medios de evacuación, para que estos estén disponibles para ser usados sin riesgos al momento de una emergencia.

Sistemas de protección pasiva para acero estructural

Protección pasiva para acero estructural

Los códigos internacionales de protección contra incendios en proyectos de arquitectura requieren que determinados elementos de la estructura estén diseñados y sean resistentes al fuego por un periodo mínimo de tiempo especificado. La magnitud de la protección contra fuego a especificar, dependerá de los siguientes parámetros:

- Duración estimada del incendio especificado
- Tipo de protección utilizada
- Perímetro de la sección de acero que este expuesto al fuego
- Forma y tamaño de la sección de acero

Para determinar cómo estos factores afectan la resistencia del fuego, se han hecho estudios bajo diferentes reglamentaciones, las cuales han sometido a ensayos los materiales de construcción y han tenido como resultado recomendaciones mínimas contenidas en los manuales de construcción internacionales, en una variedad de estándares, entre los cuales se pueden citar:

- BS476
- DIN 4102
- ASTM E119

Los estudios efectuados para comprobar el rendimiento de vigas completamente cargadas en condiciones de fuego, han logrado determinar que el acero estructural funcionando a tensión empieza a perder su capacidad de carga dentro



Ilustración 267, recubrimiento con mortero proyectado



Ilustración 268, encajulado con paneles y fibra de vidrio



Ilustración 269, protección con pintura intumescente

de los márgenes de seguridad de cálculo cuando alcanza temperaturas alrededor de 550°C.

De la misma manera, se han hecho estudios con secciones de acero estructural sin carga para calcular exactamente cuanta protección es necesaria para las secciones más comunes, y para proveer resistencia al fuego por determinados y diferentes periodos de tiempo. Estas y otras pruebas han demostrado que la protección contra incendios tiene además la habilidad de permanecer en su lugar, comúnmente llamadas “adherencia del material”, por el periodo de duración que ha sido requerido.

Protección para vigas celulares

Debido a los requerimientos del diseño estructural, existen ahora los llamados perfiles celulares, los cuales tienen una variedad de aperturas agradables a la vista, perforaciones realizadas en el alma de la sección, durante un proceso secundario de manufactura, para poder crear perfiles más esbeltos que en el acero estructural de alma sólida. Por otro lado, el acero estructural celular puede ser creado a partir de 3 piezas de acero independientes.

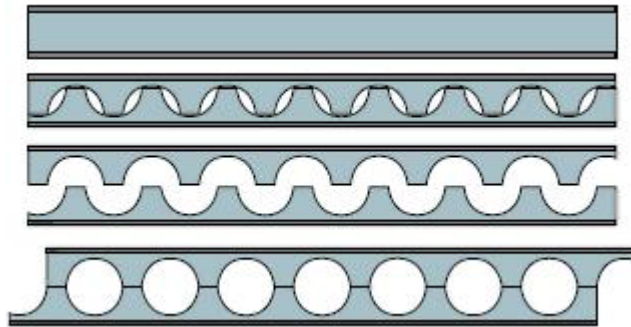


Ilustración 270, obtención de un perfil celular a partir de perfiles sólidos

Aunque existen perfiles con perforaciones elípticas, elongadas, o poligonales, la mayor parte de las perforaciones son circulares o redondas. Un amplio rango de tamaño y aperturas está disponible en este tipo de perfiles. Las dimensiones del alma sólida pueden afectar significativamente el desempeño y la resistencia de este tipo de perfiles en condiciones de incendio. El método para calcular el factor de sección y de esta manera el espesor final de la capa de protección es diferente que para las secciones de acero estructural sólido.



Ilustración 271, perfil celular terminado

Secciones estructurales huecas

Las secciones estructurales huecas pueden ser protegidas de la misma manera que las secciones WF, siempre y cuando los factores de masividad sean parecidos o iguales. Este tipo de secciones pueden ser protegidas por pinturas o recubrimientos intumescentes, morteros ignífugos lanzados, o encajuelado con paneles a prueba de fuego, y el recubrimiento o encajuelado debe de ser tal, que proteja todas las caras

expuestas al fuego. se debe tener en cuenta que las secciones estructurales huecas tendrán un comportamiento diferente si al momento del diseño estructural se planificaron para trabajar como una sección hueca o como una sección llena con armadura de refuerzo.

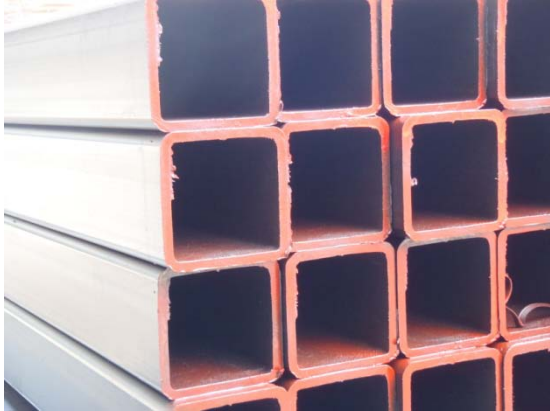


Ilustración 272, secciones estructurales huecas HSS, cuadradas y circulares

Embreisados de acero estructural

El embreisado o contraventeo es una configuración estructural que es utilizada para dar resistencia a cargas por viento o a cargas por sismo, y provee rigidez en general. Los muros de mampostería y los revestimientos de acero pueden contribuir a la rigidez estructural en general, pero estos, rara vez son tomados en cuenta en el diseño. También,

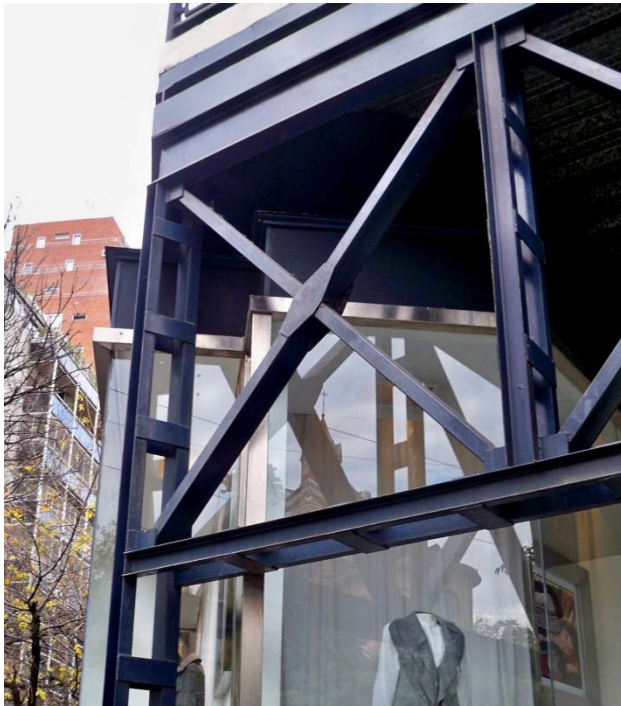


Ilustración 273, embreisado para carga por viento y carga sísmica



la probabilidad de que ocurra un incendio de grandes proporciones combinada con una carga de viento máxima es remota, pero se debe de contemplar el escenario, de cualquier manera, si se considera la posibilidad de una carga por viento y por incendio simultanea, no es razonable dejar expuesto el acero de embreisado a

temperaturas que excederán los 550°C.

Aunque en algunos casos se juzgue que no sea necesario aplicar la protección al embreisado rigidizante, en cualquier caso para el embreisado, se debe de calcular el factor de sección o factor de masividad, o utilizar un valor de masividad de 200, lo que sea menor.

Miembros parcialmente expuestos

Donde las columnas o vigas estén parcialmente dentro o en contacto directo o cercano con muros, losas o pisos, se debe de tomar en cuenta la protección que es dada al acero por la superficie del muro, o por el contacto con el piso. En el caso de los muros de mampostería, estos darán protección a las caras adyacentes que se encuentren en contacto directo con ellos, esto debe de tenerse en cuenta al momento de determinar el perímetro que es calentado, es decir, el que se encuentre parcialmente expuesto a la influencia del fuego.

Muros ligeros (tabiques) exteriores e interiores

En un sistema de marcos rígidos, la resistencia del aislamiento requerido por el muro, contribuirá a la protección de cualquier columna de perfil estructural que este dentro del



Ilustración 274, fachada de paneles a prueba de fuego

espesor del muro. Esto debe de tomarse en cuenta al momento de calcular la cantidad de caras que estarán expuestas al fuego, en el diseño de la protección estructural.

En el caso de los muros interiores, donde una columna o una viga este también en contacto directo, o dentro de un muro, la protección a la estructura de hacer puede hacerse, considerando que las caras que estén en contacto directo con muros de mampostería, o con muros ligeros con blindaje contra fuego, no deberán de tomarse en cuenta al momento de hacer el cálculo del perímetro del miembro estructural expuesto a fuego. De cualquier manera, se debe de asegurar que el muro al cual se esté en contacto, sea adecuadamente seguro para ser tomado como una cara protegida dentro del sistema estructura, y garantizar de esta manera que nunca quede expuesta al fuego.

Entrepisos

En el caso de los entrepisos, se debe de considerar 2 posibilidades:

- las vigas que estén completamente embebidas en una losa de concreto tendrán protección y aislamiento en cada una de sus 4 caras, siempre y cuando el espesor de concreto que recubra el perfil estructural embebido sea mayor a 3 ½ pulgadas
- las vigas estén dentro de una cámara de instalaciones, donde se haya colocado un cielo falso con paneles a prueba de fuego, para lo cual, en el cálculo se utilizaran solamente las caras que no estén en contacto con la losa.

Vigas que soportan pisos compuestos (sistemas de losacero)

Los estudios realizados, han demostrado que para los sistemas de entrepisos formados por losacero, no siempre es necesario ni recomendable llenar los espacios vacíos



formados entre las vigas y el troquelado de la lámina, este espacio que se forma entre la parte superior del patín de la viga y la lámina es despreciable al momento del cálculo. Se puede proceder a aplicar la protección con paneles por medio de un cielo falso a base de paneles resistentes, y puede adicionalmente encajularse los perfiles estructurales que quedaran dentro del cielo falso, de acuerdo a los requerimientos de tiempo de resistencia al fuego.

Ilustración 275, viga tipo WF como apoyo de losacero

Cuando se planifique un sistema de protección pasiva contra incendios en un proyecto de arquitectura de con estructura de perfiles de acero, existen 2 condiciones que se deben de chequear para poder tener una idea clara de cómo se especificara el sistema en la planificación, estas condiciones son

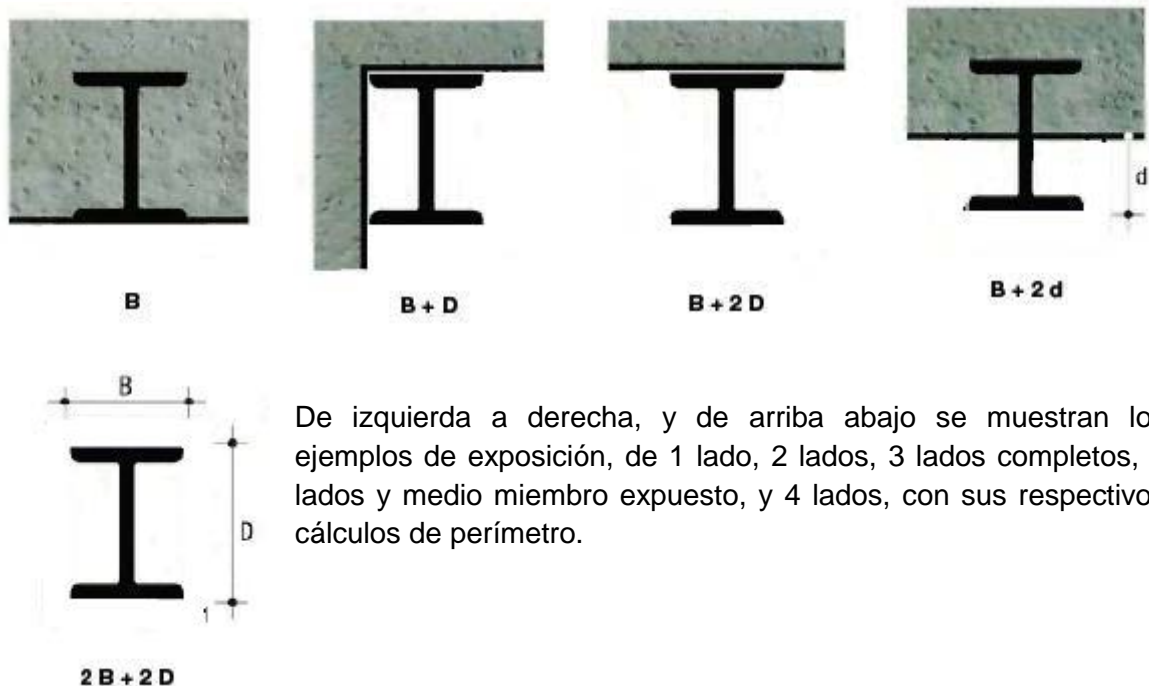
- factor de masividad o de sección (ver pagina 169)
- lados expuestos al fuego

El factor de masividad determinara que tan rápidamente se calentara determinado perfil de acero, la masividad será directamente proporcional a la temperatura, a menor masividad, menor tiempo de calentamiento.

Los lados expuestos de un perfil de acero serán determinantes al momento de especificar la protección. En una estructura de acero, todos los miembros están interconectados, y el acero es un muy buen conductor del calor, por lo que se debe de tener en cuenta que es necesario cubrir todas y cada una de las caras expuestas, para que no existan puntos débiles en la protección del sistema estructural.

Exposiciones al fuego más probables en un proyecto de arquitectura

En un proyecto arquitectónico, las posibilidades más frecuentes de exposición al fuego, son las siguientes



Protección Pasiva por tratamientos y revestimientos intumescentes, Parámetros de Calculo y Criterios de aplicación

Una película de recubrimiento o tratamiento intumescente, es en principio un recubrimiento especial el cual desarrolla una capa aislante cuando se expone cualquier miembro estructural a la acción del fuego. Los recubrimientos intumescentes están compuestos por un alto contenido de materiales carbónicos, los que proveen una muy baja conductividad térmica. Este tipo de recubrimientos tienen el potencial para proteger una amplia gama de materiales, tales como tejidos, maderas, plásticos, pero el principal uso y el más necesario es la protección del acero estructural en proyectos de arquitectura.



Ilustración 276, aplicación de recubrimiento intumescente a columna WF de acero estructural

Cuando el acero estructural es expuesto al fuego, puede alcanzar temperaturas cercanas a los 1000°C en un periodo de tiempo relativamente corto. El acero no es combustible, pero pierde su capacidad de resistencia estructural en algún punto alrededor de los 500°C.

El trabajo de un recubrimiento intumescente es mantener la temperatura del acero por debajo de los 500°C tanto tiempo como sea posible. Las formulaciones que están disponibles actualmente, de acuerdo a especificaciones del fabricante, permiten mantener la temperatura por debajo de 500°C por un periodo de hasta 120 minutos.

Una de las versatilidades que ofrecen los recubrimientos intumescentes es que se necesita una capa de aplicación relativamente delgada que no interfiere con acabados finales o con la estética arquitectónica de un proyecto.

Proceso químico de intumescencia

Para entender el funcionamiento de un recubrimiento o tratamiento intumescente, es necesario analizar las materias primas utilizadas. Como en cualquier recubrimiento, estas se basan en una base ligante, una resina o una emulsión. Adicionalmente, una fuente de ácido (polifosfato de amonio), una de carbón (polialcohol) un agente propelente (melanina) y una sal metálica (óxido de titanio) son necesarios para obtener como resultado del calor una espuma aislante.



Ilustración 277, aplicación de llama directa sobre superficie con tratamiento intumescente

Cuando es expuesta al calor del fuego, la resina o emulsión del recubrimiento seco se funde. La descomposición térmica de la fuente de ácido conduce a la liberación del ácido. El ácido reacciona con el polialcohol para producir un éster ácido. A mayores temperaturas el éster ácido se descompone y se liberan compuestos ricos en carbón, los cuales se espuman por la descomposición térmica simultánea del agente propelente. Al final de la reacción el carbón reacciona para liberar monóxido y dióxido de carbono. Debido a esto, una espuma compuesta de titanio, fósforo y oxígeno resistirá al calor del fuego.



Ilustración 278, Perfil de acero WF con recubrimiento intumescente

Los recubrimientos intumescentes son mezclas químicas específicamente diseñadas con dosificaciones exactas para lograr las reacciones deseadas. Debido a que casi todas las emulsiones o resinas tienen su propio comportamiento termoplástico, un recubrimiento intumescente es una formulación sensible que no resiste ningún cambio en las materias



Ilustración 279, prueba de aplicación de llama directa a una superficie tratada con revestimiento intumescente

primas. Es decir, los recubrimientos intumescentes son compuestos que no permiten mezclas ni diluciones, sino que deben de ser utilizados de la manera como los provee el fabricante, sin adulterar su fórmula.

Protección Intumescente para acero estructural

El acero estructural es un material muy utilizado actualmente, dado la versatilidad del mismo. Es un material de construcción que permite salvar grandes luces con secciones relativamente pequeñas, que si se hiciera uso de concreto. El acero estructural tiene muchas bondades que lo hacen un material de construcción entre los favoritos.



Ilustración 280, Estructura de acero de perfil WF con recubrimiento de pintura intumescente

Una estructura hecha de marcos de acero, es vulnerable a la temperatura por su factor de masividad (consultar página 77). Mientras un perfil de acero sea más masivo, en relación de perímetro y área de sección transversal, mayor será la capacidad de este de conducir la temperatura y derivado de esto, el calor se transmitirá a toda la estructura, ocasionando que se pierda la capacidad de soporte estructural.

Una técnica para contrarrestar el efecto de la temperatura es la aplicación de revestimientos intumescentes a los miembros estructurales de acero que estarán expuestos a fuego.

Los revestimientos ignífugos intumescentes están normados por el código ANSI/UL 263, y la resistencia al fuego de estos, es directamente proporcional al espesor de la capa que

se aplicara de revestimiento.

Los revestimientos intumescentes actualmente están disponibles como

- **Pinturas intumescentes**
- **Espumas intumescentes**

Estas presentaciones, permiten la versatilidad de poder aplicarlos en donde sea requerido, por medio de aplicación como aspersión (aplicación con aire comprimido) para garantizar que el espesor de la capa sea uniforme en todas las caras expuestas del miembro estructural que se esté protegiendo. El rendimiento

de cada una de las presentaciones ya sea como pintura o como espuma,

deberá de las especificaciones del fabricante, y de las capas que sea necesario aplicar de acuerdo al cálculo previamente realizado.

Al momento de especificar los recubrimientos intumescentes para acero estructural, el parámetro más importante a especificar es el espesor de la capa de recubrimiento a aplicar en los perfiles. Este cálculo variara de acuerdo al tipo de perfil estructural del que se trate, y cada ecuación es para calcular un caso específico, de acuerdo a la forma de la sección transversal del perfil a proteger, de la siguiente manera:

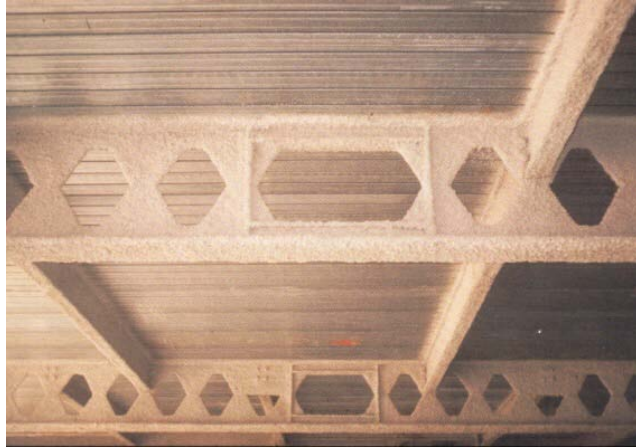


Ilustración 281, Viga celular de perfil WF con recubrimiento intumescente



Ilustración 282, armaduras para soporte de cubiertas, protegidas con aplicación de recubrimiento intumescente

Para columnas de Perfiles WF

Siendo 1) el perfil Wide Flange de acuerdo a especificaciones AISC para perfiles de acero estructural, y 2) el recubrimiento de pintura intumescente a aplicar, el espesor de la capa de recubrimiento intumescente de protección, se determina por la siguiente ecuación:

$$t = \frac{(T - 28.276)}{\left[773.29 \left(\frac{W}{D}\right)\right]}$$

Donde

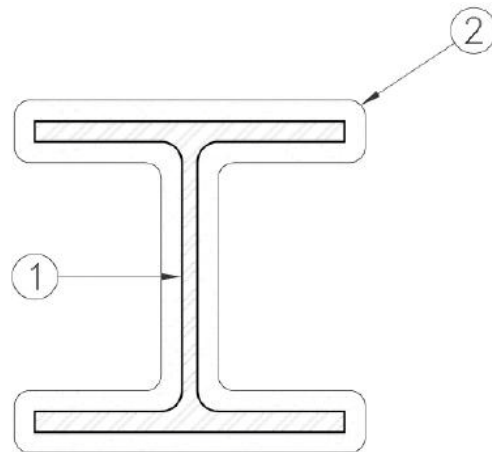
t= espesor total del recubrimiento, en pulgadas, se debe de convertir a centímetros (multiplicar por 2.54)

T= periodo de protección deseado para la columna a proteger, dentro de un rango no menor a 45 minutos, ni mayor a 120 minutos

W = peso de la sección de la columna, en libras por pie

D = perímetro calentado o expuesto a fuego de la columna, dependerá de si la exposición es de 1, 2, 3, o 4 caras del perfil estructural

La relación $\frac{W}{D}$ debe de cumplir con el rango de valores como mínimo 0.32, y como máximo 2.52. Si al momento de calcular la relación $\frac{W}{D}$ excede los valores límites, si estuviera por debajo de 0.32, se aproximara a 0.32, y si fuera mayor a 2.52, se reducirá a 2.52.



Para columnas de Perfiles tubulares cuadrados

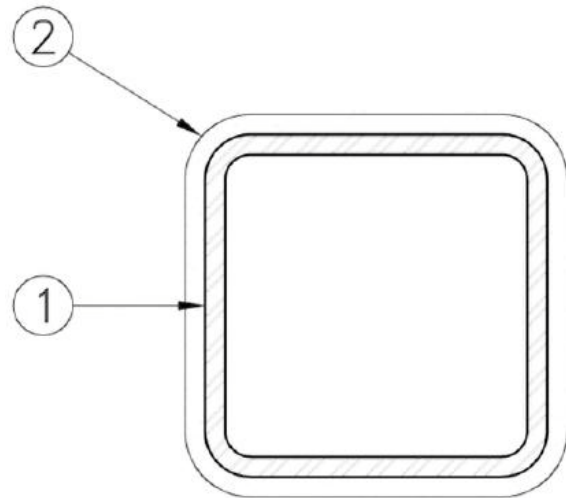
Siendo 1) el perfil tubular cuadrado de acuerdo a especificaciones AISC para perfiles de acero estructural, y 2) el recubrimiento de pintura intumescente a aplicar, el espesor de la capa de recubrimiento intumescente de protección, se determina por la siguiente ecuación:

$$t = \frac{(T - 30.21)}{\left(0.2104 * \left[\frac{M}{D}\right]\right)}$$

Donde

t= espesor total del recubrimiento, en milímetros, este deberá estar entre el rango con un valor mínimo de 1.06mm y máximo 5.74 mm

T= periodo de protección deseado para la columna a proteger, dentro de un rango no menor a 60 minutos, ni mayor a 120 minutos



M= masa de la sección de la columna, en Kg/m

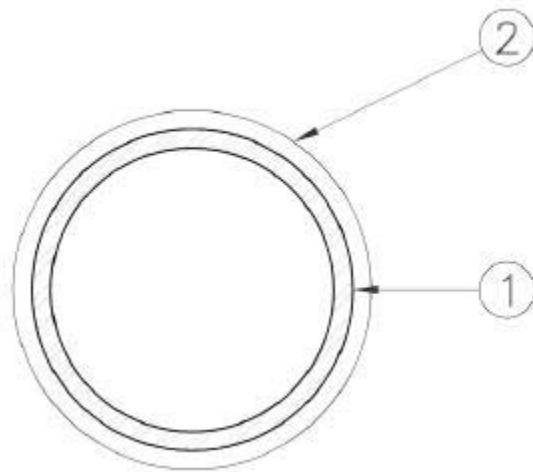
D= perímetro calentado o expuesto a fuego de la columna, dependerá de si la exposición es de 1, 2, 3, o 4 caras del perfil estructural

La relación $\frac{M}{D}$ deberá estar en el rango con los valores como mínimo 34.3, y el máximo 120. Si la relación excediera o fuera menor a los límites establecidos, se debe aproximar a los valores establecidos como máximos o mínimos según sea el caso.

Para columnas de Perfiles tubulares HSS (Hollow Structural Section, Columns Tubing)

Siendo 1) el perfil tubular HHS de acuerdo a especificaciones AISC para perfiles de acero estructural, y 2) el recubrimiento de pintura intumescente a aplicar, el espesor de la capa de recubrimiento intumescente de protección, se determina por la siguiente ecuación:

$$t = \frac{(T - 30.21)}{(0.2104 * \left[\frac{M}{D}\right])}$$



Donde

t= espesor total del recubrimiento, en milímetros, este deberá estar entre el rango con un valor mínimo de 1.06mm y máximo 5.74 mm

T= periodo de protección deseado para la columna a proteger, dentro de un rango no menor a 60 minutos, ni mayor a 120 minutos

M= masa de la sección de la columna, en Kg/m

D= perímetro calentado o expuesto a fuego de la columna, dependerá de si la exposición es de 1, 2, 3, o 4 caras del perfil estructural

La relación $\frac{M}{D}$ deberá estar en el rango con los valores como mínimo 34.3, y el máximo 120. Si la relación excediera o fuera menor a los límites establecidos, se debe aproximar a los valores establecidos como máximos o mínimos según sea el caso.



Ilustración 284, ensayo de fuego a perfil WF con recubrimiento intumescente bajo parámetros normados por ASTM E119



Ilustración 283, aplicación de carga de fuego a viga perfil WF, durante 118 minutos, condiciones de fuego y de carga constantes



Ilustración 285, estructura de acero después de incendio, fue tratada con recubrimiento intumescente, el incendio consumió todo el material combustible, y la estructura aun es recuperable



Ilustración 286, estructura de acero después de un incendio, sin recubrimiento intumescente a prueba de fuego, presenta fallas tipo diafragma

Protección Pasiva por revestimientos con morteros proyectados, Parámetros de Cálculo y Criterios de aplicación

Los revestimientos a prueba de fuego con morteros proyectados son otro sistema de protección pasiva que puede utilizarse para proteger estructuras, ya sea de acero, madera o concreto, contra los efectos de las altas temperaturas que se producen en un incendio.

Un mortero proyectado, es un revestimiento que se aplica por medio de aire comprimido (equipo compresor), el cual, debido al método de aplicación que será utilizado, tiene una elevada plasticidad, que es conferida por la granulometría del agregado que es usado en el diseño de mezcla del mortero.

Los morteros a prueba de fuego, contienen como agregados:

- Bentonita
- Vermiculita
- Perlita
- Piedra pómez
- Arcillas



Ilustración 287, aplicación de mortero proyectado a columna de acero estructural

Bentonita

Las bentonitas son arcillas de granos muy finos, del tipo montmorillonita, que contienen calcio y hierro, muy comúnmente utilizadas para piezas de cerámicas. Este tipo de mineral, tiene una elevada resistencia a la temperatura, lo cual le confiere a la bentonita las cualidades necesarias para poder ser utilizada en la elaboración de

morteros para protección contra temperaturas de miembros estructurales.



Ilustración 288, Bentonita, en estado mineral

Vermiculita

La vermiculita es un mineral formado por silicatos de hierro o silicatos de magnesio, perteneciente al grupo de las micas. es un mineral ligero, con una densidad de entre 60 y 140 kg/m³, de acuerdo a la granulo una de las cualidades por las cuales la vermiculita es utilizada en la manufactura de morteros a prueba de fuego es por su elevada capacidad

de aislamiento térmico, manteniendo su capacidad de aislamiento térmico en rangos desde 200°C a 1200°C, rango en el que su conductividad térmica es muy baja. Cuando la temperatura aumenta, la conductividad térmica de la vermiculita aumenta, pero en una proporción mucho menor.



Ilustración 289, Vermiculita, en estado mineral

Perlita

La perlita es un vidrio volcánico amorfo, que tiene un contenido de agua relativamente alto. Es un mineral que tiene la propiedad poco común de expandirse en condiciones de altas temperaturas. Su proceso de expansión, se alcanza cuando está expuesta a temperaturas de 850°C-950°C. Cuando alcanza este punto, la perlita se ablanda y deja escapar su contenido de agua, misma que se vaporiza confiriéndole al mineral una



Ilustración 290, Perlita, en estado mineral

cualidad ignifugante.

Piedra pómez

La Pumita o piedra pómez, es una roca ígnea volcánica vítrea, y una de sus principales características es su baja densidad. Es un material poroso, que tiene un alto contenido de vacíos, mismos que pueden llenarse de aire, confiriéndole excelentes cualidades para ser utilizada en aislamientos térmicos. En los morteros a prueba de fuego, se le utiliza para mejorar la capacidad de resistencia a la temperatura.



Ilustración 291, Piedra Pómez

Arcilla

Está constituida por agregados de silicato de aluminio hidratado, procedente de la descomposición de los minerales del aluminio. Una de las principales características de la arcilla, es que puede partir de un estado altamente plástico, y al calentarse, inicia un proceso de endurecimiento por encima de los 800°C. No se conoce aun un punto en el cual una arcilla falle por calentamiento. Es un excelente material a prueba de fuego, el cual aumenta su resistencia al incrementarse la temperatura.

Diseño de Revestimientos por morteros proyectados

Al momento de especificar un revestimiento por morteros proyectados, el principal factor a especificar en planos será el espesor del recubrimiento. El aumento en el espesor de la capa de mortero, será el que definirá el tiempo de protección que se le proporcionara a la estructura.

Cuando se elige un mortero de revestimiento, se debe de tener en cuenta el peso del mortero, y este será un parámetro de selección para escoger el tipo de mortero a utilizar. Para estructuras de cubiertas, si la estructura es de una armadura con cualquier tipo de perfil, se debe de revisar e incluir en la memoria de cálculo la densidad del mortero, dado que a partir de la densidad, si tenemos el volumen aplicado (longitud por espesor) se puede determinar la masa del recubrimiento.

Para calcular el espesor de la capa de mortero a aplicar, se debe tomar en cuenta que el perfil de acero estructural, ya sea este Wide flange, HSS circular o HSS cuadrado, todo miembro estructural de acero en formas se calentara a una tasa diferente por minuto, en función de su factor de masividad, o factor de sección.

El factor de masividad o sección, es la relación que existe entre el área de la sección transversal y el perímetro del perfil, y se obtiene de la siguiente manera:

$$M = \frac{P}{A}$$

Donde

M = factor de masividad, en mm

P = perímetro de la sección estructural, en mm

A = área de la sección transversal del perfil, en mm



Factor de masividad:
perímetro grande, sección
pequeña = calentamiento rápido



Perímetro pequeño, sección
grande = calentamiento lento

Ilustración 292, factor de masividad

Perfiles en "I" o "H"

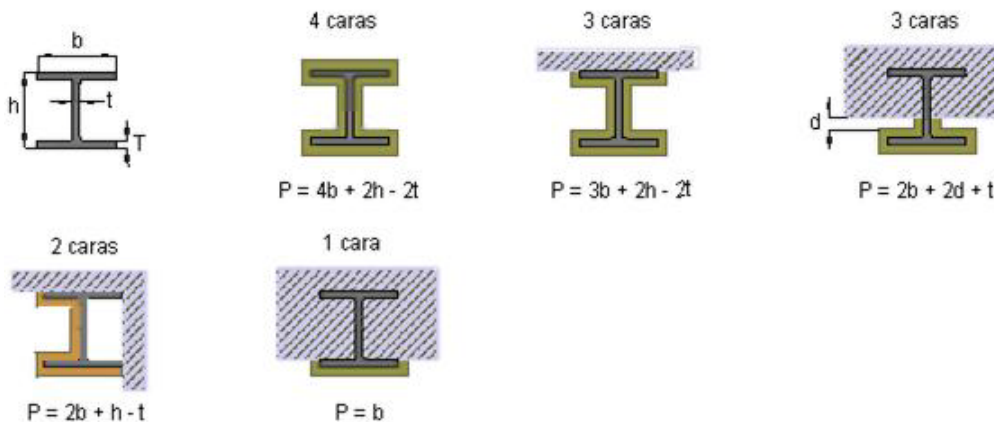
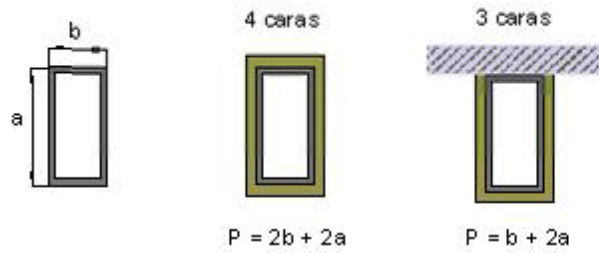


Ilustración 293, determinación del factor de masividad para perfiles WF

Tubos rectangulares



Tubos circulares

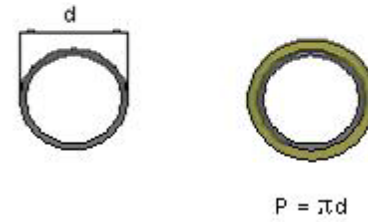


Ilustración 294, determinación del factor de masividad para perfiles HSS

Una vez obtenido el factor de masividad de acuerdo al perfil utilizado, EN 13381-1 establece los parámetros mínimos de protección, que relacionan el factor de masividad o factor de sección, con el tiempo en minutos que se desea proporcionar de protección frente al fuego, de la siguiente manera

Recubrimiento de protección con Mortero Proyectado para Acero estructural						
Factor de masividad	espesor de la capa de recubrimiento(mm) / resistencia al fuego en minutos					
	30 minutos	60 minutos	90 minutos	120 minutos	180 minutos	240 minutos
50 a 150	10	12	25	36	57	79
170	10	13	26	38	60	83
190	10	13	27	40	63	87
210	10	14	28	41	65	90
230	11	15	29	42	67	93
250	12	15	30	43	69	96
270	13	16	31	44	71	99
290	14	17	32	45	73	102
310	15	17	33	46	75	105
330	16	18	34	47	77	108
350 a 400	17	19	35	48	79	111

Tabla 25, Espesor de capa de recubrimiento en función de tiempo, datos obtenidos de EN 13381-1

Se debe de especificar entonces de acuerdo al factor de masividad, el espesor de capa que se requiera aplicar en los miembros estructurales, de acuerdo al tiempo de protección mínimo que se dará a la estructura.

Densidades de morteros

Cuando se especifica un mortero proyectado como protección para estructuras de acero, se debe de tomar en cuenta la densidad del mortero, para poder estimar el peso del

recubrimiento e incluir este peso como parámetro de carga en la memoria de cálculo estructural.

Para determinar el peso del recubrimiento, un parámetro útil de cálculo es la densidad. La densidad es una magnitud física que relaciona la masa con el volumen, de la siguiente manera:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

Donde

ρ = Densidad, en Kg/ M³
M = Masa
V = Volumen

Teniendo estos datos, se resuelve la relación para V, y se obtiene

$$V = \frac{M}{\rho}$$

Donde

ρ = Densidad, en Kg/ M³
M = Masa
V = Volumen, en M³

Teniendo calculado el volumen del mortero, se debe de cuantificar cuantos metros lineales de recubrimiento se tiene, y se determina por multiplicación del área por la longitud de aplicación del mortero, la cantidad de metros lineales de estructura que podrán ser recubiertos con 1 metro cubico de mortero. Esto será un parámetro para tener idea de cuánto peso representa el mortero de recubrimiento en la estructura que se está protegiendo.

Como criterios de selección, en función de donde se aplicara el mortero, para algunos morteros predosificados, las densidades son las siguientes

- Morteros de Bentonita, 1200 Kg/ M³
- Morteros de Vermiculita, 540 Kg / M³
- Morteros de Perlita, 450 Kg/ M³
- Morteros de Piedra Pómez, 1600 Kg / M³
- Morteros de Arcilla 700 Kg / M³

Estas densidades, servirán como criterio de selección de tipo de mortero a aplicar, según sea el caso donde se aplique, ya sea en revestimientos para columnas de acero estructural, o como recubrimiento para estructuras de cubiertas, teniendo en

consideración que si se trata de una estructura de cubierta, lo más conveniente es elegir un material que no agregue más peso suspendido de una cubierta.



Ilustración 295, recubrimiento de mortero proyectado en estructuras de acero usadas como columnas



Ilustración 296, armaduras de estructura de techo recubierta por mortero proyectado

Protección Pasiva por encajuelados con paneles resistentes al fuego, Parámetros de Cálculo y Criterios de aplicación

El uso de paneles prefabricados a base de aglomerados, óxido de magnesio o yeso, es bastante común actualmente en la construcción de proyectos arquitectónicos. Los paneles son usados regularmente para hacer cerramientos exteriores en algunos casos, tabicaciones, acabados en cielos falsos, y algunas otras aplicaciones en arquitectura.

Encajular las estructuras con paneles es otra forma de protección pasiva para lograr el resguardo de la integridad estructural. Cuando se efectúa un trabajo de encajuelado en estructuras, se logran 2

efectos paralelamente

- Acabado final visualmente estético
- Protección contra el fuego por periodos de tiempo determinados en función del espesor del tablero

Existen algunas versiones de paneles, que dependiendo del fabricante, son constituidos con cierto porcentaje de asbesto, lo que les confiere aun mayor resistencia al fuego.

Al momento de planificar protección por medio de encajuelados, debe de tenerse en cuenta que esta puede ser especificada para miembros de acero estructural expuesto, concreto, muros de mampostería, es decir, este sistema no se limita únicamente a estructuras de acero.

Un sistema de protección pasiva por medio de encajuelado con panel a prueba de fuego, permite que se pueda aislar la estructura de la acción de la temperatura durante un periodo de tiempo normado. Este sistema puede ser utilizado para miembros estructurales (vigas y columnas) y para cerramientos verticales, protección de fachadas, protección de ambientes especiales a prueba de fuego (gradas, cuartos para equipos electrónicos especiales, cuartos de maquinas, bodegas de almacenamiento de agentes extintores) y también permite la posibilidad de aplicar el sistema en el blindaje de instalaciones por



Ilustración 297, Revestimiento de acero estructural con paneles a prueba de fuego

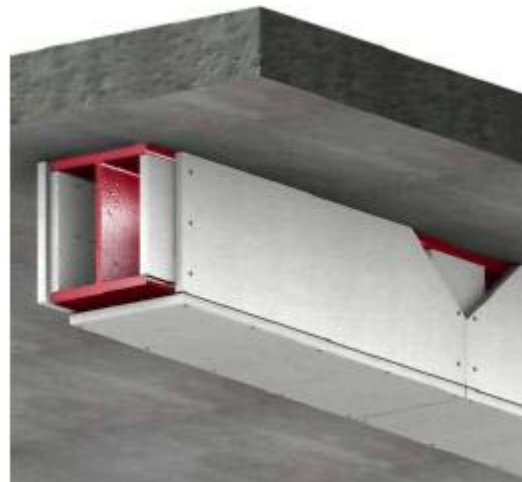


Ilustración 298, Revestimiento de viga de acero estructural con paneles a prueba de fuego

medio de proveer ductos a prueba de fuego para cableados, líneas de energía para sistemas de monitoreo y encendido remoto de sistemas de extinción.

En el diseño del sistema de encajuelado debe de preverse que de esta protección debe de aplicarse a cada una de las caras del miembro estructural que estará expuesto a la acción del fuego directamente, por lo que no debe de quedar ninguna de sus caras al descubierto.

Calculo de Encajuelados resistentes al fuego

Para especificar un sistema de encajuelado resistente al fuego, el primer factor a tomar en cuenta si se trata de una estructura de acero estructural, será su factor de masividad.

Este factor de masividad, se calculara de la siguiente manera:

$$M = \frac{P}{A}$$

Donde,

M = factor de masividad, en mm

P = perímetro de la sección estructural, en mm

A = área de la sección transversal del perfil, en mm

Cuando se calcule el factor de masividad, se debe de tener en cuenta que el cálculo de este ira referido a las caras expuestas al fuego, dado que no será un sistema de recubrimiento de contorno, sino de encajuelado total, se debe establecer la masividad para cada caso particular, de la siguiente manera

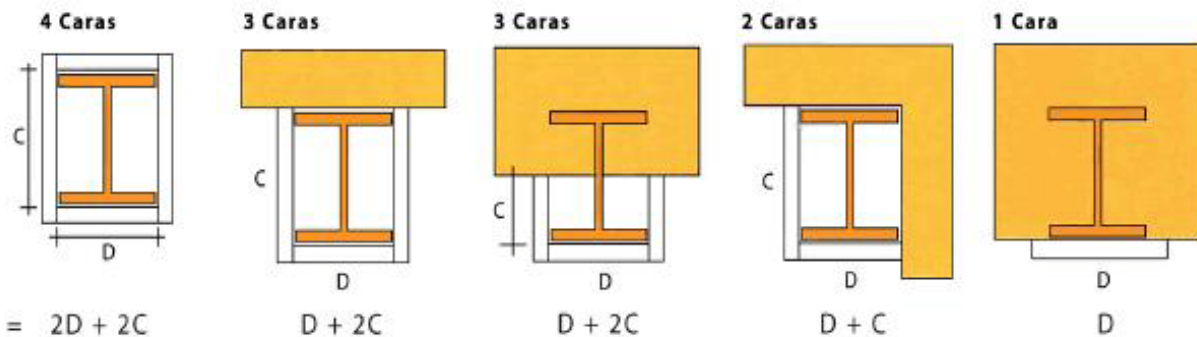


Ilustración 299, factor de masividad para perfiles Wide Flange

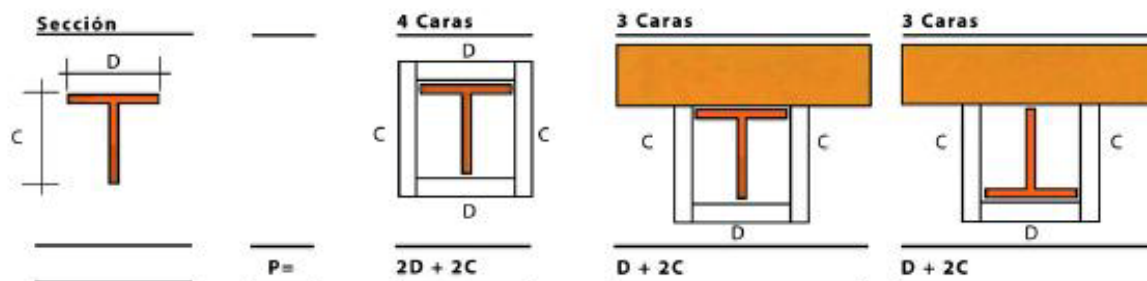


Ilustración 301, factor de masividad para perfiles T

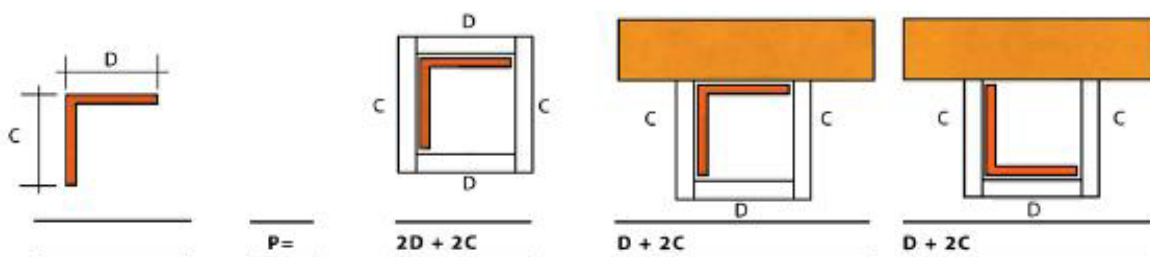


Ilustración 300, Factor de masividad para perfiles Angulares

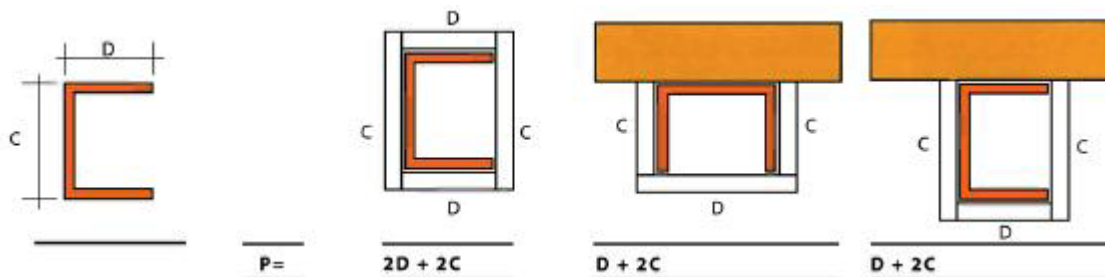


Ilustración 303, Factor de masividad para perfiles C

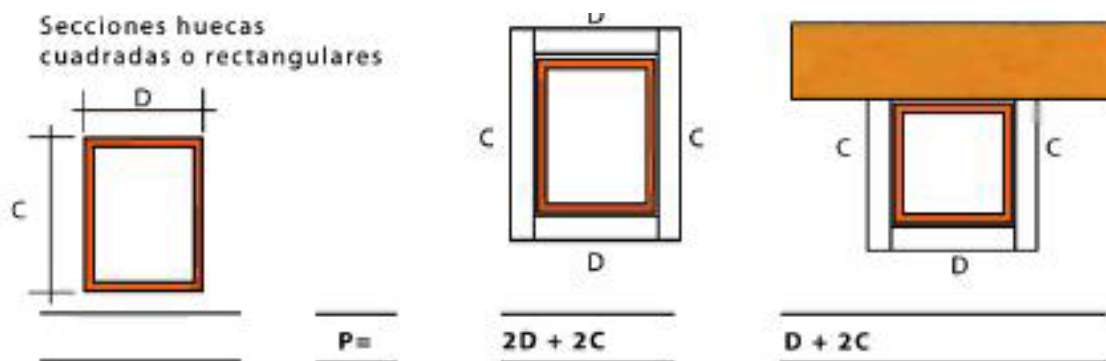


Ilustración 302, Factor de Masividad para secciones HSS, sección cuadrada o rectangular



Ilustración 304, Factor de masividad para secciones HSS, sección circular

De acuerdo a estudios efectuados, y a normativas internacionales vigentes, el tiempo de protección contra fuego para acero estructural por medio del encajuelado, está en función del espesor de la protección aplicada a los miembros estructurales. Una vez obtenido el factor de masividad, se debe de comparar contra tablas establecidas para comprobar cuál es el espesor adecuado a especificar para el tiempo de protección que se especificara.

Los espesores mínimos requeridos para el encajuelado de protección, se encuentran normados internacionalmente por UL-263, y por UNE ENV-13381-4:2002



Ilustración 305, protección con paneles en estructuras de acero

Espesores mínimos recomendados para encajuelado de protección con paneles para Acero estructural						
Factor de masividad	espesor del encajuelado(mm) / resistencia al fuego en minutos					
	30 minutos	60 minutos	90 minutos	120 minutos	180 minutos	240 minutos
45	19	19	19	19	27	38
50	19	19	19	19	29	40
60	19	19	19	20	31	40
70	19	19	19	22	33	42
80	19	19	19	23	35	42
90	19	19	19	24	36	44
100	19	19	19	25	37	44
110	19	19	20	26	38	46
120	19	19	20	26	39	N/A
130	19	19	21	27	40	N/A
140	19	19	21	27	40	N/A
150	19	19	21	28	41	N/A
160	19	19	21	28	41	N/A
170	19	19	22	29	42	N/A
180	19	19	22	29	42	N/A
190	19	19	22	29	43	N/A
200	19	19	23	29	44	N/A
210	19	19	23	30	44	N/A
220	19	19	23	30	N/A	N/A
230	19	19	23	30	N/A	N/A
240	19	19	23	30	N/A	N/A
250	19	19	24	30	N/A	N/A
260	19	19	24	30	N/A	N/A
270	19	19	24	31	N/A	N/A
280	19	19	24	31	N/A	N/A
290	19	19	24	31	N/A	N/A
300	20	20	25	31	N/A	N/A
310	20	20	25	31	N/A	N/A
320	20	20	25	32	N/A	N/A
330	20	20	25	32	N/A	N/A
340	20	20	25	32	N/A	N/A
350 A 400	25	25	30	N/A	N/A	N/A

Tabla 26, Espesores mínimos recomendados para encajuelados con paneles para Acero estructural



Ilustración 306, Encajuelado de Protección aplicado a estructuras de perfiles de acero estructural



Al momento de sectorizar y compartimentar sectores de incendio, se debe recordar que las instalaciones juegan un papel importante y crucial en el correcto funcionamiento de los sistemas de un proyecto de arquitectura en condiciones de funcionamiento normal, y en condiciones de incendio.

Blindaje y aislamiento de ductos

Existen proyectos de arquitectura donde los sistemas circuito cerrado, cableado estructurado y transmisión de datos, suministro de energía eléctrica, juegan un papel muy importante. Por ejemplo, en los hospitales, centros de detención (prisiones), instituciones bancarias y financieras, la protección y blindaje de líneas de transmisión, tuberías conductoras de oxígeno, suministro eléctrico para equipos de asistencia médica (respiradores, desfibriladores, equipos de quirófano, incubadoras) son equipos que no pueden quedar sin suministro al momento de ocurrir un incendio. Se debe de considerar el caso que en determinados lugares, habrán usuarios que no puedan ser evacuados (pacientes, reos), para los cuales los sistemas de asistencia y respaldo, o vigilancia deben de quedar funcionando de una manera regular.



Ilustración 307, aislamiento de ductos de conducción

Cuando se habla de blindaje de líneas de suministro la página 169, se habla sobre el recubrimiento que los conductores traen de fábrica, específicamente para cables de conducción eléctrica. La protección pasiva debe de considerarse también para proteger los ductos por donde los sistemas de cableado, conducción y transmisión se mueven dentro del proyecto arquitectónico.

Encajuelando los ductos de conducción es una manera eficaz de protegerlos contra la acción del fuego. Los ductos de cableado o para tuberías, pueden ser recubiertos con un encajuelado de la



Ilustración 308, aislamiento de ductos de instalaciones

misma manera en la que se recubren estructuras de acero.

En la planificación, se debe de especificar, tanto en planta como en sección, los ductos que se protegerán contra incendios, y estos deben de estar recubiertos por espesores mínimos de acuerdo a la tabla en la página 324, en función de la resistencia al fuego. Se debe de recordar que en el caso de los ductos, comúnmente son hechos a partir de láminas de calibres muy delgados, lo que representa que su sección transversal en referencia al perímetro dará como resultado que el calentamiento de los mismos sea bastante rápido. Debido a ello, se debe de tener el cuidado de seleccionar los espesores que provean de protección por el tiempo requerido, con factores de masividad pequeños.

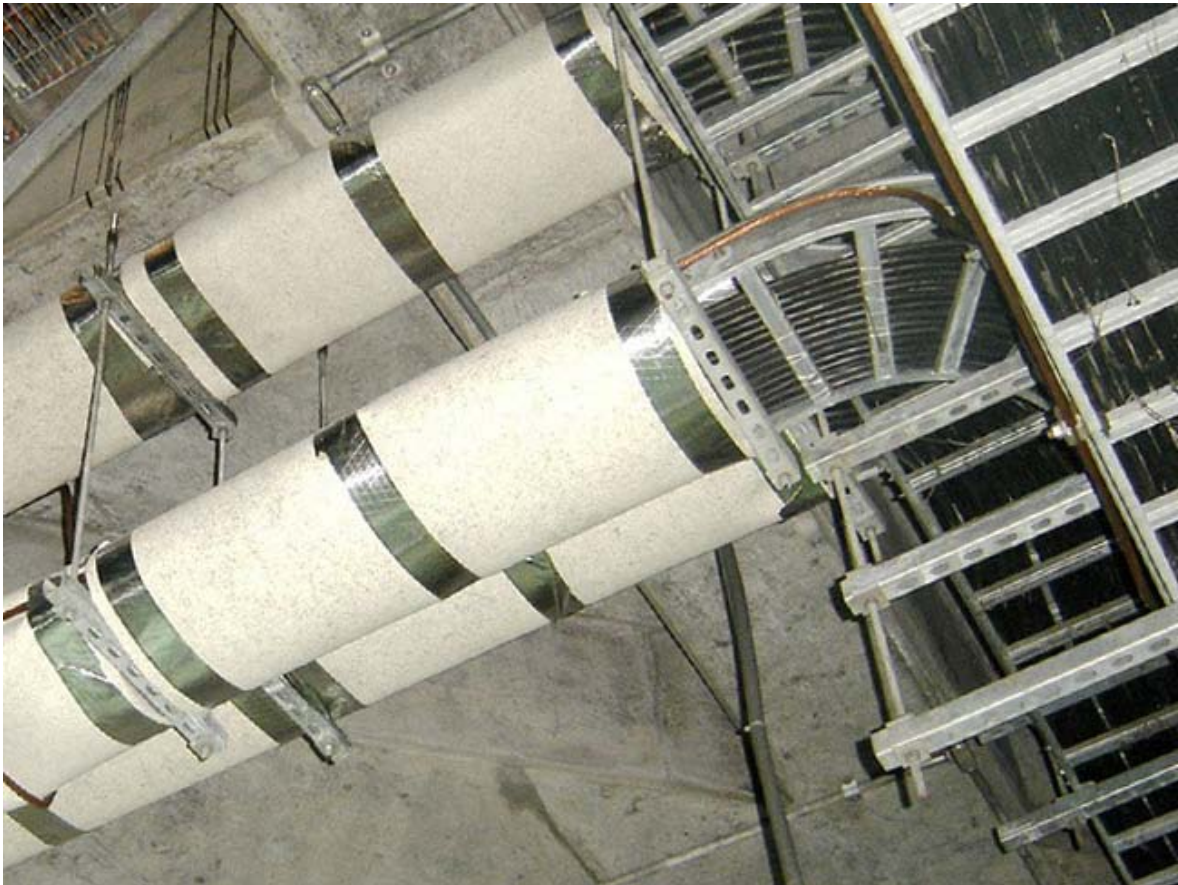


Ilustración 309, ductos de transmisión de datos y líneas de suministro eléctrico, aislados contra incendio

Protección Pasiva con mampostería de concreto, ladrillos de arcillas y concreto, Parámetros de Cálculo y Criterios de aplicación

La mampostería de concreto está clasificada como incombustible en todos los códigos de construcción internacionales. Los bloques de mampostería de concreto, tienen un elevado grado de resistencia a la acción del fuego, y un bajo coeficiente de conductividad. Sucede el mismo caso con los ladrillos de arcilla cocida, los cuales cuando son fabricados, son cocidos a temperaturas de hasta 900°C, lo que les confiere el típico color rojo que les caracteriza.

En determinadas condiciones, es posible hacer uso de la mampostería como un revestimiento o forro aislante contra la influencia de las altas temperaturas, y este tipo de técnica de protección ha sido ensayada y puesta a prueba para todos y cada uno de los casos en los que se puede dar la exposición al fuego.

La finalidad de este tipo de protección, es proporcionar un sistema de blindaje a las estructuras que queden expuestas a la acción del fuego. La resistencia al fuego de los sistemas con mampostería estará en función de

- Tipo de mampostería utilizada (concreto, arcilla, solida, hueca)
- Densidad de la mampostería utilizada
- Espesor de la pared de mampostería de recubrimiento

Este sistema de protección pasiva, hace uso de los materiales más comunes en el medio de la construcción para proporcionar una protección a la influencia del fuego a las estructuras, por medio de aislarlas con levantados de mampostería, sea esta de block de concreto o de ladrillo de arcillas cocidas, o de recubrimientos adicionales de concreto a los miembros estructurales de concreto.

Existen diferentes maneras de aplicar la protección en este sistema, y al momento de seleccionar o especificar alguna de ellas, se hará la selección entre los sistemas disponibles tomando en consideración los siguientes criterios:

- Espacio disponible para realizar el levantado
- Costo
- Acabado final
- Diseño estructural
- Tiempo de resistencia al fuego

Tanto la mampostería como el concreto, son materiales de construcción cuya resistencia al fuego ha sido ensayada y determinada en pruebas de laboratorio, y certificada por códigos de vigencia internacional

ASTM (sociedad americana de ensayos y materiales, por sus siglas en ingles) E119, es el ensayo por el cual es normada la resistencia al fuego de los materiales de construcción, mientras ACI (Instituto Americano del Concreto, por sus siglas en ingles) 216-1-97,

proporciona una guía para determinar la resistencia al fuego de los elementos de concreto, utilizado como medio de protección contra fuego.

La elección de cada uno de los sistemas o maneras de aplicar la protección por medio de mampostería o recubrimiento adicional de concreto, se hará de acuerdo a los valores especificados en los códigos anteriormente mencionados, y el espesor de la barrera de blindaje, se seleccionara de acuerdo al tiempo que se vaya a especificar cómo tiempo de resistencia al fuego.

Protección de perfiles tubulares de acero con levantado de mampostería

El acero estructural es un material ampliamente usado en la construcción dada su versatilidad para cubrir grandes luces, con peraltes relativamente pequeños, comparados con una sección de concreto. Sin embargo, el acero estructural tiene la desventaja de ser un excelente conductor de calor, por lo cual se debe de tener en cuenta al momento de diseñar, la protección necesaria contra el fuego que se debe de aplicar a miembros estructurales de acero, ya sea en alma llena o en perfiles tubulares.

Se puede proteger una estructura de acero de los efectos de las altas temperaturas, a nivel de columnas, por medio de efectuar levantado de mampostería recubriendo los fustes de columnas que queden expuestos a la acción del fuego.

Este sistema se aplica, levantando un muro de mampostería alrededor del miembro estructural que se desea proteger, dando de esta manera protección por medio de una

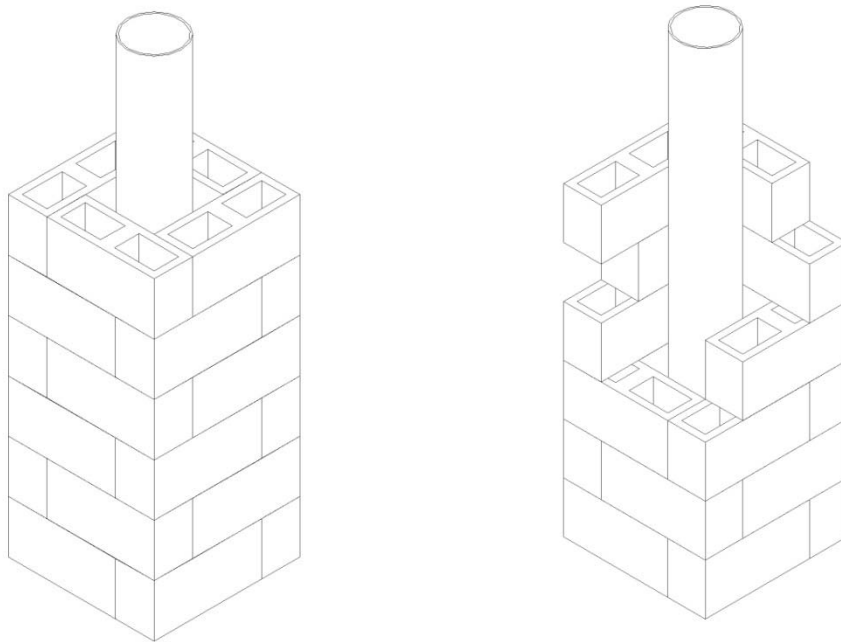


Ilustración 310, levantado de mampostería como blindaje contra fuego para acero estructural

Pared de mampostería que aislara al miembro estructural del efecto de las llamas, y adicionalmente, proporcionara una cámara de aire que permitirá un aislamiento adicional.

Cuando se diseña la protección de columnas de acero estructural mediante mampostería de concreto, la resistencia al fuego de estos elementos, se debe de calcular por medio de la siguiente ecuación:

$$R = 0.401 (A_{st} P_s)^{0.7} + \left[0.285 \left(\frac{T_{ea}^{1.6}}{k^{0.2}} \right) \right] + \left[1.0 + 42.7 \left[\frac{\left(\frac{A_{st}}{DT_{ea}} \right)}{(0.25p + T_{ea})} \right] \right]^{0.8}$$

Donde:

R = resistencia al fuego proporcionada a la columna, en horas

A_{st} = área de la sección transversal de la columna de acero estructural, en pulgadas cuadradas

D = densidad de la mampostería de concreto utilizada como protección, en libras por pie cubico

p = perímetro interior de la protección de mampostería de concreto, en pulgadas

T_{ea} = espesor equivalente de la protección de mampostería de concreto, en pulgadas

k = conductividad térmica de la mampostería de concreto, en BTU/ Horas pie por grado F°

P_s = para secciones Wide Flange, $2(b_f + d_{st}) + 2(b_f - t_w)$

P_s = Para secciones tubulares circulares, πd_{st}

P_s = Para secciones tubulares cuadradas, $4d_{st}$

La conductividad térmica de la mampostería de concreto, se puede calcular por la siguiente ecuación:

$$k = 0.0417^{0.02D}$$

Donde

D = densidad de la mampostería de concreto, en libras por pie cubico.

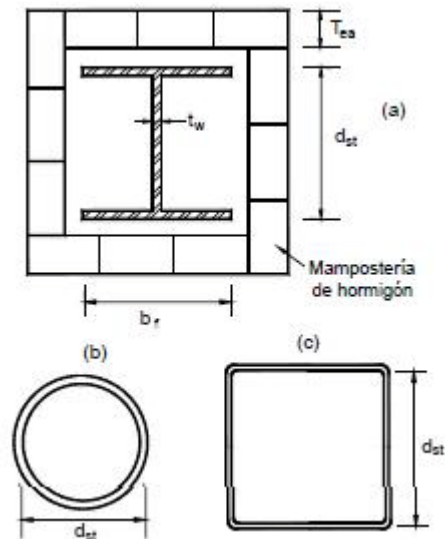


Tabla 27, valores de protección contra el fuego para perfiles Wide flange, tomados de ACI 216

Perfiles en W											
Tamaño de la columna	Densidad de la mampostería de hormigón, lb/ft ³	Mínimo espesor equivalente requerido, T_e (in.), para la siguiente resistencia al fuego de la protección de mampostería de hormigón:				Tamaño de la columna	Densidad de la mampostería de hormigón, lb/ft ³	Mínimo espesor equivalente requerido, T_e (in.), para la siguiente resistencia al fuego de la protección de mampostería de hormigón:			
		1 hr	2 hr	3 hr	4 hr			1 hr	2 hr	3 hr	4 hr
W14x82	80	0,74	1,61	2,36	3,04	W10x68	80	0,72	1,58	2,33	3,01
	100	0,89	1,85	2,67	3,40		100	0,87	2,83	2,65	3,38
	110	0,96	1,97	2,81	3,57		110	0,94	2,95	2,79	3,55
	120	1,03	2,08	2,95	3,73		120	1,01	2,06	2,94	3,72
W14x68	80	0,83	1,70	2,45	3,13	W10x54	80	0,88	1,76	2,53	3,21
	100	0,99	1,95	2,76	3,49		100	1,04	2,01	2,83	3,57
	110	1,06	2,06	2,91	3,66		110	1,11	2,12	2,98	3,73
	120	1,14	2,18	3,05	3,82		120	1,19	2,24	3,12	3,90
W14x53	80	0,91	1,81	2,58	3,27	W10x45	80	0,92	1,83	2,60	3,30
	100	1,07	2,05	2,88	3,62		100	1,08	2,07	2,90	3,64
	110	1,15	2,17	3,02	3,78		110	1,16	2,18	3,04	3,80
	120	1,22	2,28	3,16	3,94		120	1,23	2,29	3,18	3,96
W14x43	80	1,01	1,93	2,71	3,41	W10x33	80	1,06	2,00	2,79	3,49
	100	1,17	2,17	3,00	3,74		100	1,22	2,23	3,07	3,81
	110	1,25	2,28	3,14	3,90		110	1,30	2,34	3,20	3,96
	120	1,32	2,38	3,27	4,05		120	1,37	2,44	3,33	4,12
W12x72	80	0,81	1,66	2,41	3,09	W8x40	80	0,94	1,85	2,63	3,33
	100	0,91	1,88	2,70	3,43		100	1,10	2,10	2,93	3,67
	110	0,99	1,99	2,84	3,60		110	1,18	2,21	3,07	3,83
	120	1,06	2,10	2,98	3,76		120	1,25	2,32	3,20	3,99
W12x58	80	0,88	1,76	2,52	3,21	W8x31	80	1,06	2,00	2,78	3,49
	100	1,04	2,01	2,83	3,56		100	1,22	2,23	3,07	3,81
	110	1,11	2,12	2,97	3,73		110	1,29	2,33	3,20	3,97
	120	1,19	2,23	3,11	3,89		120	1,36	2,44	3,33	4,12
W12x50	80	0,91	1,81	2,58	3,27	W8x24	80	1,14	2,09	2,89	3,59
	100	1,07	2,05	2,88	3,62		100	1,29	2,31	3,16	3,90
	110	1,15	2,17	3,02	3,78		110	1,36	2,42	3,28	4,05
	120	1,22	2,28	3,16	3,94		120	1,43	2,52	3,41	4,20
W12x40	80	1,01	1,94	2,72	3,41	W8x18	80	1,22	2,20	3,01	3,72
	100	1,17	2,17	3,01	3,75		100	1,36	2,40	3,25	4,01
	110	1,25	2,28	3,14	3,90		110	1,42	2,50	3,37	4,14
	120	1,32	2,39	3,27	4,06		120	1,48	2,59	3,49	4,28

Tabla 28, valores de protección contra el fuego para perfiles de sección cuadrada, tomados de ACI 216

Tubos de acero estructural de sección cuadrada						Tubos de acero estructural de sección circular					
Tamaño nominal del tubo, in.	Densidad de la mampostería de hormigón, lb/ft ³	Mínimo espesor equivalente requerido, T_e (in.), para la siguiente resistencia al fuego de la protección de mampostería de hormigón:				Tamaño nominal del tubo, in.	Densidad de la mampostería de hormigón, lb/ft ³	Mínimo espesor equivalente requerido, T_e (in.), para la siguiente resistencia al fuego de la protección de mampostería de hormigón:			
		1 hr	2 hr	3 hr	4 hr			1 hr	2 hr	3 hr	4 hr
4 x 4 Espesor de pared = 1/2	80	0,93	1,90	2,71	3,43	4 doble extra resistente Espesor de pared = 0,674	80	0,80	1,75	2,56	3,28
	100	1,08	2,13	2,99	3,76		100	0,95	1,99	2,85	3,62
	110	1,16	2,24	3,13	3,91		110	1,02	2,10	2,99	3,78
	120	1,22	2,34	3,26	4,06		120	1,09	2,20	3,12	3,93
4 x 4 Espesor de pared = 3/8	80	1,05	2,03	2,84	3,57	4 extra resistente Espesor de pared = 0,337	80	1,12	2,11	2,93	3,65
	100	1,20	2,25	3,11	3,88		100	1,26	2,32	3,19	3,95
	110	1,27	2,35	3,24	4,02		110	1,33	2,42	3,31	4,09
	120	1,34	2,45	3,37	4,17		120	1,40	2,52	3,43	4,23
4 x 4 Espesor de pared = 1/4	80	1,21	2,20	3,01	3,73	4 estándar Espesor de pared = 0,237	80	1,26	2,25	3,07	3,79
	100	1,35	2,40	3,26	4,02		100	1,40	2,45	3,31	4,07
	110	1,41	2,50	3,38	4,16		110	1,46	2,55	3,43	4,21
	120	1,48	2,59	3,50	4,30		120	1,53	2,64	3,54	4,34
6 x 6 Espesor de pared = 1/2	80	0,82	1,75	3,54	3,25	5 doble extra resistente Espesor de pared = 0,750	80	0,70	1,61	2,40	3,12
	100	0,98	1,99	2,84	3,59		100	0,85	1,86	2,71	3,47
	110	1,05	2,10	2,98	3,75		110	0,91	1,97	2,85	3,63
	120	1,12	2,21	3,11	3,91		120	0,98	2,02	2,99	3,79
6 x 6 Espesor de pared = 3/8	80	0,96	1,91	2,71	3,42	5 extra resistente Espesor de pared = 0,375	80	1,04	2,01	2,83	3,54
	100	1,12	2,14	3,00	3,75		100	1,19	2,23	3,09	3,85
	110	1,19	2,25	3,13	3,90		110	1,26	2,34	3,22	4,00
	120	1,26	2,35	3,26	4,05		120	1,32	2,44	3,34	4,14
6 x 6 Espesor de pared = 1/4	80	1,14	2,11	2,92	3,63	5 estándar Espesor de pared = 0,258	80	1,20	2,19	3,00	3,72
	100	1,29	2,31	3,18	3,93		100	1,34	2,39	3,25	4,00
	110	1,36	2,43	3,30	4,08		110	1,41	2,49	3,37	4,14
	120	1,42	2,52	3,43	4,22		120	1,47	2,58	3,49	4,28
8 x 8 Espesor de pared = 1/2	80	0,77	1,66	2,44	3,13	6 doble extra resistente Espesor de pared = 0,864	80	0,59	1,46	2,23	2,92
	100	0,92	1,91	2,75	3,49		100	0,73	1,71	2,54	3,29
	110	1,00	2,02	2,89	3,66		110	0,80	1,82	2,69	3,47
	120	1,07	2,14	3,03	3,82		120	0,86	1,93	2,83	3,63
8 x 8 Espesor de pared = 3/8	80	0,91	1,84	2,63	3,33	6 extra resistente Espesor de pared = 0,432	80	0,94	1,90	2,70	3,42
	100	1,07	2,08	2,92	3,67		100	1,10	2,13	2,98	3,74
	110	1,14	2,19	3,06	3,83		110	1,17	2,23	3,11	3,89
	120	1,21	2,29	3,19	3,98		120	1,24	2,34	3,24	4,04
8 x 8 Espesor de pared = 1/4	80	1,10	2,06	2,86	3,57	6 estándar Espesor de pared = 0,280	80	1,14	2,12	2,93	3,64
	100	1,25	2,28	3,13	4,87		100	1,29	2,33	3,19	3,94
	110	1,32	2,38	3,25	4,02		110	1,36	2,43	3,31	4,08
	120	1,39	2,48	3,38	4,17		120	1,42	2,53	3,43	4,22

Tabla 29, valores de resistencia al fuego para perfiles wide flange, tomados de ACI 216

Perfiles en W											
Tamaño de la columna	Densidad de la mampostería de arcilla, lb/ft ³	Mínimo espesor equivalente requerido, T_e (in.), para la siguiente resistencia al fuego de la protección de mampostería:				Tamaño de la columna	Densidad de la mampostería de arcilla, lb/ft ³	Mínimo espesor equivalente requerido, T_e (in.), para la siguiente resistencia al fuego de la protección de mampostería:			
		1 hr	2 hr	3 hr	4 hr			1 hr	2 hr	3 hr	4 hr
W14x82	120	1,23	2,42	3,41	4,29	W10x68	120	1,27	2,46	3,36	4,35
	130	1,40	2,70	3,78	4,74		130	1,44	2,75	3,83	4,80
W14x68	120	1,34	2,54	3,54	4,43	W10x54	120	1,40	2,61	3,62	4,51
	130	1,51	2,82	3,91	4,87		130	1,58	2,89	3,98	4,95
W14x53	120	1,43	2,65	3,65	4,54	W10x45	120	1,44	2,66	3,67	4,57
	130	1,61	2,93	4,02	4,98		130	1,62	2,95	4,04	5,01
W14x43	120	1,54	2,76	3,77	4,66	W10x33	120	1,59	2,82	3,84	4,73
	130	1,72	3,04	4,13	5,09		130	1,77	3,10	4,20	5,13
W12x72	120	1,32	2,52	3,51	4,40	W8x40	120	1,47	2,70	3,71	4,61
	130	1,50	2,80	3,88	4,84		130	1,65	2,98	4,08	5,04
W12x58	120	1,40	2,61	3,61	4,50	W8x31	120	1,59	2,82	3,84	4,73
	130	1,57	2,89	3,98	4,94		130	1,77	3,10	4,20	5,17
W12x50	120	1,43	2,65	3,66	4,55	W8x24	120	1,66	2,90	3,92	4,82
	130	1,61	2,93	4,02	4,99		130	1,84	3,18	4,28	5,25
W12x40	120	1,54	2,77	3,78	4,67	W8x18	120	1,75	3,00	4,01	4,91
	130	1,72	3,05	4,14	5,10		130	1,93	3,27	4,37	5,34

Tabla 30, valores de protección contra el fuego para perfiles estructurales tubulares, tomados de ACI 216

Tubos de acero estructural de sección cuadrada						Tubos de acero estructural de sección circular					
Tamaño nominal del tubo, in.	Densidad de la mampostería de arcilla, lb/ft ³	Mínimo espesor equivalente requerido, T_e (in.), para la siguiente resistencia al fuego de la protección de mampostería:				Tamaño nominal del tubo, in.	Densidad de la mampostería de arcilla, lb/ft ³	Mínimo espesor equivalente requerido, T_e (in.), para la siguiente resistencia al fuego de la protección de mampostería:			
		1 hr	2 hr	3 hr	4 hr			1 hr	2 hr	3 hr	4 hr
4 x 4 Espesor de pared = 1/2	120	1,44	2,72	3,76	4,68	4 doble extra resistente Espesor de pared = 0,674	120	1,26	2,55	3,60	4,52
	130	1,62	3,00	4,12	5,11		130	1,42	2,82	3,96	4,95
4 x 4 Espesor de pared = 3/8	120	1,56	2,84	3,88	4,78	4 extra resistente Espesor de pared = 0,337	120	1,60	2,89	3,92	4,83
	130	1,74	3,12	4,23	5,21		130	1,77	3,16	4,28	5,25
4 x 4 Espesor de pared = 1/4	120	1,72	2,99	4,02	4,92	4 estándar Espesor de pared = 0,237	120	1,74	3,02	4,05	4,95
	130	1,89	3,26	4,37	5,34		130	1,92	3,29	4,40	5,37
6 x 6 Espesor de pared = 1/2	120	1,33	2,58	3,62	4,52	5 doble extra resistente Espesor de pared = 0,750	120	1,17	2,44	3,48	4,40
	130	1,50	2,86	3,98	4,96		130	1,33	2,72	3,84	4,83
6 x 6 Espesor de pared = 3/8	120	1,48	2,74	3,76	4,67	5 extra resistente Espesor de pared = 0,375	120	1,55	2,82	3,85	4,76
	130	1,65	3,01	4,13	5,10		130	1,72	3,09	4,21	5,18
6 x 6 Espesor de pared = 1/4	120	1,66	2,91	3,94	4,84	5 estándar Espesor de pared = 0,258	120	1,71	2,97	4,00	4,90
	130	1,83	3,19	4,30	5,27		130	1,88	3,24	4,35	5,32
8 x 8 Espesor de pared = 1/2	120	1,27	2,50	3,52	4,42	6 doble extra resistente Espesor de pared = 0,864	120	1,04	2,28	3,32	4,23
	130	1,44	2,78	3,89	4,86		130	1,19	2,60	3,68	4,67
8 x 8 Espesor de pared = 3/8	120	1,43	2,67	3,69	4,59	6 extra resistente Espesor de pared = 0,432	120	1,45	2,71	3,75	4,65
	130	1,60	2,95	4,05	5,02		130	1,62	2,99	4,10	5,08
8 x 8 Espesor de pared = 1/4	120	1,62	2,87	3,89	4,78	6 estándar Espesor de pared = 0,280	120	1,65	2,91	3,94	4,84
	130	1,79	3,14	4,24	5,21		130	1,82	3,19	4,30	5,27

Sistemas de protección pasiva para concreto y mampostería

El concreto es uno de los materiales más ampliamente utilizado en nuestro país en los proyectos de construcción, es utilizado en distintos sistemas constructivos y estructurales.

Como ya se hizo mención en el capítulo 2, el concreto al ser expuesto al fuego, tiene una fase de resistencia a las altas temperaturas, así como una fase de degradación. La degradación que sufre o experimenta el concreto en un sistema estructural, es debido al efecto Spalling, o descascaramiento.

El concreto reforzado, es un sistema que emplea barras de acero de refuerzo conjuntamente con concreto, para conferirles a los miembros resultantes determinados comportamientos mecánicos ante sollicitaciones y esfuerzos estructurales. ACI 318 es un reglamento que norma los procesos por medio de los cuales se puede calcular una estructura en concreto reforzado, y asimismo, provee de parámetros y tolerancias en cuanto a recubrimientos mínimos para secciones de miembros estructurales específicos, según sea el tipo de diseño y la resistencia que se desea para las estructuras.



Ilustración 311, columna de concreto sin protección expuesta a los efectos de fuego, obsérvese el descascaramiento y la exposición de armaduras

Un sistema estructural de concreto reforzado expuesto a altas temperaturas, presentara fallas por descascaramiento debido a la temperatura, y por inducción de calor a las barras de refuerzo. Dependiendo del tipo de miembro estructural del que se esté hablando, si es una columna, fallara por aplastamiento o por pandeo lateral, mientras que si se trata de una viga, fallara por corte o por esfuerzos flexionantes, cuando el acero alcance su punto de fluencia, no solo por las condiciones de carga, sino por la temperatura. Cuando el acero empieza a fluir fuera de sus límites elásticos, se deformara y perderá su capacidad de carga. Esto sucederá de acuerdo a estudios y ensayos contenidos en ASTM E119, cuando se alcancen temperaturas cercanas a los 600°C.

Debido a esto, es necesario plantear protección pasiva a los miembros de concreto que puedan estar expuestos al calor en condiciones de incendio, y existen métodos que pueden ser usados para brindar este tipo de protección, algunos similares a los que son utilizados para acero estructural, y otros que serán por medio de recubrimientos de concreto adicionales a los que cumplan una labor netamente estructural.

ACI 216 es el código del Instituto Americano del Concreto (por sus siglas en ingles) que contiene parámetros para poder estimar la resistencia de los elementos de concreto ante situaciones de altas temperaturas, y de la misma manera, proporciona dimensiones

mínimas y espesores mínimos de recubrimientos ideales en función del tiempo de protección contra el fuego que se desee proveer.

Los recubrimientos mínimos para barras de acero en estructuras de concreto están normados por ACI 318, por lo cual, al momento de especificar en planos los recubrimientos adicionales considerados por ACI 216, se deberá de ser especialmente cuidadoso de especificar el valor más restrictivo utilizado por los códigos.

Recubrimientos para Losas de Entrepiso y cubiertas de Concreto

Para las losas de entrepiso y losas finales de concreto armado, en ambos sentidos, que se deseen proteger contra fuego durante determinados periodos de tiempo, se debe de tener en cuenta que los recubrimientos mínimos a especificar en planos constructivos, deben de cumplir con requisitos normados por ACI, los cuales han sido diseñados al haber efectuado estudios y ensayos estandarizados.



Ilustración 312, armado de losa tradicional

De acuerdo a esto, los recubrimientos mínimos para lograr resistencia al fuego en intervalos de tiempo igualmente descritos, son dados de la siguiente manera

Tabla 31, valores de recubrimientos mínimos para armaduras en estructuras de concreto, para dotar resistencia al fuego, Tabla obtenida de ACI 216, pagina 14

Tipo de Agregados	Recubrimiento ^{A,B} para la resistencia al fuego correspondiente, in.					
	Restringida	No restringida				
	4 o menos	1 hr	1½ hr	2 hr	3 hr	4 hr
No pretensada						
Silíceos	3/4	3/4	3/4	1	1-1/4	1 5/8
Carbonatos	3/4	3/4	3/4	3/4	1-1/4	1-1/4
Semilivianos	3/4	3/4	3/4	3/4	1-1/4	1-1/4
Livianos	3/4	3/4	3/4	3/4	1-1/4	1-1/4
Pretensada						
Silíceos	3/4	1-1/8	1-1/2	1-3/4	2-3/8	2-3/4
Carbonatos	3/4	1	1-3/8	1-3/8	2-1/8	2-1/4
Semilivianos	3/4	1	1-3/8	1-1/2	2	2-1/4
Livianos	3/4	1	1-3/8	1-1/2	2	2-1/4

Losas nervuradas, vigas y paneles prefabricados

Para los elementos como losas nervuradas, vigas en diferente tipo de peraltes (no pretensadas) y paneles prefabricados, existen recubrimientos mínimos que deben de cumplirse también dentro de rangos que garanticen la estabilidad de este tipo de estructuras en condiciones de alta temperatura.

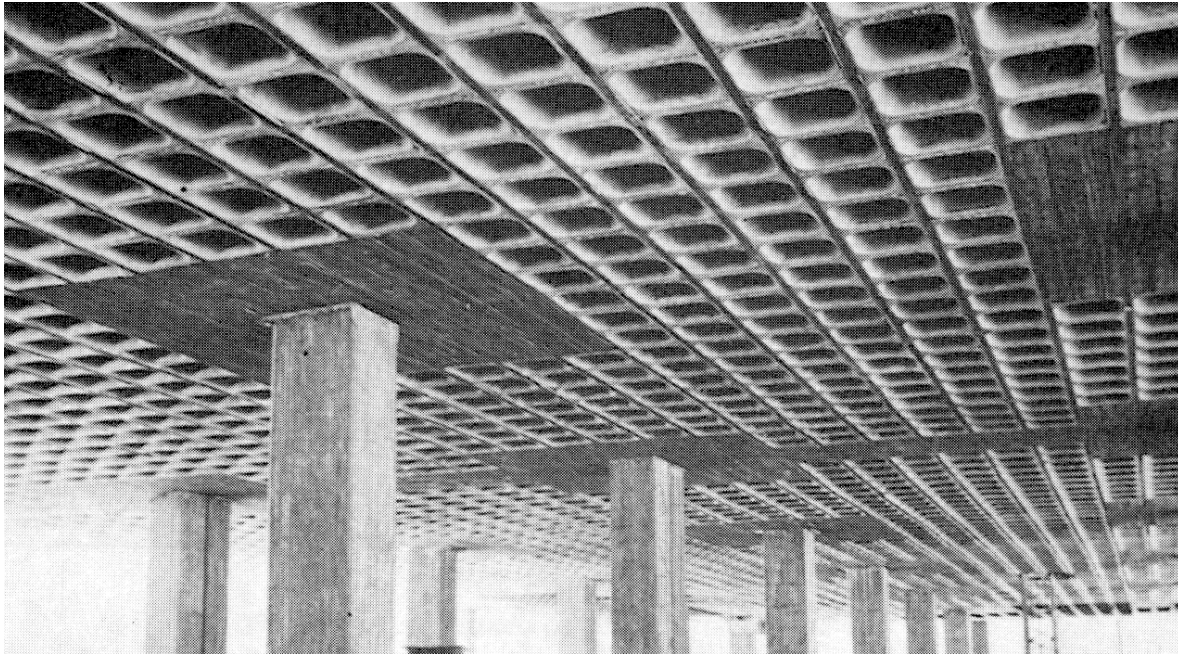


Ilustración 313, losa nervurada en 2 sentidos



Ilustración 314, panel prefabricado tipo Spancrete

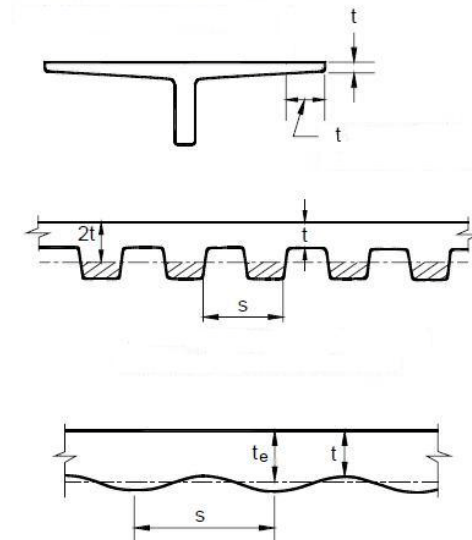


Ilustración 315, perfiles nervurados o con peraltes especiales

Para este tipo de elementos, se debe de tener en cuenta que las solicitaciones estructurales así como los esfuerzos a los que están sometidos, varían de acuerdo a la carga que esté afectando a la estructura en el momento de ocurrir un incendio.

ACI 216, establece que para este tipo de estructuras específicamente hablando, es necesario considerar para hacerlas resistentes al fuego, los siguientes recubrimientos, en función del tiempo de resistencia:

Tabla 32, recubrimientos mínimos para vigas no pretensadas, tomado de ACI 216

Restricción	Ancho de la viga, in	Recubrimiento para la resistencia al fuego correspondiente				
		1 hr	1½ hr	2 hr	3 hr	4 hr
Restringida	5	¾	¾	¾	1	1-1/4
	7	¾	¾	¾	¾	¾
	≥ 10	¾	¾	¾	¾	¾
No restringida	5	¾	1	1-1/4	NP ^A	NP
	7	¾	¾	¾	1-¾	3
	≥ 10	¾	¾	¾	1	1-¾

A. No permitido.

Tabla 33, recubrimientos mínimos para vigas de concreto pretensado de ancho mayor o igual a 8 pulgadas, tomado de ACI 216

Restricción	Tipo de agregados	Ancho de la viga, in.	Espesor del recubrimiento para la correspondiente resistencia al fuego, in.				
			1 hr	1½ hr	2 hr	3 hr	4 hr
Restringida ^A	Carbonatos o silíceos	8	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-¾	2-1/2
		≥ 12	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-7/8
	Semilivianos	8	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	2
		≥ 12	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-5/8
No restringida	Carbonatos o silíceos	8	1-1/2	1-¾	2-1/2	5 ^B	NP ^C
		≥ 12	1-1/2	1-1/2	1-7/8	2-1/2	3
	Semilivianos	8	1-1/2	1-1/2	2	3-1/4	NP
		≥ 12	1-1/2	1-1/2	1-5/8	2	2-1/2

A. Los valores tabulados para vigas restringidas se aplican a las vigas cuya separación entre centros es mayor que

B. No práctico para vigas de 8 in. de ancho, pero se incluye para permitir la interpolación.

C. No permitido.

Tabla 34, recubrimientos mínimos para vigas de concreto pretensado de todos los anchos, tomado de ACI 216

Restricción	Tipo de agregados	Área, ^A in. ²	Espesor del recubrimiento para la correspondiente resistencia al fuego, in.				
			1 hr	1½ hr	2 hr	3 hr	4 hr
Restringida	Todos	40 ≤ A ≤ 150	1-1/2	1-1/2	2	2-1/2	NP ^C
	Carbonatos o Silíceos	150 < A ≤ 300	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-3/4	2-1/2
		300 < A	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	2
	Livianos o Semilivianos	150 < A	1-1/2	1-1/2	1-1/2	1-1/2	2
No Restringida	Todos	40 ≤ A ≤ 150	2	2-1/2	NP	NP	NP
	Carbonatos o Silíceos	150 < A ≤ 300	1-1/2	1-3/4	2-1/2	NP	NP
		300 < A	1-1/2	1-1/2	2	3 ^B	4 ^B
	Livianos o Semilivianos	150 < A	1-1/2	1-1/2	2	3 ^B	4 ^B

- A. Al calcular el área de la sección transversal de una sección T, el área del ala se deberá sumar al área del alma, y el ancho total del ala, tal como se lo utiliza, no deberá ser mayor que tres veces el ancho promedio del alma.
- B. Se deberán tomar recaudos adecuados contra el descantillado mediante zunchos o estribos en U cuya separación no sea mayor que la profundidad del elemento y que tengan un recubrimiento de 1 in.
- C. No permitido.

Cuando se necesite calcular de una manera más exacta el espesor equivalente del recubrimiento necesario, ACI 216 propone determinarlo por medio de la siguiente ecuación

$$\text{Espesor de recubrimiento} = t_{\min} + \left[\left(\frac{4t_{\min}}{s} \right) - 1 \right] (t_e - t_{\min})$$

Donde,

S = separación entre los nervios u ondulaciones, en pulgadas

T_{min} = espesor mínimo, en pulgadas

T_e = espesor equivalente, en pulgadas

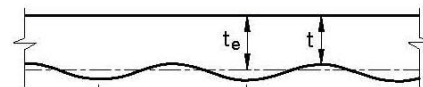
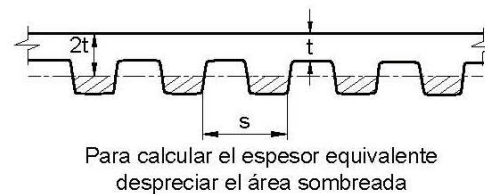
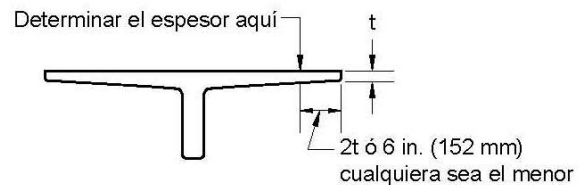


Ilustración 316, parámetros para calcular espesor equivalente

Muros, tabicaciones y levantados de mampostería

Los muros que servirán como cerramiento vertical en las edificaciones, también se verán sometidos a carga de fuego durante la ocurrencia de un incendio.

En el diseño arquitectónico, existirán algunos ambientes que deberá de dotarse de blindaje especial contra fuego, para hacerlos más resistentes a los efectos de la temperatura. Un muro de mampostería de concreto liviano (block pómez) sufrirá los efectos de la temperatura y se manifestaran como deshidratación y resquebrajamiento o fisuración por efecto de la temperatura, muy a pesar de que este resistirá durante periodos prolongados los efectos del fuego.

La mampostería, ha sido clasificada como un material incombustible, y dadas sus características, es posible que resista durante mayor tiempo que una columna o que un muro de concreto. Esto es posible debido a que el agregado del cual está constituida la mezcla con la que se fabrican los bloques, son agregados livianos, que permiten el escape del vapor de agua y del aire atrapado, y debido a ello, soportan de mejor manera las presiones generadas por efectos

térmicos y liberación de vapor.

Existen métodos que permiten hacer aun más resistentes los ambientes que estarán constituidos sus cerramientos por mampostería, y esto se consigue por medio de aplicar:

- Revestimientos con morteros livianos
- Blindaje con paneles de yeso
- Muros dobles (levantado de block + levantado de ladrillo)

ASTM E119 es la norma bajo la cual esta estandarizada la resistencia al fuego de los elementos de mampostería, y a partir de este ensayo, se ha podido determinar que existen ciertas configuraciones de acabados, mampostería y aislamientos, que juntos funcionan como un sistema de blindaje contra fuego para proteger ambientes que deban



Ilustración 317, piezas de ladrillo refractario de arcilla



Ilustración 318, pieza de mampostería de block de concreto

de ser seguros ante condiciones de incendio, tales como bóvedas de seguridad, cuartos de maquinas para sistemas impulsores de agua contra incendios, cuartos de servidores y equipos electrónicos, y en general, ambientes que necesiten de aislamiento contra altas temperaturas. ASTM C 140-01 es la norma bajo la cual se ensayan los bloques de mampostería de concreto, para muros catalogados como

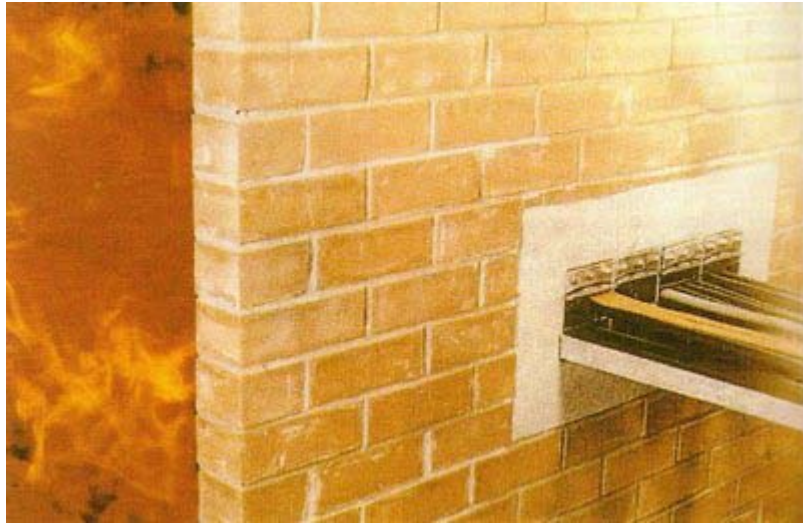


Ilustración 319, muro de mampostería de arcilla con carga de fuego a una cara

resistentes al fuego, y ASTM C 516-80 es la norma bajo la cual los morteros de determinado tipo de agregados son ensayados en condiciones de altas temperaturas.

Las rutas de evacuación son ambientes que deben de ser diseñados para ser resistentes al fuego durante periodos de tiempo regulados y normados por códigos internacionales de seguridad vigentes, por lo cual es necesario que el arquitecto al momento de especificar en planos y en detalles los tipos de muros y las secciones típicas de los mismos, pueda tener en cuenta la disposición de cada uno de las configuraciones de materiales que han sido ensayadas, normadas y aprobadas como construcciones resistentes al fuego.⁴⁸

Resistencia al Fuego de elementos de mampostería de concreto

Cuando se necesite especificar de acuerdo a las necesidades del proyecto, muros de mampostería de concreto resistentes al fuego, se debe como primer paso, calcular el espesor equivalente de la pared de mampostería que se está analizando.

ACI 216 proporciona los parámetros necesarios para calcular el espesor equivalente para muros de mampostería de concreto, por medio de la siguiente ecuación:

$$T_{ea} = T_e + T_{ef}$$

Donde

T_{ea} = espesor equivalente de un elemento de mampostería, muro o tabique

T_e = espesor equivalente de las unidades de mampostería

T_{ef} = espesor equivalente de la capa de acabados o recubrimientos en muros

⁴⁸ Fire Endurance Ratings of Clay Brick Masonry, Western State clay product Association, Edición diciembre 2008

T_e , el espesor equivalente de las unidades de mampostería, como parámetro de cálculo para la ecuación, se debe de calcular de la siguiente

$$T_e = \frac{V_n}{LH}$$

Donde

T_e = espesor equivalente de las unidades de mampostería

V_n = volumen neto del mampuesto, expresado en pulgadas cúbicas

L = longitud especificada del mampuesto, en pulgadas

H = Altura especificada del mampuesto, en pulgadas

Tabla 5.1 – Factor de multiplicación aplicable a los acabados instalados en la cara no expuesta al fuego de losas de hormigón y tabiques de hormigón y mampostería

Tipo de acabado aplicado a la losa o tabique	Tipo de material utilizado en la losa o tabique		
	Hormigón o mampuestos de hormigón de agregados silíceos o carbonato; mampostería de ladrillos de arcilla macizos	Hormigón semiliviano; ladrillos de arcilla huecos	H° liviano; mampuestos de hormigón de esquisto expandido, escoria expandida o piedra pómez con menos de 20% de arena
Revoque de cemento pórtland y arena o terrazo ^A	1,00	0,75	0,75
Revoque de yeso y arena	1,25	1,00	1,00
Revoque de yeso y vermiculita o perlita	1,75	1,50	1,25
Cartón de yeso	3,00	2,25	2,25

A. Para los revoques de cemento pórtland y arena de menos de 5/8 in. de espesor y aplicados directamente sobre el hormigón o la mampostería en la cara del tabique no expuesta al fuego, el factor de multiplicación será igual a 1,0.

Tabla 35, Factores de corrección para espesor de capa de agregados, tomado de ACI 216-97

espesor equivalente, se deberá de chequear contra las tablas de valores establecidos por ACI como resistentes al fuego en construcciones de mampostería de concreto, de la siguiente manera:

Los acabados en los muros, estarán sujetos a factores por los cuales hay que multiplicar el espesor de la capa de recubrimiento, dados por ACI 216, de la siguiente manera:

Los espesores de la capa de acabado aplicada, serán multiplicados por los factores contenidos en esta tabla, según sea la naturaleza del mortero utilizado, o de los agregados que se utilicen, siendo el más resistente de ellos el acabado a base de yeso, o de tableros de yeso recubiertos.

Una vez teniendo los factores por acabados, se procederá a sumarlos con el espesor equivalente del levantado de mampostería, y esto dará como resultado un espesor equivalente de protección contra el fuego.

Teniendo como resultado final este

Cuando se tengan columnas de mampostería reforzadas con pines, ACI 216 establece como parámetros válidos de resistencia al fuego, los siguientes espesores:

Tabla 3.1 – Resistencia al fuego de las construcciones de mampostería de hormigón

Tipo de agregados	Mínimo espesor equivalente requerido (in.) ^{A,B} para una resistencia al fuego de:				
	1 hr	1½ hr	2 hr	3 hr	4 hr
Grava calcárea o silíceas (salvo caliza)	2,8	3,6	4,2	5,3	6,2
Caliza, cenizas o escoria enfriada al aire	2,7	3,4	4,0	5,0	5,9
Arcilla expandida, esquisto expandido o pizarra expandida	2,6	3,3	3,6	4,4	5,1
Escoria expandida o piedra pómez	2,1	2,7	3,2	4,0	4,7

Tabla 36, espesores equivalentes, resistencia al fuego de levantado de mampostería de concreto, tomado de ACI 216

- A. Para las resistencias al fuego comprendidas entre las resistencias listadas se deberá interpolar linealmente en base al valor del espesor equivalente de la construcción de mampostería de hormigón.
- B. Los mínimos espesores equivalentes requeridos para las resistencias al fuego de las construcciones realizadas con una combinación de agregados se deberán determinar por interpolación lineal en base al porcentaje en volumen de cada uno de los agregados utilizados.

Tabla 3.3 – Dinteles de mampostería reforzada

Ancho nominal del dintel, in.	Mínimo recubrimiento de la armadura longitudinal para una resistencia al fuego de:			
	1 hr	2 hr	3 hr	4 hr
6	1½	2	NP ^A	NP
8	1½	1½	1¾	3
10 o más	1½	1½	1½	1¾

A. No permitido.

Tabla 3.2 – Columnas de mampostería reforzada

Resistencia al fuego, hr	1	3	3	4
Mínima dimensión de la columna, in.	8	10	12	14



Ilustración 320, construcción de columnas de mampostería de arcilla



Las columnas de concretos reforzados, expuestas a una o a 2 caras a la acción del fuego, deben de cumplir con secciones mínimas que las hagan resistentes a condiciones de altas temperaturas.

A este respecto, ACI 216 recomienda que al momento de especificar secciones mínimas para columnas de concreto, se debe de tener en cuenta el diseño estructural normado por ACI

318, y posterior a ello, se debe de

tener en cuenta siempre la más exigente de las especificaciones en cuanto a construcción.

De acuerdo a lo especificado por ACI 216, las secciones mínimas a recomendar o a tener en cuenta al momento de detallar en planos, o al momento de diseñar estructuralmente para condiciones de incendio, se debe de tomar en cuenta los siguientes valores mínimos recomendados para los intervalos de resistencia deseados:

Tabla 2.7 – Mínima dimensión de las columnas de hormigón

Tipo de agregados	Mínima dimensión de la columna (in.) para una resistencia al fuego de:				
	1 hr	1½ hr	2 hr	3 hr	4 hr
Carbonatos	8	9	10	11	12
Silíceos	8	9	10	12	14
Semilivianos	8	8½	9	10½	12

Tabla 37, secciones mínimas de concreto para columnas armadas, tomado de ACI 216

Tabla 2.8 – Mínimo tamaño de las columnas de hormigón sujetas a condiciones de exposición al fuego en dos caras paralelas

Tipo de agregados	Mínima dimensión de la columna (in.) ^A para una resistencia al fuego de:				
	1 hr	1½ hr	2 hr	3 hr	4 hr
Carbonatos	8	8	8	8	10
Silíceos	8	8	8	8	10
Semilivianos	8	8	8	8	10

A. Estas dimensiones mínimas son aceptables para columnas rectangulares sujetas a condiciones de exposición al fuego en 3 o 4 caras siempre que un par de caras paralelas de la columna tenga al menos 36 in. de longitud.

Tabla 38, resistencia al fuego en columnas de concreto con 2 caras expuestas al fuego, tomado de ACI 216

Blindaje de muros de mampostería con materiales aislantes y acabados arquitectónicos

Existen diferentes maneras de proporcionar blindajes a los muros de mampostería, valiéndose de acabados que deben de ser aplicados por motivos arquitectónicos. Al momento de realizar el diseño arquitectónico, muchas veces son utilizados materiales que se desconoce su comportamiento ante el fuego, y que efectivamente pueden servir como blindaje adicional, para permitir aun mas tiempo de resistencia frente al fuego, ya sea por diseño arquitectónico, o por diseño planificado para el efecto de proteger contra la temperatura.

Algunos de los materiales que proveen proteccion contra los efectos del fuego, y que pueden ser utilizados como blindaje para los muros y tabicaciones, son los siguientes:

- Fachaleta de ladrillo (arcilla)
- Paneles de recubrimiento con relleno de yeso (Tablayeso, Alucobond, durock)
- Fibra de vidrio
- Lamina desplegada

Cada uno de estos materiales de construcción, utilizados en diferentes configuraciones, permiten determinado grado de resistencia al fuego, ya sea por el tipo de agregado del que están hechos, o por su naturaleza polimérica diseñada para resistir los efectos del fuego. La Asociación Nacional de Mampostería de Concreto (NCMA, por sus siglas en ingles) ha llevado a cabo estudios en los cuales se sugieren algunas configuraciones de elementos en los muros de mampostería de concreto, para lograr mayor resistencia de los mismos, de la siguiente manera⁴⁹:

⁴⁹ National Concrete Masonry Association, Thermal Catalog of Concrete Masonry Assambles, edicion 2010

Configuración 1

Se puede lograr una efectiva protección contra el fuego, por medio de rellenar los vacios de las unidades de mampostería con espuma de poliuretano, y recubrir una de sus caras con panel de yeso, con soportes del mismo material.

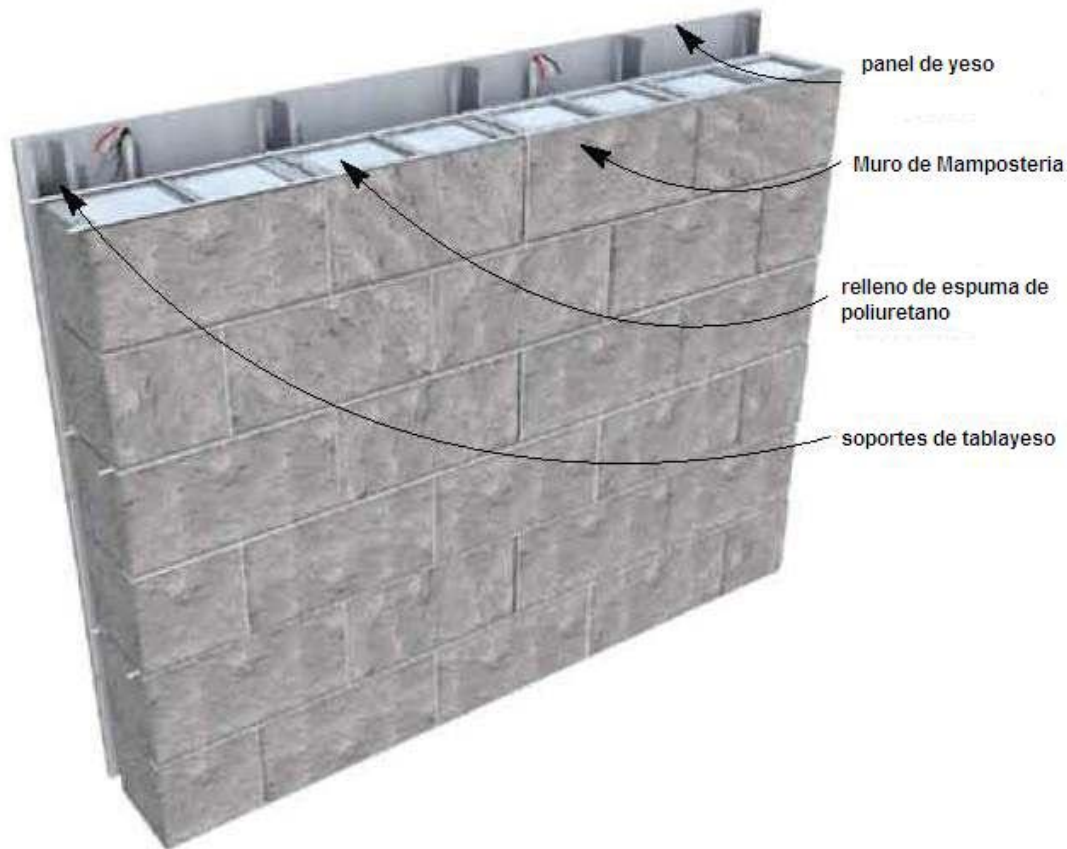


Ilustración 321, aislamiento de muro de mampostería con uso de paneles de yeso, tomado de NCMA, thermal catalog of concrete masonry assemblies

Utilizando esta configuración de soportes, se puede proveer protección por medio de aislar una de las caras de la mampostería, evitando que entre en contacto con las llamas, y permitiendo de esta manera que la propagación del calor por convección se vea limitada por efecto del panel de yeso, así como de la cámara de aire que se forma entre el panel de yeso, y la cara de la mampostería.

Para esta configuración, se recomienda hacer uso de paneles de $\frac{1}{2}$ pulgada de espesor en adelante, esto de acuerdo al tipo de protección que se quiera dar. Las instalaciones eléctricas pueden quedar embebidas en la espuma de poliuretano, para permitir un grado de aislamiento aun mayor, y protegerlas, a pesar de encontrarse dentro del muro.

Configuración 2

Se puede lograr aislamiento en muros, por medio de proveer blindaje a partir de una cara forrada con panel de yeso, y en la cámara de vacío, se aplica un relleno de fibra de vidrio. Cuando se efectúa de esta manera, se puede obviar el relleno de los vacíos de la mampostería, permitiendo una cámara de aire dentro del muro, lo que también aporta protección contra la emanación de calor por convección.

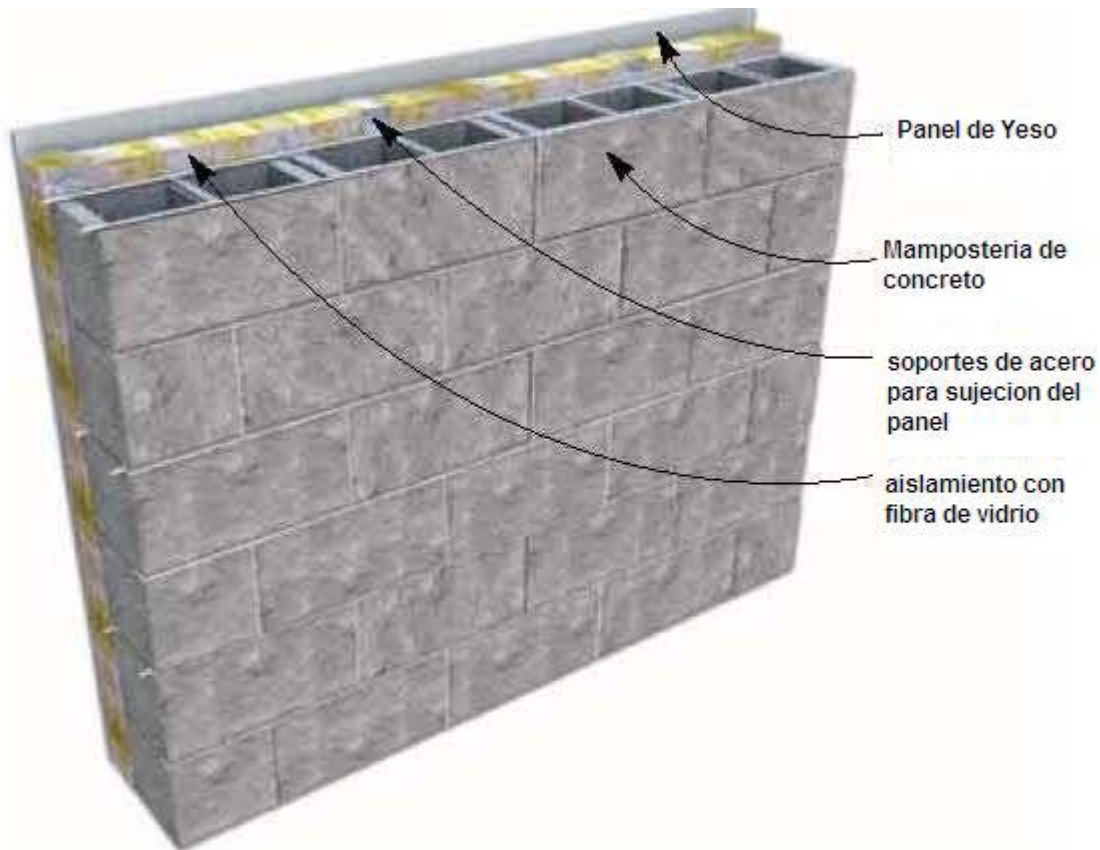


Ilustración 322, aislamiento de muro de mampostería con uso de paneles de yeso, y tejido de fibra de vidrio, tomado de NCMA, thermal catalog of concrete masonry assamblies

Para este tipo de protección, es recomendado utilizar panel de yeso de $\frac{1}{2}$ pulgada de espesor en adelante, y permitir un relleno de fibra de vidrio de por lo menos 3 pulgadas, ubicando los soportes de acero para sujeción del panel, a una distancia no mayor de 24 pulgadas entre cada uno de ellos.

Configuración 3

Es posible proveer aislamiento contra fuego, manteniendo características arquitectónicas y aplicando acabados con materiales tales como la Fachaleta de arcilla, la cual puede ser aplicada sobre una cara del muro, sobre un revestimiento por medio de materiales aislantes del calor, tales como la fibra de vidrio. Para este proceso, se fijara por medio de anclajes una capa aislante al muro de mampostería, y, de este se dejaran pines para poder afianzar también el revestimiento de Fachaleta de arcilla.

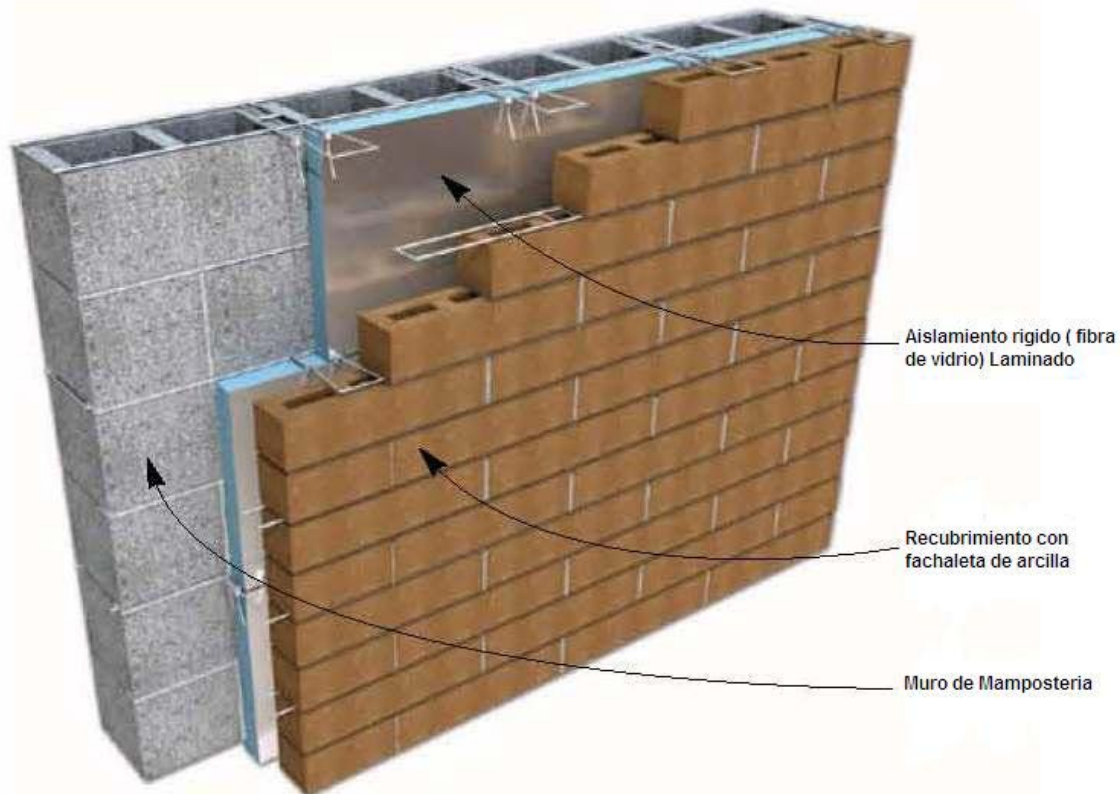


Ilustración 323, configuración 3, aislamiento de muro de mampostería con capa de fibra aislante, y levantado de Fachaleta de arcilla, tomado de NCMA, thermal catalog of concrete masonry assamblies

La Fachaleta de arcilla quedara como revestimiento arquitectónico, y la cara del muro de mampostería será la que resistirá la carga por fuego. De esta manera, es posible proporcionar un mejor aislamiento frente a la transferencia de calor por convección o por radiación, dado que existen 3 barreras que protegerán al usuario, en primer lugar la cámara de aire formada por los vacios de la mampostería de concreto, en segundo lugar el aislamiento térmico por medio de fibra de vidrio, y como ultima barrera, una capa resistente de Fachaleta de arcilla, que no permitirá el paso del calor hacia el ambiente donde se encuentre el usuario resguardado, o por donde pasara en su camino hacia la evacuación de las instalaciones.

Configuración 4

En el diseño arquitectónico, habrá ocasiones cuando se necesite proveer el máximo aislamiento posible frente al efecto del fuego. Como ya se ha discutido, los tableros o paneles de yeso están entre los materiales más resistentes al fuego que se conocen. Se puede lograr una máxima resistencia contra el fuego, y un óptimo aislamiento en sectores de evacuación o de permanencia, por medio de proveer este tipo de blindaje constituido por paneles de yeso que se colocan en la cara que resistirá el efecto del fuego, dejando un espacio de cámara de aire entre el levantado de mampostería, y por la otra cara del muro, será aplicado también un tratamiento por medio de aislamientos con fibra de vidrio, y levantado de Fachaleta de arcilla. Esta disposición de barreras, es la que permite tener el mejor

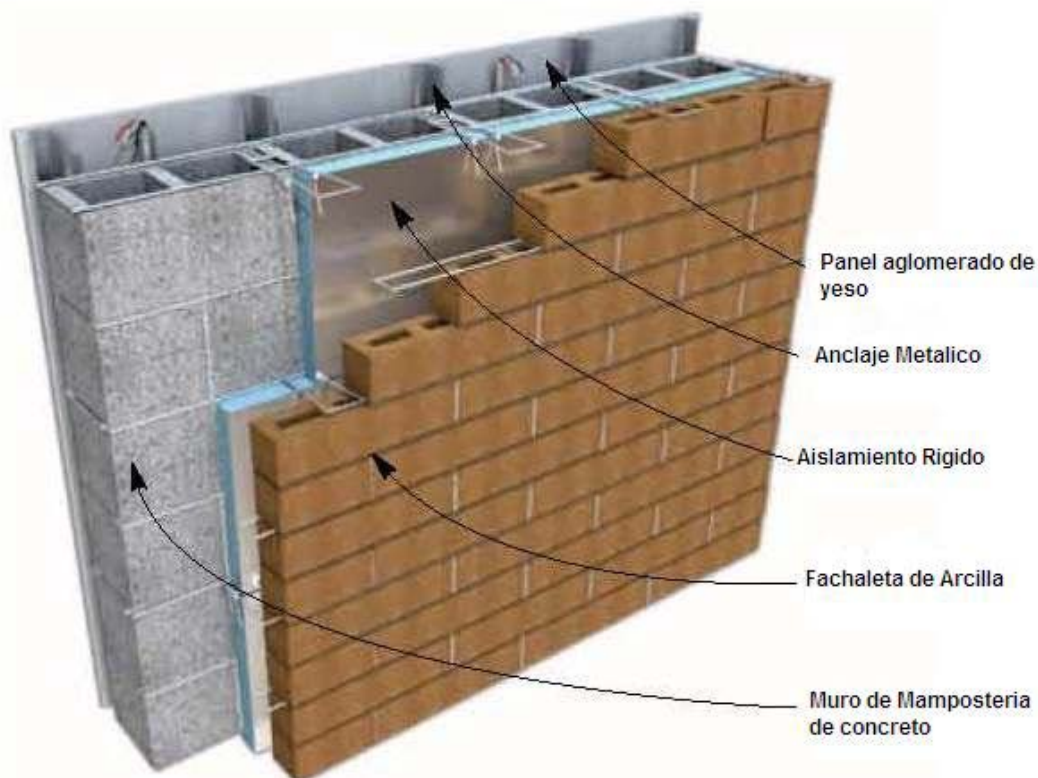


Ilustración 324, configuración de blindaje de muro en ambas caras, por medio de paneles de yeso y aislamiento de fibra de vidrio, y levantado de Fachaleta de arcilla, tomado de NCMA, thermal catalog of concrete masonry assamblies

aislamiento frente al fuego para ambientes donde se desee ofrecer el máximo nivel de protección contra el calor.

Este tipo de técnicas constructivas pueden aplicarse en bóvedas que resguardan bienes valiosos, o en su defecto, en rutas de evacuación para mantener el lugar completamente aislado del efecto del calor o de las llamas. para cada una de las configuraciones anteriormente descritas, es importante que el diseñador incluya secciones típicas del muro para cada caso, especificando el orden de las capas, así como la disposición de las mismas y la cara que recibirá el máximo impacto del fuego esperado.



CAPITULO 5

COMPARTIMENTACION, CONTROL DE HUMO Y RUTAS DE EVAGUACION EN PROYECTOS DE ARQUITECTURA COMO SISTEMAS DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS

Capítulo 5, COMPARTIMENTACION, CONTROL DE HUMO Y RUTAS DE EVACUACION EN PROYECTOS DE ARQUITECTURA COMO SISTEMAS DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS

LA COMPARTIMENTACION, EL CONTROL DE HUMOS Y EL DISEÑO DE LAS RUTAS DE EVACUACION SON PARTE DEL SISTEMA DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS DEL QUE DEBE DOTARSE A LOS PROYECTOS DE ARQUITECTURA. SON MEDIDAS QUE NO DEBEN DE SER OLVIDADAS NI PASADAS POR ALTO, PORQUE SON IGUALMENTE IMPORTANTES QUE LOS SISTEMAS DE PROTECCION **A C T I V O S C O N T R A I N C E N D I O S**.

COMPARTIMENTACION DE PROYECTOS DE ARQUITECTURA

SE DEFINE COMPARTIMENTACION COMO EL CONJUNTO DE ELEMENTOS QUE COMPONEN UN SISTEMA DE SEPARACION CUYA MISION ES EVITAR LA PROPAGACION DE UN INCENDIO DURANTE UN **D E T E R M I N A D O P E R I O D O D E T I E M P O**.

UN SISTEMA DE COMPARTIMENTACION TIENE COMO OBJETIVO LIMITAR LA PROPAGACION DE UN INCENDIO, POR MEDIO DE CONFINAR CALOR, LLAMAS Y HUMO DENTRO DE UN RECINTO QUE PUEDA SER CERRADO Y CONVENIENTEMENTE AISLADO DEL RESTO DEL PROYECTO, PARA PODER PERMITIR LA EXTINCION DE ESTE CUANDO SE TERMINE EL COMBUSTIBLE, O CUANDO EL SISTEMA DE SUPRESION TERMINE POR EXTINGUIR EL FUEGO.

DE ACUERDO A ESTANDARES DE PROTECCION CON VIGENCIA INTERNACIONAL, EXISTEN DIMENSIONES MINIMAS PARA DELIMITAR SECTORES DE INCENDIO, DE TAL MANERA QUE PUEDA CERRARSE DE FORMA EFECTIVA, Y EL EFECTO DE LAS LLAMAS PUEDA CONTENERSE DENTRO DEL AMBIENTE PLANIFICADO PARA COMO **S E C T O R D E I N C E N D I O**.



CONTROL DE HUMOS EN PROYECTOS DE ARQUITECTURA

EL HUMO ESTA CONFORMADO POR LOS GASES QUE SE EMITEN DEL PROCESO DE COMBUSTION, Y PARTICULAS DE COMBUSTIBLE **P A R C I A L M E N T E C O N S U M I D A S**.

EL HUMO, EN DETERMINADAS CONDICIONES, PUEDE INCENDIARSE Y PROPAGAR LAS LLAMAS A TODO UN PROYECTO DE ARQUITECTURA, SIN NECESIDAD DE ESTAR EN CONTACTO DIRECTO CON LAS **L L A M A S**.

CUANDO OCURRE UN INCENDIO, EL HUMO ES IGUAL O MAS PELIGROSO QUE LAS LLAMAS, PORQUE ADORMECE AL USUARIO Y NO LE PERMITE EVACUAR EL RECINTO INCENDIADO, SUPERA EN PROPORCION DE 3 A 1 LAS VICTIMAS MORTALES COMPARADO CON **L A S Q U E M A D U R A S**.

UN PROYECTO DE ARQUITECTURA DEBE DE PLANIFICARSE TENIENDO ESTO EN MENTE, COMO REACCIONARA LA CONFIGURACION ESPACIAL A LA PROPAGACION DEL HUMO A AMBIENTES ALEJADOS. EXISTEN TECNICAS PARA PODER EVACUAR HUMO SIN ALIMENTAR DE MAS OXIGENO AL INCENDIO, Y DE ESTA MANERA LIMITAR LA PROPAGACION TANTO DE LOS GASES TOXICOS DE INCENDIO, COMO DE LAS LLAMAS POR EFECTO DE INFLAMACION.



RUTAS DE EVACUACION EN PROYECTOS DE ARQUITECTURA

EL DISEÑO DE LAS RUTAS DE EVACUACION ES PARTE FUNDAMENTAL QUE ENLAZA EL DISEÑO ARQUITECTONICO CON EL DISEÑO CONTRA INCENDIOS COMO DISCIPLINAS CIENTIFICAS QUE DEBE DE DOMINAR EL ARQUITECTO.

UNA RUTA DE EVACUACION SE DEBE DE PLANIFICAR TENIENDO EN CONSIDERACION LOS SIGUIENTES PARAMETROS:

- ALTURA TOTAL DE EVACUACION
- CANTIDAD DE USUARIOS POR NIVEL
- TIEMPO TOTAL DE EVACUACION

DE ESTA MANERA, SE PLANIFICARA UNA RUTA DE EVACUACION EN CONDICIONES SEGURAS, DE TAL MANERA QUE PUEDA PERMITIR LA EVACUACION DE LOS USUARIOS EN CONDICIONES DE EMERGENCIA SIN COLAPSAR NI SATURARSE, POR CONSIGUIENTE, SON RECINTOS QUE DEBEN DE SER DISEÑADOS DE TAL MANERA QUE SEAN LO SUFICIENTEMENTE RESISTENTES Y ESTEN PROTEGIDOS CONTRA EL FUEGO POR UN PERIODO QUE CONTEMPLA EL TIEMPO TOTAL DE EVACUACION MAS UN MARGEN DE SEGURIDAD PARA PROTECCION CONTRA EL FUEGO.

EXISTEN PARAMETROS DE SEGURIDAD INTERNACIONALES QUE RIGEN

- DISTANCIAS MINIMAS
- MAXIMA DISTANCIA DE RECORRIDOS
- ANCHOS MINIMOS EN FUNCION DEL NUMERO DE USUARIOS
- RESISTENCIA AL FUEGO A DOTAR
- ELEMENTOS DE PROTECCION Y PRESURIZACION DE RUTAS DE EVACUACION
- SEÑALIZACION E ILUMINACION DE RUTAS DE EVACUACION



La finalidad de un sistema de incendios es salvar la vida del usuario que se encuentre haciendo uso del espacio físico que se está protegiendo.

De todos los medios posibles para salvaguardar la vida de las personas, la evacuación es la principal, evacuar las instalaciones al momento de eventos de cualquier tipo (Climático, sísmico, incendio) es siempre la medida más eficaz para proteger la integridad personal del usuario.

La evacuación será posible, siempre y cuando desde la fase inicial del diseño, El Arquitecto tenga en cuenta y provea de los medios físicos para permitir la evacuación, y que estos medios estén disponibles al momento de ser necesitados. El diseño arquitectónico necesariamente debe de contemplar los posibles escenarios de riesgo que existirán durante la vida útil de cualquier proyecto, e integrar las medidas necesarias para permitir que las instalaciones sean seguras tanto en su uso normal, como al momento de ser necesario evacuarlas, y que sobre todo, estas medidas de evacuación estén sujetas a cálculos específicos para la necesidad de cada proyecto.

Existen 3 puntos que son importantes al momento de planificar la evacuación de los proyectos de arquitectura que se estén diseñando, de la siguiente manera:

- **COMPARTIMENTACION**
- **CONTROL DE HUMO**
- **RUTAS DE EVACUACION**

DEFINICION DE COMPARTIMENTACION

De acuerdo a normativa europea NBE-CPI/91, se define compartimentación como el conjunto de elementos que componen un “sistema de separación cuya misión es evitar la propagación de un incendio durante un determinado tiempo”.

Un sistema compartimentador tiene como objetivo limitar la propagación de un incendio, por medio de confinar calor, llamas y humo dentro de un recinto que pueda ser cerrado y convenientemente aislado del resto del proyecto, para de esta manera poder permitir la extinción de este cuando se termine el combustible o que el sistema de supresión termine por extinguir el mismo, y de esta manera, impedir el paso tanto de llamas y calor, así como de humo, al resto del proyecto de arquitectura del que se esté hablando.

Cuando se habla de compartimentación, comúnmente se hablara de subdividir el espacio total, en sectores de incendio que de acuerdo a diferentes códigos internacionales, responden a tamaños en metros cuadrados, de tal manera que estos espacios puedan ser cerrados por diferentes medios, para que la acción destructiva del fuego quede relegada a un único recinto, sin permitir el paso del fuego al resto del proyecto.

El tamaño de los sectores de incendio, debe de responder tanto a la ocupación en usuarios, como a tamaños estipulados por medio de códigos específicos para diferente tipo de actividad realizada.



Ilustración 325, Ejemplo de compartimentación en sectores de incendio

Como se puede ver en la ilustración 323, la compartimentación tiene como objetivo que al momento de ocurrir un incendio en determinado lugar de un proyecto de arquitectura, la acción destructiva de este pueda mantenerse controlada dentro de un recinto, mientras actúa un sistema de incendios, o mientras el combustible del mismo se agota, permitiendo que el resto de ambientes queden aislados del fuego, y haciendo posible la evacuación de las instalaciones de una manera segura.

DEFINICION DE CONTROL DE HUMOS

Por lo regular cuando se especifica un sistema de protección contra incendios, se piensa que este se limita a los sistemas de supresión, o de protección pasiva estructural. El humo que se genera durante un incendio, es un tema que merece especial atención, y que es parte integral del sistema.

Estudios conducidos han demostrado que el calor y el humo pueden ser más peligrosos y potencialmente letales que las llamas. Los gases tóxicos liberados por la combustión de los materiales desorientan y adormecen a los habitantes o usuarios de un edificio. Generalmente, las estructuras, debido a ciertos factores de diseño, fomentan la propagación de los gases.

Los gases provocados por la combustión de los materiales generan una pluma toxica que en un edificio sin la protección correcta, se propaga en segundos. Es un tema que no debe de ser tomado a la ligera. La asfixia por gases es la principal causa de muerte en los

incendios, sobrepasando a las quemaduras y a la incineración en una proporción de tres a uno.

Dependiendo de la configuración espacial de los proyectos de arquitectura, existe la posibilidad de que la propagación de humo y gases tóxicos sea mayor, y rápida. Comúnmente un nivel completo de un edificio puede verse lleno de humo o de gases tóxicos en pocos minutos, y esto puede estimarse de acuerdo a la velocidad de generación de humos del mobiliario que existirá dentro de los ambientes.

Se debe de pensar en la extracción del humo, o su confinamiento como parte del sistema de incendios, debido a que el humo tóxico, aparte de provocar asfixia y muerte del usuario, los humos que no son venenosos también ennegrecen debido a su densidad, y hacen que sea sumamente difícil el poder encontrar las salidas de emergencia.



Ilustración 326, colchón de humo de combustión en incendio

Debido a esto, es de crucial importancia que un sistema de protección contra incendios, cuente con los medios necesarios para permitir la extracción de humos y evitar el oscurecimiento o ennegrecimiento de pasillos interiores que pudiera hacer imposible la evacuación de las instalaciones y confinar al usuario dentro de un recinto en llamas.

DEFINICION DE RUTAS DE EVACUACION

Cuando se habla de rutas de evacuación para un proyecto de arquitectura, se debe de comprender que este tipo de sistema de protección, va mas allá de proponer gradas de emergencia, y posicionarlas de en algún rincón del proyecto que por motivos de arquitectura, quede vacío.

Las rutas de evacuación, son recintos específicamente diseñados de tal manera que al momento de ser utilizados, puedan captar y ser funcionales para determinado número de usuarios simultáneamente, al momento de ocurrir el incendio. De la misma manera, las rutas de evacuación deben de estar dimensionadas, diseñadas y construidas de tal manera que sean eficientes para cumplir con su labor de evacuar a las personas, al mismo tiempo que deben de evitar constituirse en propagadores del humo o de gases tóxicos.



Ilustración 327, las rutas de evacuación deben de ser seguras y estar disponibles en todo momento, libres de contaminación y blindadas al efecto del fuego y de las altas temperaturas

Para garantizar que las rutas de evacuación cumplan con su trabajo, se debe de garantizar que estarán disponibles en todo momento, y que permitan tanto la evacuación segura del usuario, como el ingreso seguro de los cuerpos de socorro.

Existen métodos que permiten mantener las rutas de evacuación libres y limpias en todo momento, y estos métodos garantizan que estas cumplan al 100% con su función. Estos métodos deben de ser conocidos por el arquitecto, y tomados en cuenta en todo momento del diseño arquitectónico.

COMPARTIMENTACION Y SECTORES DE INCENDIO

Un compartimiento contra incendios es un espacio dentro de un edificio que puede comprender uno o varios pisos y que está delimitado por elementos separadores, de forma que, en caso de incendio, éste no pueda propagarse fuera de él. La compartimentación es importante para evitar que el fuego se propague a espacios demasiado grandes o a todo el edificio. Las personas y los bienes materiales que se encuentren fuera del compartimiento quedan protegidos gracias a la extinción del incendio por el cuerpo de bomberos, a su extinción de forma espontánea o, al menos, a los elementos separadores, que retardan la propagación del incendio y del humo hasta que los ocupantes puedan ser rescatados.

La resistencia al fuego específica de un compartimiento depende de su finalidad y del tipo de incendio potencial. Los elementos separadores que limitan el compartimiento deben resistir el máximo incendio posible o contener el fuego hasta que los ocupantes puedan ser evacuados. Los elementos de carga del compartimiento pueden estar diseñados para resistir todo el proceso de incendio o solamente presentar una determinada resistencia medida en períodos de tiempo iguales o superiores a los exigidos para los elementos separadores.

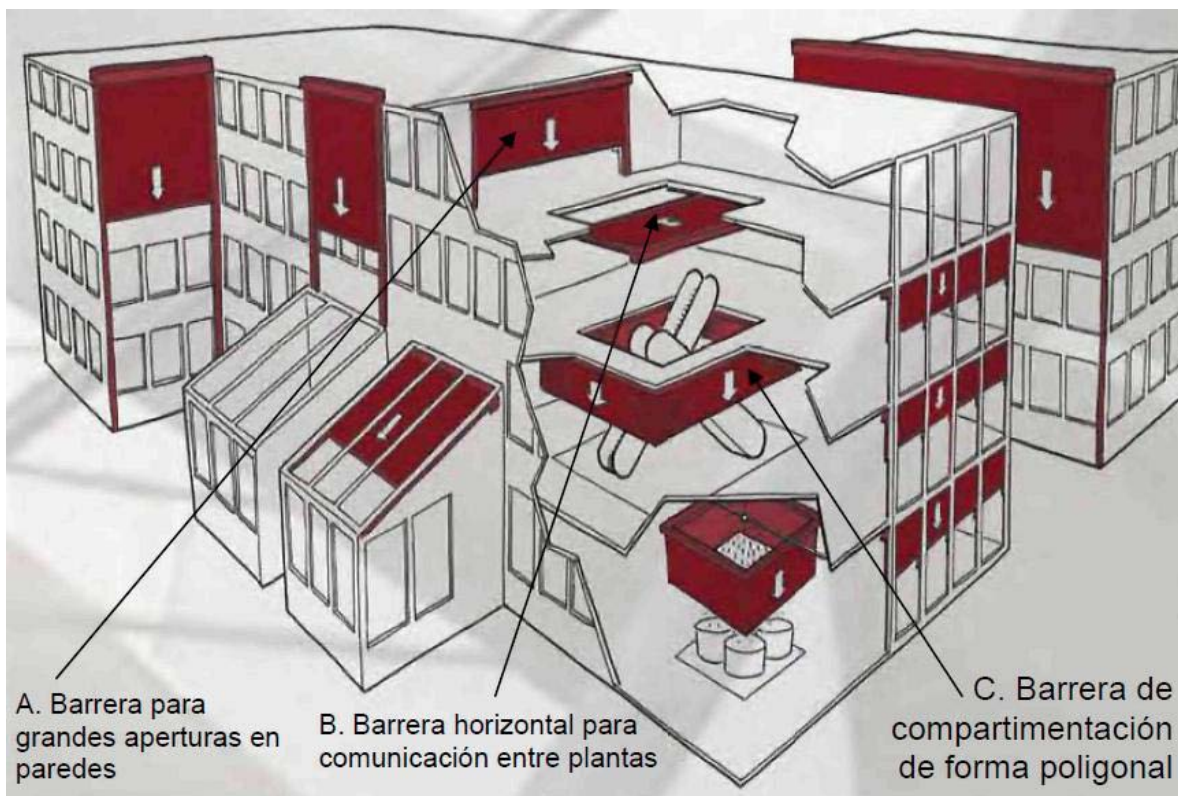


Ilustración 328, Aplicación de diferente tipo de barreras de compartimentación para diferentes sectores de incendios en un proyecto de arquitectura

Cuando se habla de un sistema de compartimentación, se debe de tener en cuenta que están involucrados varios factores, los cuales son:

- Resistencia al fuego
- Estabilidad al fuego
- Estanqueidad al fuego
- Aislamiento térmico
- Escala de tiempos de resistencia al fuego
- Reacción al fuego



Ilustración 329, ensayo de compartimentación de sector de incendio, llevado a cabo en Inglaterra, por Building Research Establishment

Resistencia al fuego

Se define como resistencia al fuego la aptitud o capacidad (de un elemento constructivo o estructura) de conservar durante determinado tiempo la estabilidad, la estanqueidad, el aislamiento térmico y la no emisión de gases inflamables o tóxicos, especificados y respaldados por diversos estudios y reglamentos que norman ensayos de validez internacional.

Estabilidad al fuego

Se define como estabilidad al fuego, la capacidad o aptitud de un elemento de construcción, de cerramiento vertical o de carga, de permanecer inalterado en su función mecánica estructural bajo la acción del fuego y las solicitaciones estructurales, por un determinado periodo de tiempo.

Estanqueidad al fuego

Se define como estanqueidad al fuego, la capacidad o aptitud de un elemento de construcción, de impedir el paso de las llamas, calor o gases a través de él, por un determinado periodo de tiempo

Aislamiento térmico

Se define como aislamiento térmico a la propiedad de un material o elemento constructivo de dificultar o evitar la transmisión del calor a través de su cuerpo.

Escala de tiempos

Las exigencias de resistencia al fuego (RF), parallamas (PF) y estabilidad al fuego (EF) se rigen por escalas de tiempos definidos en intervalos regulares de la siguiente manera:

- 15 minutos
- 30 minutos
- 60 minutos
- 90 minutos
- 120 minutos
- 180 minutos
- 240 minutos

Reacción al fuego

Se define como reacción al fuego, la respuesta de un material frente al fuego al que está expuesto y alimenta. De acuerdo y según su respuesta, los materiales en normativa europea UNE están clasificados de la siguiente manera:

- M0, material incombustible
- M1, material combustible pero no inflamable
- M2, material con inflamabilidad moderada
- M3, material con inflamabilidad media
- M4, material con inflamabilidad alta

Elementos compartimentadores

La compartimentación se consigue por medio del uso de elementos de construcción resistentes al fuego, ya sea que se trate de elementos de partición interior (muros y tabiques que delimitan los sectores) o estructurales con capacidad portante (Vigas y muros de carga que sostienen el sector propiamente hablando, los sectores por encima del propio, y a veces sectores contiguos).

Todos y cada uno de los elementos compartimentadores, deben de estar contruidos por materiales que tengan resistencia al fuego normada por ensayos, para América estos ensayos están normados por ASTM E119, que determina la resistencia al fuego de determinados materiales, así como por ACI 216, que es la normativa que rige el diseño de concreto con resistencia al fuego. Cuando se especifiquen sectores de incendio, se debe de señalar bajo que norma se recomienda el uso de materiales para su realización.

La efectividad de una barrera está en función de su inherente resistencia al fuego, de los detalles de su construcción y de la cantidad de vacíos que tenga, tales como ventanas, puertas, conductos, tuberías, tendido eléctrico y bandejas para ductos colgantes o cableado estructurado.

Es muy común que las barreras fracasen porque hayan aparecido penetraciones en ellas. Por ejemplo, la resistencia de un muro se pierde al dejar una puerta abierta. Tanto los gases como el humo pueden desplazarse por el edificio con mayor rapidez y facilidad que las llamas y el calor. Por tanto, hay que diseñar barreras de modo que lo sean también para el humo y para los gases, que además son la mayor causa de mortandad en



Ilustración 330, ensayo de resistencia en escala real, realizado en Inglaterra, muestra los efectos del fuego en un espacio compartimentado, en esta fotografía se observa la cara no expuesta al fuego. Imagen obtenida de *The integrity of compartmentation in buildings during a fire*, Building Research Establishment, edición 2005.

incendios.

Aparte de la compartimentación como medida de contención de incendios, hay que tener en cuenta la necesidad de dotar a cualquier proyecto de una suficiente integridad estructural, para no derrumbarse por la acción de las altas temperaturas que se alcanzan en un incendio, lo que supone una pérdida de las características de resistencia mecánica de los elementos estructurales.

Elementos estructurales

La principal característica que ha de buscarse en los elementos estructurales (vigas, columnas, muros de carga) es que no pierdan su capacidad portante por la acción del calor que se genera en un incendio, manteniendo su estabilidad al fuego (EF) durante un tiempo especificado para el cual sean calculados.

Pero además, cuando los elementos estructurales actúan como elementos compartimentadores en sectores de incendio, deben de ser resistentes al fuego (RF) el



Ilustración 331, ensayo de resistencia en escala real, realizado en Inglaterra, muestra los efectos del fuego en un espacio compartimentado, en esta fotografía se observa la cara expuesta al efecto del fuego. El muro fue hecho a base de paneles de yeso, el ensayo fue efectuado en muros diseñados para 30 minutos de tiempo de exposición. Imagen obtenida de *The integrity of compartmentation in buildings during a fire*, Building Research Establishment, edición 2005.

mismo intervalo de tiempo que establece al fuego (EF)

Desde el punto de vista de estabilidad de una estructura, el concreto armado es el material más resistente, dadas sus características de alta resistencia al calor, y de baja conductividad térmica. Aunque el concreto es sensible a la temperatura después de un tiempo prolongado de exposición, existen diseños de mezclas que hacen del concreto armado un material más resistente mecánica y estructuralmente, aparte de poderse lograr recubrimientos adicionales con auxilio de códigos específicos (ACI 216) para conferirle mayor resistencia al fuego.

La siguiente construcción en orden de resistencia, es la de vigas de madera macizas, esto debido a su lenta combustión y proceso de carbonización, así como larga estabilidad estructural comparada con una estructura de acero sin recubrimiento intumescente o ignífugo de ninguna naturaleza.

La construcción metálica sin recubrimientos de protección adicional, aunque se considera incombustible, no es aconsejable dado que el acero comienza a perder su estabilidad a partir de 538°C, temperatura fácilmente alcanzable en un incendio.



Ilustración 332, ensayo de compartimentación, obsérvese el daño a las estructuras de acero que no fueron tratadas con recubrimiento ignífugo, cuando atraviesan un sector de incendio compartimentado. Imagen obtenida de The integrity of compartmentation in buildings during a fire, Building Research Establishment, edición 2005.

Elementos de partición interior

Los elementos de partición interior (muros, tabiques, puertas de paso, tapas de registro,



Ilustración 333, sectorización interior por medio de muros acristalados con vidrio resistente al fuego

etc.) dividen a una edificación en sectores de incendio, deben de ser resistentes al fuego durante un periodo de tiempo determinado.

Uno de los principales problemas que se presenta es la vulneración de la resistencia al fuego al aparecer aberturas en los elementos de partición. Debido a factores que obedecen al diseño arquitectónico, existe la necesidad de dejar vacios en los muros, pero se debe de tener en cuenta que cuando se trata de muros de compartimentación, mientras más aberturas existan, mayor será la vulnerabilidad del muro, y su función como



elemento de compartimentación se

de se **Ilustración 334, uso de cortinas de compartimentación y confinamiento en sectores de incendio**

perderá.

Normalmente, el fuego se propaga en un edificio compartimentado a través de puertas abiertas, ductos de escaleras y ductos de ascensores sin el respectivo sello hermético, estos se convierten en aberturas sin proteger y espacios combustibles ocultos sin compartimentar.



Debido a esto, para que un elemento interior tenga la necesaria resistencia al fuego (RF) diseñada, ha de estar debidamente construido y las aberturas necesarias deben de estar específicamente protegidas, teniendo en cuenta que son los puntos débiles del



sistema compartimentador.

Ilustración 335, compartimentación por medio de uso de cortinas cortafuegos

Existen muchas tecnologías y medios mecánicos que permiten lograr una compartimentación sin elementos visibles, para que no interfieran con la arquitectura y el diseño de interiores de los proyectos de arquitectura, los cuales pueden ser utilizados de una manera adecuada para permitir ambientes limpios y seguros, compartimentados de tal manera que no resulten grotescos u ofensivos arquitectónicamente hablando, los cuales permiten la flexibilidad del espacio necesaria, al mismo tiempo que ofrecen la posibilidad de aislar determinados sectores de manera rápida, garantizando el confinamiento del incendio a un sector determinado.

Medidas constructivas para garantizar la compartimentación en sectores de incendio

Al momento de efectuar la compartimentación y sectorización de incendios, se debe tener en cuenta que la técnica constructiva es la garantía de que el sistema compartimentador funcione. Si se omite de determinada manera tanto elementos como la técnica correcta de instalarlos o de construirlos, se perderá la capacidad de aislamiento necesaria en cada uno de los sectores de incendio que se propongan.

Como criterios de técnica de compartimentación, se debe de tener en cuenta:

- Los muros y las tabicaciones diseñados como resistentes al fuego, deben de iniciar desde el nivel de piso terminado, y llegar hasta la losa de concreto o la cara inferior del cerramiento horizontal, atravesando cielos falsos, diferencias de nivel, mezzanines o cualquier otro elemento constructivo.
- cuando existan intersecciones entre un muro compartimentador y un elemento de fachada o de cubierta, estas últimas deben necesariamente de mantener en una franja de 1 metro de anchura como mínimo a cada lado, una resistencia al fuego de por lo menos la mitad de la exigida al elemento compartimentador de que se trate.
- Cuando existan tragaluces o lucernarios, debe de procurarse que exista una distancia superior a 2.50 metros entre toda perforación en una cubierta y el muro compartimentador mas próximo, ya que de otra manera, el calor y las llamas pueden comunicarse de un sector al otro.
- Como norma de carácter general, toda puerta de paso entre dos sectores de incendio deberá tener un grado de resistencia al fuego al menos igual a la mitad del exigido al elemento compartimentador que separa ambos sectores de incendio.
- Las puertas resistentes al fuego se deben de diseñar para estar cerradas en caso de incendios. Para ello, pueden tener un sistema que cierre la puerta automáticamente tras su apertura, o bien estar permanentemente abiertas y cerrarse de forma automática cuando se produzca un incendio, bien por si mismas, o al recibir una señal de mando desde un sistema de detección de incendios.
- Se debe de recordar que la efectividad de las puertas cortafuegos como conjunto dependerá de que todos sus componentes (hojas, marcos, herrajes, dispositivos de cierre, etc.) tengan la resistencia al fuego adecuada y de que sean compatibles tanto en su configuración, como en su montaje.

En la compartimentación para naves industriales o bodegas, para evitar la extensión del calor y el humo a grandes sectores y poder extraerlos de una manera más sencilla, es conveniente compartimentar la cubierta en su parte inferior, cuando la configuración de esta no crea por si misma tales sectores de ventilación (abierta en diente de sierra). Esta compartimentación es posible conseguirla mediante la colocación de mamparas o cortinas de por lo menos 1.50 metros suspendidas perpendicularmente de la cubierta.

Se debe de tener en cuenta que,

- Las cortinas de agua no ofrecen garantía suficiente de cumplimiento de los requisitos de las barreras resistentes al fuego.
- La mejor compartimentación se consigue por medio de espacios abiertos, libres de combustibles, delimitados de acuerdo a normativas

Protección de Aberturas y Sellos de Penetración

Como ya se ha dicho, las características de resistencia al fuego de los elementos compartimentadores se pierde fácilmente cuando se realizan perforaciones de cualquier índole. El muro compartimentador funciona como una barrera, por lo que la integridad de la barrera compartimentadora completa se ve comprometida al momento de existir puntos vulnerables, donde se pierda la continuidad de la masa y del cuerpo monolítico del elemento compartimentador.

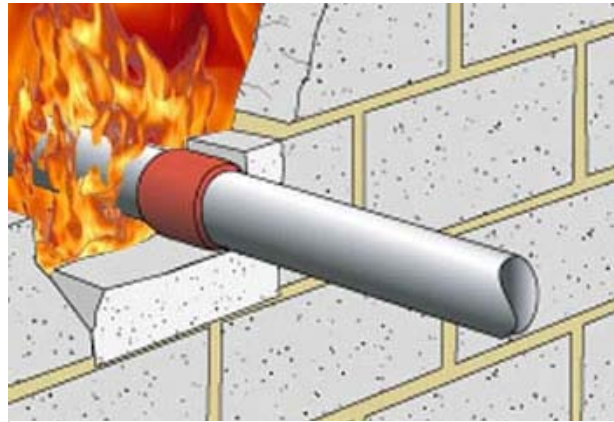


Ilustración 336, sello de penetración para tubería horizontal, a través de muro de mampostería

Es necesario recordar que en todo proyecto de arquitectura las instalaciones juegan un papel importante, y en estos puntos específicamente hablando es donde se debe de prestar atención al sistema constructivo y no olvidar que cuando se trata de atravesar barreras de compartimentación, es necesario aislar de una manera eficiente la perforación que será necesario efectuar en el paramento del muro compartimentador para permitir el paso de las tuberías,



Ilustración 338, sello de penetración para tubería vertical, a través de losa de concreto

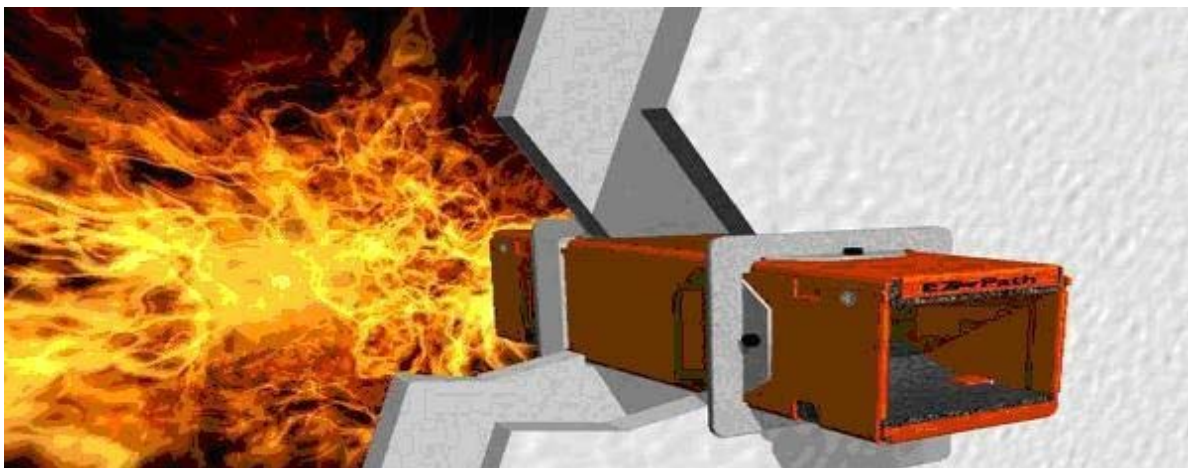


Ilustración 337, sello de penetración para ductos, de cableado o ventilación a través de muros compartimentadores

conductos, ductos o bandejas de cables.

El nivel de compartimentación se pierde bien porque las propias tuberías o conductos no son resistentes al fuego, o bien porque las aberturas realizadas no se ajustan suficientemente a las dimensiones de tuberías y conductos.

Existen maneras efectivas de darle continuidad a la compartimentación, aun cuando se trate de perforaciones en los muros, a este tipo de elementos se les conoce como sellos de penetración, y los sistemas de protección de aberturas más usuales y ampliamente conocidos son

- Cintas intumescentes
- Espumas y masillas ignífugas
- Manguitos aislantes
- Mecanismos de cierre automáticos en caso de incendios
- Sacos intumescentes
- Cerramientos
- Lechadas de cemento
- Lanas minerales o de fibra de vidrio
- Morteros ignífugantes

Independientemente del método de sello de penetración que se escoja, debe de tenerse siempre en mente que cualquiera que sea el que se especifique, deberá de tener el mismo grado de resistencia al fuego que el muro que se esté atravesando, de manera que la continuidad y la integridad de la resistencia al fuego que se busca lograr, se mantenga incluso en las partes débiles de la estructura.

Sellos de penetración en pasos de instalaciones eléctricas

Los pasos de cableado eléctrico se deben de proteger cerrando el espacio libre que queda entre la abertura de la barrera de compartimentación y el paquete de cables, con un relleno que posea igual grado de resistencia al fuego que el elemento compartimentador que se esté perforando, también se debe de tener en cuenta que los cables que atraviesan sectores de incendio se revestirán con un producto protector

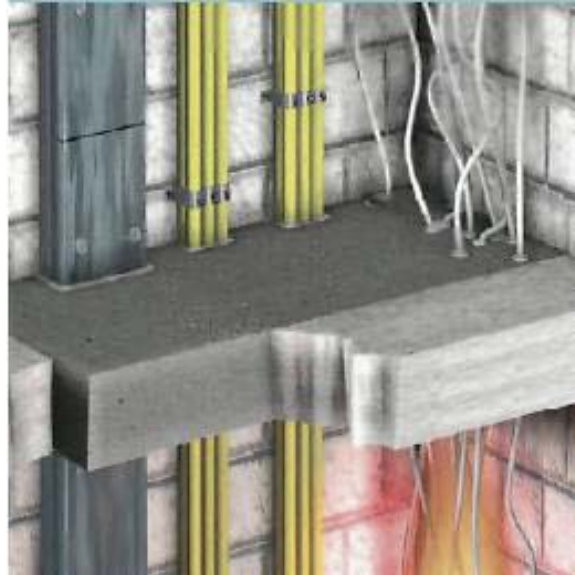


Ilustración 339, sellos de penetración para tuberías y cableados, en compartimiento de incendios

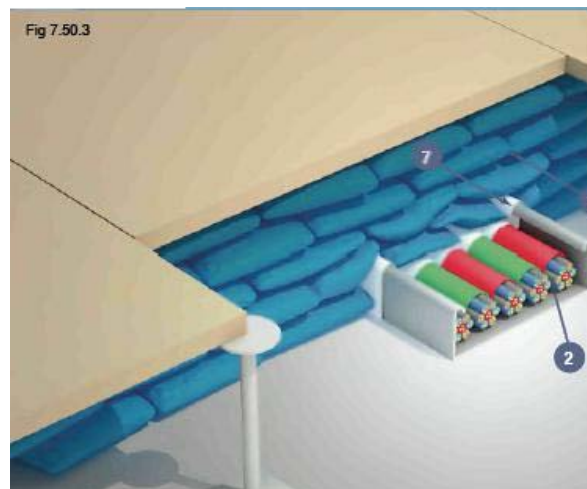


Ilustración 340, blindaje de penetración y aislamiento de instalaciones por medio de sacos intumescentes

(resinas, pinturas intumescentes, espumas intumescentes, recubrimientos aislantes) en un tramo nunca menor a 1 metro de longitud a cada lado del elemento compartimentador.

Cuando no sea posible que las instalaciones eléctricas pasen dentro de

un cielo falso a prueba de fuego por un compartimiento seguro o un sector de incendio, se debe de dotar del blindaje correspondiente a los ductos que recubrirán las bandejas de cableado que transportan energía eléctrica. Este blindaje debe de hacerse de acuerdo a normativas, blindando para los efectos cubriendo el tiempo necesario de resistencia al fuego que se va a especificar. Estos ductos atravesarán barreras de compartimentación, por lo que se hace necesario especificar el respectivo sello de penetración en todo el contorno de la perforación por donde se hará pasar el ducto, con un sello a prueba de fuego que tenga como mínimo la misma resistencia al fuego que la barrera que se está perforando.

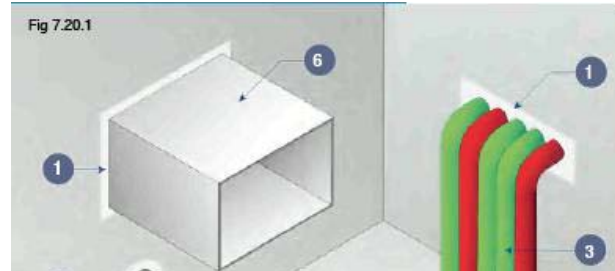


Ilustración 342, sellos de penetración para ductos y tuberías de instalaciones eléctricas

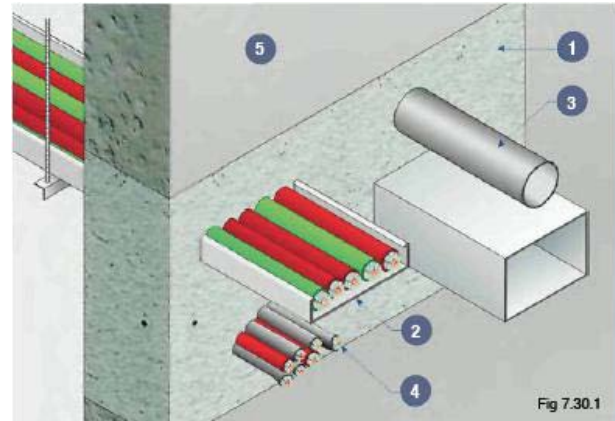
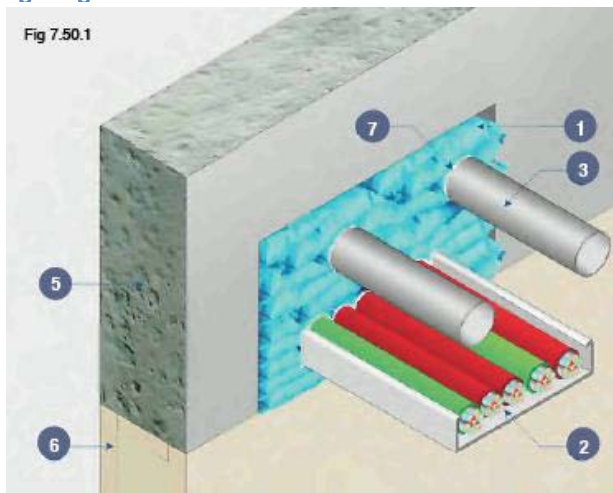


Ilustración 341, sello de penetración para bandejas de cables, tuberías y ductos, por medio de mortero ignífugo



Lo mismo sucede cuando se hace atravesar suelos de espacios compartimentados, los sellos de penetración deben de aplicarse de la misma manera que se haría en una barrera horizontal, cuidando de que la perforación en suelos, este completamente sellada por medio del sello de penetración que se escoja o que se especifique, este puede ser a base de morteros ignifugantes, espumas intumescentes o una mezcla de ambos, en donde la espuma intumescente se aplicara como sello

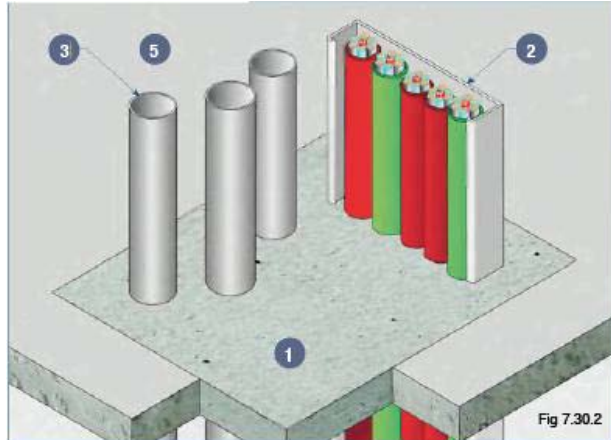


Ilustración 343, sello de penetración en suelos, hecho con mortero ignifugo

que llenara los espacios entre las tuberías, y el mortero ignifugante se aplicara a modo de acabado, para recubrir la espuma que blindara el espacio entre los tubos, o cables que se hagan atravesar.⁵⁰

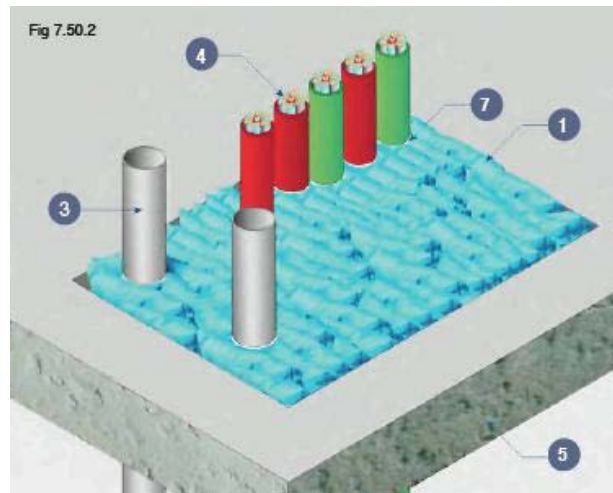


Ilustración 344, sello de penetración por medio de espuma intumescente, con recubrimiento de mortero ignifugo, en muro compartimentador

Se debe de especificar en planos, que el sello de penetración debe de realizarse al 100%, el sello debe de ser estanco a la acción del fuego, de manera que en toda la superficie donde se aplique el sello de penetración, se garantice un blindaje completo entre compartimientos, que no permita el paso de humo, calor, o llamas desde un sector que este en incendio.

Es absolutamente necesario el especificar que todas las tuberías,

ductos o cables que atraviesan sectores de incendio y barreras de compartimentación, tengan el mismo grado de resistencia al fuego que el especificado para el muro, de manera que no exista vulnerabilidad ni puntos débiles que comprometan la seguridad del usuario, cuando el espacio compartimentado sean rutas de evacuación, y que no permitan el paso de calor, llamas o humo a ningún otro sector.

Cuando los sellos de penetración se efectúan en suelos, se debe de proveer de un recubrimiento adicional, para evitar que por esfuerzos inesperados, como impactos, golpes o colocación de objetos pesados, el sello pueda dañarse, y perder de esta manera la integridad que se desea lograr al aplicarlo.

⁵⁰ The Fire passive protection hadnbook, PROMAT, Inglaterra, edicion 2007

Se debe de especificar en planos la resistencia del mortero que se va a aplicar, tanto mecánica como de resistencia al fuego.

Protección de juntas de dilatación o juntas constructivas

Cuando por motivos de arquitectura, un espacio protegido o confinado, como pasillos seguros, o rutas de evacuación, atraviesen partes de la estructura donde existan juntas de dilatación, estas deben de sellarse y blindarse al fuego de una manera eficaz.

Las juntas de dilatación son elementos estructurales diseñados para desempeñar una función que permita que la estructura pueda expandirse, contraerse, o tener el juego necesario, para no dañarse. Debido a esto, debe de tenerse el cuidado especial de no rigidizar las juntas al momento de especificar blindajes y sellos de penetración en las mismas. Existen productos especialmente diseñados para permitir la flexibilidad y el movimiento que las juntas de dilatación deben de darle a la estructura. Debe de recordarse que cuando la mampostería está expuesta al fuego, ocurren 2 fenómenos:

- Hinchamiento de agregados, por hidratación debido al posible vapor de agua que se haga presente en el recinto
- Deshidratación de agregados por alta temperatura, lo que resulta en pandeo lateral de los muros

Debido a esto, debe de tenerse el especial cuidado de que cuando se especifiquen sellos de penetración en juntas de dilatación de muros de mampostería, estas deben de ser lo suficientemente flexibles para absorber los cambios de tamaño debido a los fenómenos del fuego, ya sea por hinchamiento como por encogimiento o retracción.

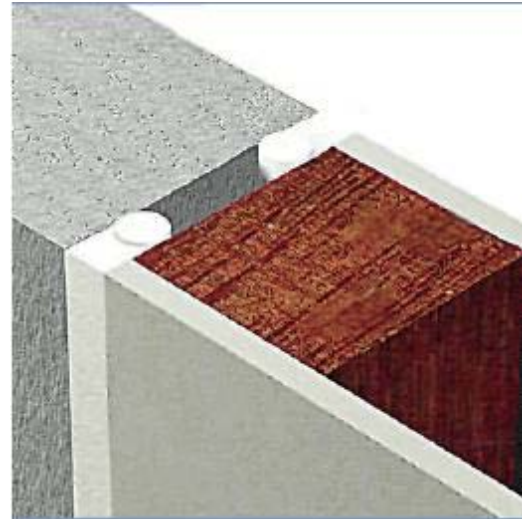


Ilustración 345, sello de penetración en junta de dilatación, en unión de muro de mampostería y tabicaciones de paneles de yeso

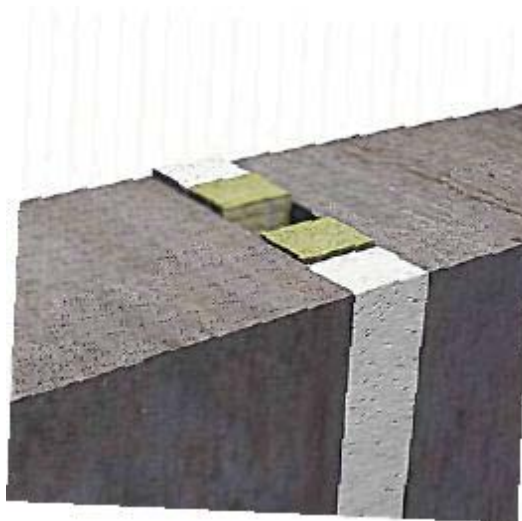


Ilustración 346, sello de penetración en junta de dilatación entre muros de mampostería



Las juntas de dilatación existentes en los edificios de gran tamaño se protegerán rellenándolas con materiales incombustibles, no degradables por el fuego, estos pueden ser

- Espumas intumescentes
- Morteros intumescentes (flexibles o con agregados de baja densidad)
- Resinas sintéticas ignifugantes
- Fibras minerales a prueba de fuego

Cuando se trata de compartimentar un sector de incendio en una edificación donde los muros no sean de carga, sino mas bien tabicaciones o muros diafragma, tal es el caso de los sistemas de marcos rígidos donde los muros no son parte de la estructura, se debe de especificar sellos en juntas, con el cuidado de no rigidizar la estructura con el sello, esto debe de hacerse por medio de materiales específicamente diseñados para los efectos, que permitan el sellado de las juntas entre losas y muros.

Criterios y parámetros de compartimentación

Cuando se diseña un proyecto de arquitectura, se parte de un programa de necesidades definido, y se pasa por un proceso en el cual se establecen las relaciones espaciales necesarias que dan como resultado un diseño funcional, y que también obedece al carácter formal, y a la tendencia de la corriente arquitectónica que el diseñador desea aplicar y plasmar en la propuesta final.

Tomando en cuenta o anteriormente expuesto, se sabe que muchas veces ha sido motivo de controversia si la función define la forma, o si la forma determina la función. Actualmente, el diseño es integral, de tal manera que tanto la forma como la función dan como resultado un diseño arquitectónico estéticamente formal, así como formalmente funcional, de tal manera que tanto función como forma van de la mano desde las etapas tempranas del diseño.

En lo relacionado con el riesgo de incendios, existen parámetros que han sido determinados a partir de ensayos normados por códigos de aceptación internacional, los cuales han dado como resultado dimensiones máximas y mínimas recomendables, para que el diseño arquitectónico aparte de ser funcional y estéticamente formal, sea también seguro ante la eventualidad de un incendio. Estos parámetros, no tienen como objetivo volver "rígido, cuadrado o tieso" el diseño arquitectónico, ni limitar la creatividad del diseñador en cuanto al espacio, sino mas bien proveen estándares dentro de los cuales se puede planificar y diseñar un proyecto de arquitectura en el que las medidas de seguridad estén presentes desde las fases más tempranas del diseño, de manera que este optimice el espacio, haciéndolo a su vez seguro y sobre todo, permitiendo tener un control sobre el riesgo de incendio que se puede tener en determinadas condiciones de uso.

Al respecto de parámetros, las normativas NFPA 5000, NFPA 101, IBC capitulo 7, NBE-CPI/91, establecen criterios y dimensiones de sectores de incendios, que deben de tomarse en cuenta como componentes del diseño arquitectónico, desde la fase del

anteproyecto, de manera que estos parámetros se vuelvan integrales con el diseño de la arquitectura.

La compartimentación, de acuerdo a reglamentos NFPA, IBC y UNE NBE se establece de la siguiente manera:

- Para instalaciones de uso general, vivienda, docencia, administrativo o residencial público, la máxima superficie de sector de incendio será de 500 metros cuadrados
- Parques, con superficie mayor a 100 metros cuadrados
- Para uso residencial de vivienda, la superficie de cada sector de incendio no debe de exceder 2500 metros cuadrados, y los muros medianeros, así como cerramientos compartimentadores, deberán tener una resistencia al fuego de por lo menos 60 minutos
- Para uso administrativo, la superficie construida de cada sector de incendio, no debe de exceder 2500 metros cuadrados.
- Para uso comercial, en todos los casos, la superficie construida de sector de incendio no debe de exceder 2500 metros cuadrados, o 10,000 metros cuadrados en aquellos establecimientos o centros comerciales que ocupen en su totalidad un edificio protegido con un sistema de extinción automático, y siempre y cuando la altura de evacuación no exceda 10 metros
- Cuando se trate de establecimientos destinados a concurrencia pública, en la que se prevea existencia de espectáculos (salas de cine, teatros, discotecas, salones de usos múltiples) y cualquier otro tipo de actividad cuando la superficie necesaria construida exceda 500 metros cuadrados, debe en todo caso constituir por lo menos un sector de incendio diferenciado, incluyendo el posible vestíbulo común a diferentes salas.
- Para instalaciones de docencia, si el edificio tiene más de una planta, la superficie construida de cada sector de incendio no debe de exceder 4000 metros cuadrados. Cuando tenga una única planta, no es preciso que este compartimentada en sectores de incendio.
- Para uso hospitalario, las plantas con zonas de hospitalización y unidades especiales, (quirófanos, unidades de cuidados intensivos, etc.) deben de estar compartimentadas en por lo menos 2 sectores de incendio, y cada uno de ellos con una superficie construida que no exceda 1500 metros cuadrados y con espacio suficiente para albergar a los pacientes de cualquier sector de incendio contiguo. Se exceptúa de este tipo de compartimentación las plantas cuya superficie construida no exceda de 1500 metros cuadrados, y que tengan salidas directas al espacio exterior seguro, y cuyos recorridos de evacuación hasta estos puntos no excedan de 25 metros. Para cualquier otra zona del edificio, la superficie construida por cada sector de incendio no debe de exceder 2500 metros cuadrados.
- Para instalaciones de concurrencia pública, cada sector de incendio no debe de exceder 2500 metros cuadrados, cuando por condiciones de uso sea necesario contar con espacios mayores donde se concentren usuarios en actividades tales como uso de asientos fijos en salas de cines, teatros, auditorios, salas de

congresos, museos, espacios para cultos religiosos, y recintos polideportivos o de usos feriales, pueden estos constituir un sector de incendio mayor a 2500 metros cuadrados, pero deben de estar compartimentados con respecto de otras zonas de incendios con resistencia al fuego como mínimo de 120 minutos, y que tengan resuelta la evacuación mediante salidas de planta que comuniquen con un sector de riesgo mínimo, a través de vestíbulos protegidos o bien con un espacio exterior seguro. También es necesario que para este tipo de sectores, se efectuó el cálculo de la densidad de carga combustible o carga por fuego debida a materiales de revestimientos y mobiliario, y esta no debe de exceder en ningún momento 200 Mj/m^2 , y sobre el sector de incendio mayor a 2500 metros cuadrados no debe de existir ninguna zona de permanencia común o zona habitable. Las zonas de cajas escénicas, tras bambalinas y bodegas de utilería, deben de constituir un sector de incendio independiente al de concurrencia y permanencia.

- Para parqueos y sótanos, estos deben de estar compartimentados en sectores de incendio que no excedan $10,000 \text{ m}^3$
- La resistencia al fuego de paredes, techos y puertas que delimitan sectores de incendio, se define para sectores sobre nivel del suelo y sectores en sótanos, de acuerdo a normativa NBE-CPI, de la siguiente manera:

Resistencia al fuego de paredes, techos y puertas que delimitan sectores de incendios				
paredes y techos que separan al sector considerado del resto del edificio, siendo su uso previsto	Resistencia al fuego			
	sectores en sótanos	sectores sobre nivel del suelo, con alturas de evacuación		
		hasta 15 m	de 16 a 28 m	mayor a 28 m
sector de riesgo mínimo en edificios de cualquier uso	no admitido	120 minutos	120 minutos	120 minutos
residencial vivienda, residencial público, docente administrativo	120 minutos	60 minutos	90 minutos	120 minutos
comercial, concurrencia pública, hospitales	120 minutos	90 minutos	120 minutos	180 minutos
parqueos	120 minutos	120 minutos	120 minutos	120 minutos

Tabla 39, Resistencia al fuego de elementos delimitantes de sectores de incendio, datos obtenidos de NBE-CPI/91

CONTROL Y EXTRACCION DE HUMO Y GASES TOXICOS

Como ya se ha dicho, el humo y los gases tóxicos son los principales causantes de muertes en un incendio. Un edificio puede saturarse totalmente de gases tóxicos o de humos densos que impidan la visibilidad, en cuestión de pocos minutos.

Cuando un proyecto de arquitectura se diseña sin prever el posible riesgo de incendio, entonces el mismo diseño arquitectónico se convierte en un peligro potencial para las personas, dado que

debido a ciertas configuraciones espaciales, se permite que las nubes de humos y gases tóxicos se extiendan a todo el complejo, siendo esto potencialmente letal para el usuario.



Ilustración 347, humo de combustión por incendio

El desarrollo de un incendio, así como los contenidos del humo que es generado, es tratado en el capítulo 1 de este estudio, por lo que si se desea una referencia más exacta en cuanto a los componentes venenosos del humo de combustión, puede consultarse la sección para información más detallada al respecto. (Consultar pagina 34)

Al momento de diseñar el sistema de incendios, parte importante de este es el manejo o control de la generación de humo, así como la correcta extracción del mismo. En la planificación del sistema contra incendios, se debe de garantizar por lo menos 2 aspectos que son básicos y fundamentales para proteger la vida del usuario:

- Aire limpio para las víctimas
- Correcta visibilidad de las rutas de evacuación

Si alguno de estos 2 aspectos no se cumple, puede comprometerse de manera delicada y sumamente peligrosa la vida del usuario que en condiciones de incendio se vea en la necesidad de evacuar las instalaciones.

Desde el momento en el que se inicia la combustión, tiene lugar la formación de humo. La gran mayoría de los materiales de los cuales están constituidos los acabados y el mobiliario en un proyecto de arquitectura, producen grandes cantidades de humo de una manera rápida, y se debe de acotar, que uno de los datos más importantes a tomar en cuenta al momento de planificar el control y la extracción de humo, es la velocidad de producción del humo que puede tener el incendio que consuma determinado proyecto.

Al momento de producirse un incendio, el control del humo tiene por objeto garantizar la seguridad de la evacuación de las personas, facilitar la intervención de los cuerpos de socorro, y reducir los daños producidos debido a las altas temperaturas del humo producido por un incendio.

Características del humo en condiciones de incendio

El humo es definido como el conjunto de partículas sólidas y líquidas en suspensión en el aire, o en los productos volátiles que resultan de un proceso de combustión o pirólisis. Se puede dividir este en 2 partes diferenciadas, una nube de pequeñas partículas sólidas y líquidas que acompañan y se entremezclan con un gran volumen de gases calientes y vapores que ascienden procedentes del foco de un incendio.



Ilustración 348, Incendios en diferentes edificios, demuestran la cantidad de humo que puede producirse, fotografías 8.A y 8.B muestran tomas las torres First Bank en Estados Unidos, donde la combustión ardió con altas temperaturas consumiendo 4 plantas, generó humo de forma moderada, no existió colapso. Fotografía 8.C, muestra al edificio Parque Central, en Caracas, Venezuela, donde el incendio ardió durante 24 horas, consumiendo 17 pisos, no hubo colapso. Fotografía 8.C derecha, incendio en la Torre Windsor, en España, ardió durante 20 horas, consumiendo 10 de los 20 niveles, generando grandes cantidades de humo, no existió colapso estructural. Fotografía obtenida de Escuadrones Por La Verdad, Panel Informativo

Concretamente hablando, el humo está formado por los productos intermedios generados durante el proceso de combustión que experimentan los materiales orgánicos o sintéticos, cualquiera que sea la naturaleza de los materiales que estén expuestos al fuego. El humo se genera durante los procesos de combustión incompleta, tales como:

- Combustión con llamas, donde se produce una serie de reacciones complejas en las que la oxidación es demasiado lenta para impedir la formación de partículas de carbón

- Combustión sin llamas, donde pequeñas gotas de sustancias alquitranadas en forma húmeda escapan cuando las condiciones del aire lo permiten, para producir partículas de humo de una micra de diámetro (1×10^{-3} mm)

Las llamas amarillentas que se producen por encima de un fuego de sólidos o de líquidos se deben a la presencia de pequeñas partículas de hollín, que o se queman afuera si las condiciones lo permiten, o aumentan de tamaño y escapan de las llamas en forma de humo.

Cantidad de humo

La cantidad de humo producida por el proceso de oxidación y combustión que sufre un material que arde, depende de 2 factores puntuales:

1. La naturaleza química del combustible
2. Las características del fuego

Por la naturaleza química del combustible, estudios realizados han concluido y demostrado que:

- Materiales que contienen en su estructura moléculas o átomos de oxígeno producen menos humo que aquellos que no los contienen, y
- Materiales que incorporan en su estructura anillos bencénicos tienden a generar mayores cantidades de humo que las estructuras moleculares más abiertas

Por las características del fuego, los estudios han concluido y demostrado que la cantidad de humo emitida depende de:

- La temperatura de combustión y la zona de las llamas
- El nivel de concentración de oxígeno disponible en la zona de la combustión, que a su vez está directamente ligado a la tasa de ventilación del recinto donde se produce el fuego

Estimación de la cantidad de humo producida

Debido a la diferencia de temperaturas, los fenómenos de convección producen la entrada de aire limpio tanto al interior de la zona de combustión, como dentro de la columna ascendente de humos y gases, a la que en textos en inglés se le denomina como *Fire Plume*, y en textos en español se le conoce como Pluma Tóxica.

Debido a que las temperaturas dentro de esa columna no son suficientemente altas como para hacer que el oxígeno del aire atrapado reaccione completamente con los elementos volátiles contenidos, tales reacciones son químicamente incompletas, y de esta manera, a través de este mecanismo se produce el humo y las sustancias tóxicas. Es también este aire sin reaccionar, que ha sido atrapado por el humo, el que se considera que constituye el mayor componente de la Pluma Tóxica.

Se ha comprobado que el volumen total de aire que mueve un incendio es muy grande como un componente comparado con el volumen de gases combustibles producido, de

manera que es posible igualar la velocidad de producción de humo con el ritmo de entrada de aire limpio al mismo.⁵¹

Dadas estas condiciones, la velocidad de producción del humo en condiciones de incendio, puede expresarse de la siguiente manera:

$$M_{\text{smoke}} = 0.096 * p * \rho_0 * y^{3/2} * g^{1/2} \left(\frac{T_0}{T_p} \right)^{1/2}$$

Donde,

p = Perímetro del fuego, en metros

ρ_0 = Densidad del Aire a temperatura Ambiente, en Kg/m³, aproximadamente igual a 1.22 kg/m³ a 300°K

y = Distancia entre el suelo y el nivel inferior de la capa de humo, en metros

g = Constante gravitacional, en m/s²

T₀ = Temperatura Absoluta del aire ambiente, en °K, constante, aproximadamente igual a 300 °K

T_p = Temperatura Absoluta de los gases de la columna ascendente, en °K, constante estimada en aproximadamente 1200°K

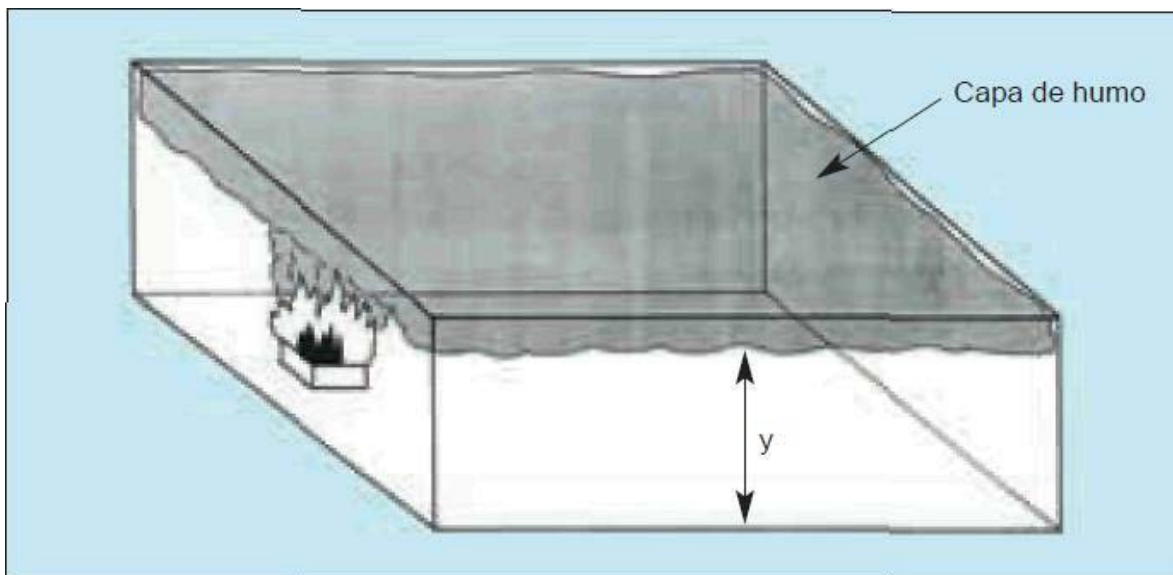


Ilustración 349, altura de la capa de humo generada en un recinto incendiado

⁵¹ Revista MAPFRE SEGURIDAD, Ejemplar No. 71, Tercer Trimestre, 1998.

Temperatura media de gases de incendio

Es posible calcular la temperatura media de los gases que se encuentran en la capa de humo localizada en un sector de incendio. Se debe de recordar que uno de los peligros de esta capa de gases, es que al alcanzar determinada temperatura también se vuelven inflamables.

La temperatura media de los gases contenidos en la capa de humo, puede calcularse con la siguiente ecuación:



Ilustración 350, La cantidad y la densidad óptica del humo en un incendio puede anular totalmente la capacidad visual al momento de la evacuación

$$\theta_c = T_0 + \left(\frac{Q_p}{M_{\text{smoke}} * C_p} \right)$$

θ_c = temperatura media de los gases contenidos en la capa de humo, expresada en °K

T_0 = temperatura absoluta del aire ambiente, en °K

Q_p = flujo de calor por convección, en kW

M_{smoke} = Tasa de producción de humo, en kg/s

C_p = Calor específico del aire a temperatura ambiente, en kJ /kg

Para evitar todo riesgo de la ocurrencia del fenómeno Flashover (ver pagina 37) θ_c no debe de ser en ningún caso mayor que 573.16 °K (300 °C). Cuando la altura libre de humo es inferior a 3 metros, esta temperatura queda limitada a 473.16 °K (200 °C).



Ilustración 351, el humo contenido y estancado en pasillos hace imposible la visión de las rutas de evacuación

Visibilidad y densidad del humo, principios de la medición de la densidad del humo

El humo, debido a su naturaleza particulada, reduce drásticamente la capacidad de una persona para ver cuando intenta escapar de una zona incendiada. Esta reducción en la visibilidad depende de la naturaleza del humo, así como del tipo y del nivel de iluminación de la ruta de evacuación.

Aun no se ha encontrado la forma de predecir la capacidad del ojo humano para ver a través del humo, así como tampoco se ha logrado determinar los efectos restrictivos de los gases irritantes sobre la visión del ser humano. Algunas investigaciones realizadas sugieren que los irritantes llegan a reducir la visión entre un 50% hasta un 95%.

La densidad del humo puede medirse en términos de reducción de la intensidad de un rayo de luz cuando pasa a través de una atmosfera cargada de humo. Este tipo de medida objetiva puede expresarse bien como oscurecimiento de la luz, o como densidad óptica.

El oscurecimiento de luz (S) se puede definir como

$$S = 100 \left(\frac{I_0 - I}{I_0} \right)$$

Donde

L_0 = intensidad de la luz incidente cuando no existe humo

L = intensidad medida a la misma distancia desde la fuente de luz cuando no hay humo

La densidad óptica del humo (D) se puede definir de la siguiente manera

$$D = -10 \text{Log}_{10} \left(\frac{L}{L_0} \right)$$

Donde

L_0 = intensidad de la luz incidente cuando no hay humo

L = intensidad medida a la misma distancia desde la fuente cuando hay humo

Habiendo definido tanto el oscurecimiento de la luz, como la densidad óptica del humo, se tiene la claridad suficiente para saber de donde se obtienen los parámetros para establecer de una manera estandarizada cuanta visibilidad puede tener el ser humano en condiciones de humo, y la distancia a la que esta visibilidad es efectiva. De la misma manera, existen algunos parámetros que indican de una manera muy aproximada, con cierto grado de incerteza, cual es la densidad del humo para algunos productos que fácilmente pueden encontrarse en un proyecto de arquitectura, si bien no como parte de la construcción, eventualmente como parte del mobiliario.

Existen ensayos que han sido específicamente diseñados para medir parámetros de densidad de humo así como de ignición de materiales, tal es el caso de ASTM D1929, ASTM E136, ASTM E662, ISO 5659, NES 711, NES 713, los cuales pueden consultarse para tener un panorama más amplio al momento de determinar un sistema de control de humos en condiciones de incendio.

Cuando se propone el diseño arquitectónico de un proyecto, es responsabilidad del Arquitecto la elección de los materiales de construcción, y es precisamente esta parte la que el diseñador debe tener en cuenta al momento de hacer la propuesta de materiales, y de la misma manera, tomarlo en cuenta cuando se diseña el control de humo sobre determinado proyecto, y también se debe tomar en consideración, la posible naturaleza del mobiliario con el cual se amoblara el proyecto para que sea habitable o utilizable.

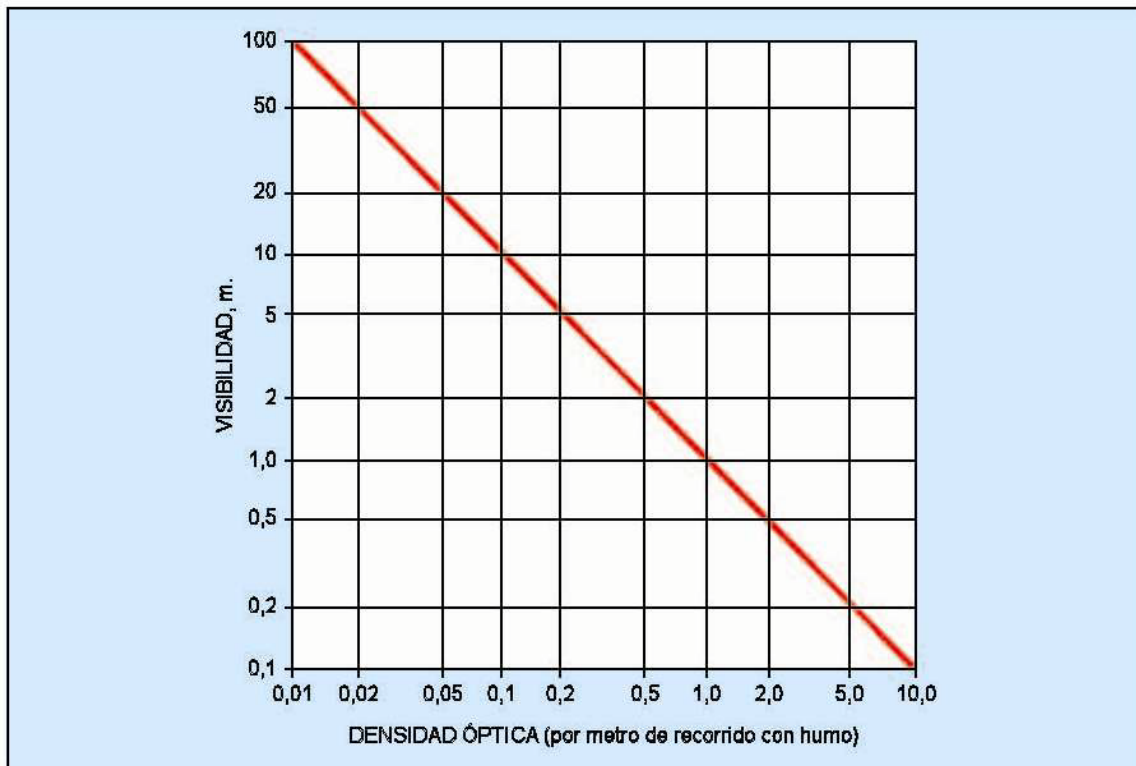


Ilustración 352, grafica de Visibilidad (expresada en metros) Vs densidad Óptica (por cada metro de recorrido con humo) Grafica obtenida de Revista MAPFRE SEGURIDAD, ejemplar No. 71, Tercer trimestre 1998

Por medio de estudios realizados, se ha podido llegar a establecer la densidad óptica del humo de algunos materiales cuando reaccionan con el fuego, los cuales se presentan en la siguiente tabla

DENSIDAD OPTICA DE HUMO PARA ALGUNOS TIPOS DE MADERA				
Material	Tiempo para alcanzar su máxima densidad (minutos)	Máxima Densidad de humo	Tiempo para obscurecimiento total (en condiciones de saturación)	Tiempo de desarrollo de máxima liberación de humo
combustión latente (brasas), sin ventilación				
madera contrachapada	16	2.85	2.7	10.5
Roble rojo	20	3.95	4.1	14.5
Madera de Secoya	14	2.6	2.7	8
Plywood de pino	18	3.5	3.4	12
Pinabete	20	3.8	2.1	11
Pino Blanco	15	3.25	2.3	8
Madera de Nogal	16	4.6	3.4	10.5
Roble Blanco	14	4.2	3.5	9
Combustión en llamas, sin ventilación				
madera contrachapada	15	0.62	5.4	7
Roble rojo	17	0.76	8	10
Madera de Secoya	13	1.33	2.5	4
Plywood de pino	14	0.96	5.3	7
Pinabete	19	1.56	4.6	8
Pino Blanco	16	1.55	2.7	5
Madera de Nogal	15	0.91	7.5	10
Roble Blanco	14	1.07	6.6	8

Tabla 40, Densidad óptica de humo para algunos tipos de madera, Tabla de Elaboración propia, datos obtenidos de Smoke Opacity of certain woods and plastics, J.R. Gaskill y C.R. Vieth, Laboratorio de Radiación Lawrence, Universidad de California, Estados Unidos

De los datos mostrados en la tabla 40, se puede observar que los distintos tipos de maderas tienen densidades de humo mayores cuando arden en combustión latente con brasas, que cuando arden con llama, aunque el tiempo de desarrollo de máxima liberación de humo aumenta cuando arden con llama. La madera de nogal, el roble blanco, el roble rojo y el pino común son las maderas que más generan densidad de humo, y siendo esto así, existirá mayor cantidad de humo cuando estas maderas estén presentes como parte del proyecto que se esté protegiendo, ya sea como parte de los acabados, o como parte del mobiliario.

Por otro lado, también se han conducido estudios donde se ha puesto a prueba la capacidad de producción de humo, la densidad de humo y el tiempo de desarrollo de la máxima liberación de humo, para algunos de los plásticos más extensamente utilizados en la manufactura de mobiliarios o equipo, y que pueden estar presentes también como elementos constructivos en un proyecto.

Las densidades de humo para determinados plásticos, se presentan en la siguiente tabla:

DENSIDAD OPTICA DE HUMO PARA ALGUNOS TIPOS DE PLASTICOS				
Material En Combustión	Tiempo para alcanzar su máxima densidad (minutos)	Máxima Densidad de humo	Tiempo para obscurecimiento total (en condiciones de saturación)	Tiempo de desarrollo de máxima liberación de humo
combustión latente (brasas), sin ventilación				
Policarbonato de color	29	3.8	3.8	9
Policarbonato transparente	33	190	6.5	14
Polietileno	17	4.7	5.5	9
Poliestireno	26	3.45	4	9
Poliestireno (auto ignición 4 min)	6	4.6	4	5
Politetrafluoroetileno (Teflón)	36	0		
Lienzos de plástico fenólico (alfombras)	28	4.6	2.5	7
PVC (alma llena)	30	4.9	1.6	5
PVC (perfiles huecos, espesor 1/8 pulgada)	14	2.72	2.1	6
PVC (perfiles huecos, espesor 1/4 pulgada)	33	4.7	2.1	8
Combustión en llamas, sin ventilación				
Policarbonato de color	7	4.8	1.8	4
Policarbonato transparente	6	1.4	2.3	4
Polietileno	9	1.5	4	4
Poliestireno	4	4.7	1.2	2
Poliestireno (auto ignición 4 min)	4	4.7	1.2	2
Politetrafluoroetileno (Teflón)	30	0.55	11	9
Lienzos de plástico fenólico (alfombras)	20	4.6	1.7	4
PVC (alma llena)	11	5.3	0.5	1
PVC (perfiles huecos, espesor 1/8 pulgada)	5	5.25	0.5	2
PVC (perfiles huecos, espesor 1/4 pulgada)	10	5.35	0.6	2

Tabla 41, Densidad óptica de humo para algunos tipos de madera, Tabla de Elaboración propia, datos obtenidos de Smoke Opacity of certain woods and plastics, J.R. Gaskill y C.R. Vieth, Laboratorio de Radiación Lawrence, Universidad de California, Estados Unidos

Algunos tipos de plásticos tal es el caso del Poliestireno, plástico fenólico y el PVC, tienen elevadas tasas de densidad de humo, y muchos de ellos son ampliamente utilizados en la construcción, en forma de Ventanería, barreras transparentes, molduras para acabados especiales, alfombrados, y en tapicería de muebles en forma de telas sintéticas. Este tipo de plásticos en conjunto, al momento de arder en combustión, con llama o sin llama, generaran cantidades de humo de alta densidad, las cuales obstruirán la visión, permitiendo en determinados casos de saturación, una visibilidad de únicamente hasta 20 centímetros a través de ellos.



Ilustración 353, Incendio ocurrido en Edificio Tikal Futura, ciudad de Guatemala, obsérvese la densidad de humo generado, fotografías obtenidas de Prensa Libre, tomadas por Álvaro Interiano



Ilustración 354, Incendio en edificio Tikal Futura, Ciudad de Guatemala, obsérvese la densidad de humo generado, Fotografías obtenidas de Prensa Libre, Tomadas por Álvaro Interiano

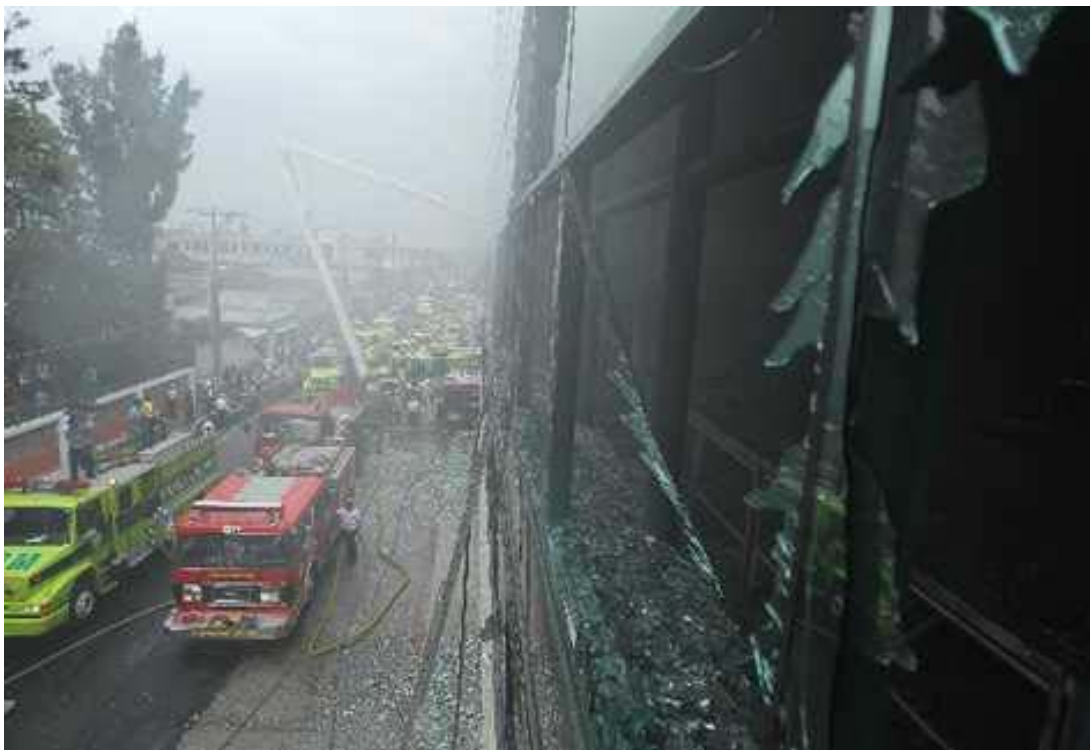


Ilustración 355. Incendio en Edificio Tikal Futura, Ciudad de Guatemala, obsérvese la cantidad de humo que sale por la Ventanería rota, Fotografías obtenidas de Prensa Libre, Tomadas por Álvaro Interiano

Comportamiento del humo en condiciones de incendio

Se ha establecido que el humo es el resultado de un proceso de combustión incompleta, así como también las magnitudes que más interesan de este al momento de planificar el sistema contra incendios:

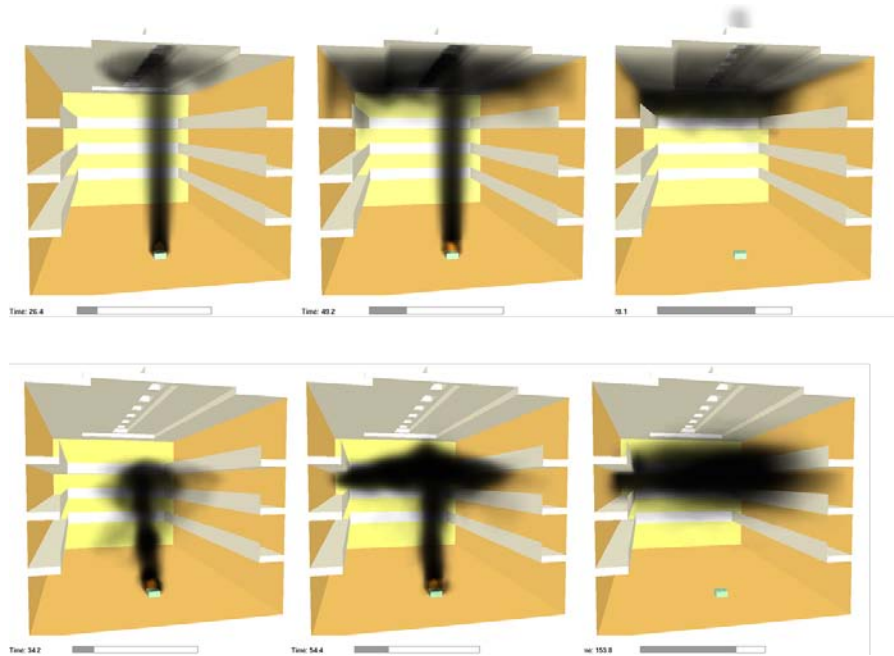


Ilustración 356, comportamiento del humo en interiores, en ausencia de aire, sin ventilación ni aporte por medios naturales o mecánicos

- Velocidad de generación de humo
- Cantidad
- Temperatura
- Densidad (opacidad) de humo
- Tiempo de obscurecimiento total

Cada uno de estas variables se debe de tomar en cuenta al momento de planificar, porque muchas de las decisiones que se hacen durante el diseño, tendrán repercusiones directas en cuanto a la cantidad, velocidad y distribución del humo en condiciones de incendio en cualquier proyecto de arquitectura.

Existen maneras efectivas de combatir y evitar la propagación del humo, y el sistema de protección contra incendios debe de incluir estrategias para el control del humo al momento de ser necesario. Para poder llegar a la conclusión de cuál es la manera correcta para determinado proyecto que se esté diseñando, se debe de empezar por conocer la manera en la que el humo se comporta en condiciones de incendios.

Clasificación de las zonas de gases

Cuando un fuego arde, genera calor, cambia una gran proporción del material que arde o del combustible desde su estado químico natural, a uno o más compuestos contenidos en el humo, tales como dióxido de carbono, monóxido de carbono, agua y algunos otros

compuestos. Comúnmente, debido a que el proceso de combustión no es al 100% efectivo, el humo transporta una porción del combustible en forma de hollín u otros materiales que pueden o no haber sufrido cambios químicos durante el proceso.

Una porción mayor del calor generado cuando el combustible se quema permanece en la masa de los productos liberados por el fuego. Esta masa se expande, siendo más ligera que el aire alrededor, y se eleva como una pluma, la pluma ascendente del foco de la combustión es turbulenta, y debido a esto, arrastra grandes cantidades de aire de la atmosfera que rodea al fuego, hacia el colchón de gases generado. Este arrastre incrementa la masa total y el volumen de la pluma, y enfría la pluma mezclando el aire frío arrastrado con los gases calientes ascendentes. Normalmente la pluma ascendente es más caliente en su centro y más fría hacia los bordes, hacia donde el aire frío es arrastrado. Este arrastre de aire frío normalmente también diluye la concentración de los productos de fuego contenidos en la pluma.⁵²

Para propósitos descriptivos, el movimiento del humo en edificios se divide en 2 áreas generales,

- Zona de humo caliente
- Zona de humo fría

Zona de humo caliente

Esta zona incluye todas aquellas áreas del edificio en donde la temperatura del humo o del gas es lo suficientemente alta de manera que la flotabilidad natural del cuerpo de humo tiende a levantar el humo hacia el área del techo que se encuentra limpia, o menos contaminada, en este punto el aire frío, que es más denso, es empujado hacia abajo a la porción inferior del espacio. Normalmente esta condición existe en el lugar de origen del fuego. Depende también de el nivel de energía producida por el fuego, y del tamaño de las aberturas que conecten los ambientes, tales como puertas abiertas, la zona de gases calientes puede fácilmente propagarse hacia ambientes o corredores adyacentes a donde se inicia el fuego.

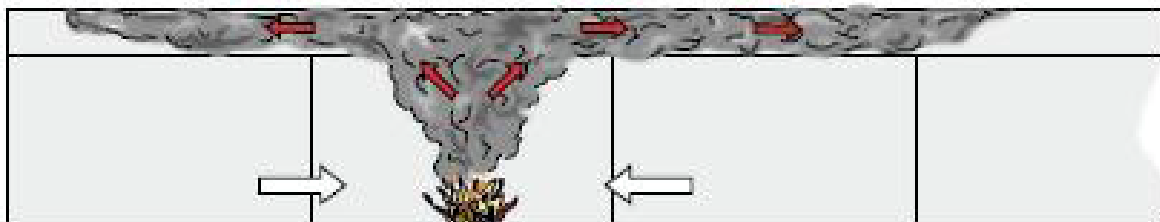


Ilustración 357, cuando inicia el proceso de combustión, el humo caliente, al ser más liviano que el aire, se eleva formando la zona de humo caliente, que generalmente se localiza cercana al techo, el aire menos contaminado y frío, es más denso y permanece en la parte de abajo.

⁵² Smoke Movement in Buildings, John H. Klote and Harold E. Bud Nelson, 1988

Zona de humo frío

Esta zona incluye aquellas áreas del edificio donde la mezcla y otras formas de transferencia de calor han reducido el efecto de fuerza motriz del fuego al punto al que la flotabilidad del cuerpo de humo es un factor de menor incidencia. En estas áreas, el movimiento del humo es principalmente controlado por otras fuerzas, tales como el viento o

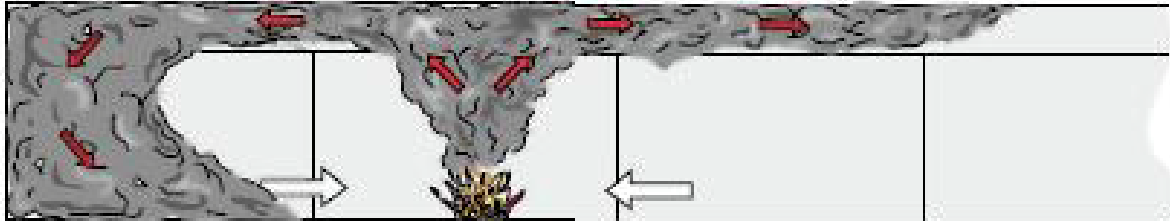


Ilustración 358, el humo que se mezcla con el aire frío por efecto del arrastre, se vuelve más denso, y conforme se enfría empieza a descender, mezclándose y eliminando la capa de aire frío que se encuentra en la parte inferior.

El efecto chimenea, sistemas mecánicos de ventilación o de calefacción, aire acondicionado, o sistemas de movimiento de aire. En estas áreas, el movimiento del humo es esencialmente el mismo que el de cualquier otro elemento contaminante.⁵³

Efecto Chimenea (Stack Effect)

Cuando ocurre un incendio, la temperatura del aire afuera del edificio en llamas, es fría, contrario a las altas temperaturas que se manejan dentro del recinto que se incendia.

Cuando la temperatura exterior es baja, existe un movimiento hacia arriba del aire dentro de los ductos del edificio, tales como ductos de gradas de emergencia, ductos de servicio, ductos mecánicos o ductos para correo. La fuerza de flotación crea un efecto de succión y causa que el aire se eleve dentro de los conductos o ductos. A este fenómeno se le conoce con varios nombres, pero comúnmente se le

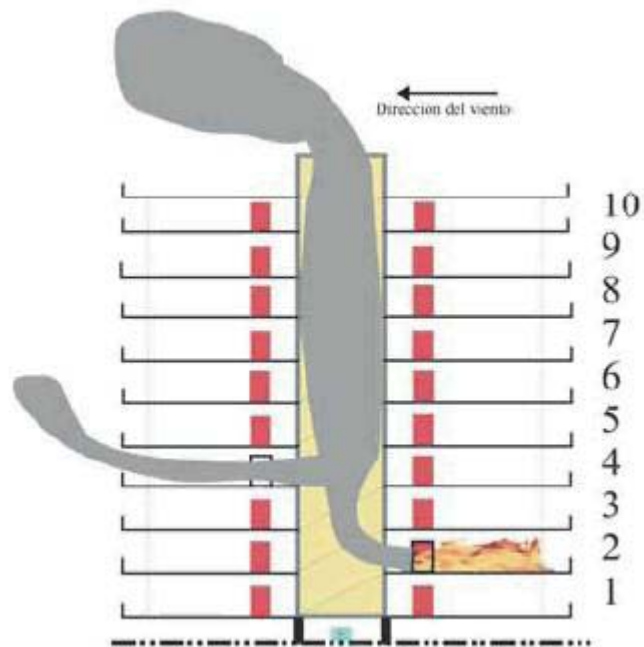


Ilustración 359, ilustración de efecto chimenea, la succión transporta el humo hacia todos los lugares que se encuentren abiertos o donde existan filtraciones

⁵³ NIST, Smoke Management Systems, Michael J. Ferreira, Steven M. Stregge, Septiembre 2005

conoce como “Efecto Aglutinante o Efecto Chimenea”.

Este efecto de aspiración por diferencia de densidades y por arrastre, tiene especial importancia cuando se diseña un sistema contra incendios, específicamente hablando de espacios abiertos, ductos para instalaciones, gradas de emergencia y ductos de ascensores. Por estos conductos que son básicos para las edificaciones, cuando no existe compartimentación o sellos de penetración correctamente efectuados, el humo puede propagarse a todo el edificio, y saturar la atmosfera del mismo en cuestión de minutos.⁵⁴

Sistemas de control de humos en proyectos de arquitectura

El humo es un factor que dentro de un proyecto de arquitectura, puede cuantificarse, y controlarse. Al momento de diseñar el sistema contra incendios, no debe de dejarse de lado el control de humo como una parte vital para poder permitir la evacuación segura de los usuarios.

Se debe de recordar, que el humo no solamente es peligroso por inhalación de gases tóxicos, sino que por ser producto de una combustión incompleta, está cargado de partículas potencialmente explosivas, de tal manera que si se permite que el humo se propague de una manera no controlada, se llegara a expandir de tal manera que el riesgo de una explosión por ignición de gases se vuelve un peligro latente en todo momento.

El humo de combustión que se propaga de una manera descontrolada, expone a los usuarios y a los cuerpos de socorro a varios peligros, porque comúnmente la pluma toxica que emana de las llamas de la combustión, tiene aparte de gases tóxicos, vapores que se encuentran en altas temperaturas, los cuales pueden ocasionar quemaduras severas al contacto con la piel y vías respiratorias.

Habiéndose definido la forma en la que el humo se comporta en condiciones de incendio, comprender la manera en la que este actúa y se mueve proporciona al diseñador una herramienta útil para poder tratar con humo de incendios, porque nos permite proponer sistemas de extracción que sean eficaces, y a la medida de las necesidades.

Se debe de recordar, que para que el proceso de combustión tenga lugar, se necesita de combustible, comburente y oxígeno, de tal manera que cuando se propone un sistema de extracción de humo, no se refiere a perforar aberturas sin criterio, porque haciéndolo de esta manera, se incrementa el flujo de oxígeno, alimentando el proceso de combustión, y logrando un efecto contrario al que se desea.

Para controlar el humo en un proyecto de arquitectura, existen soluciones que parten desde principios simples del comportamiento de las nubes de humo, los cuales son:

- Ventilación forzada para extracción de humo
- Cortinas para conducción de humo

⁵⁴ NISTIR, A General Routine for Analysis of Stack Effect, General Services Administration, John H. Klote, Julio 1991

- Claraboyas
- Lucernarios

Estos métodos enumerados, pueden aplicarse a los proyectos de arquitectura para lograr un adecuado manejo de humos, permitiendo la extracción del humo y gases tóxicos de una manera segura, al mismo tiempo que se evita alimentar el incendio con aire de una manera descontrolada.

Sistema de Ventilación y extracción mecánica

Un sistema de ventilación y extracción mecánica es un sistema de control de humos que actúa en conjunto con detectores de humo fotoeléctricos (ver pagina 163), que al momento de detectar el oscurecimiento de la atmosfera, o cuando la central de incendios automatizada detecta la alarma, activa sistemas mecánicos de aspiración o de inyección.

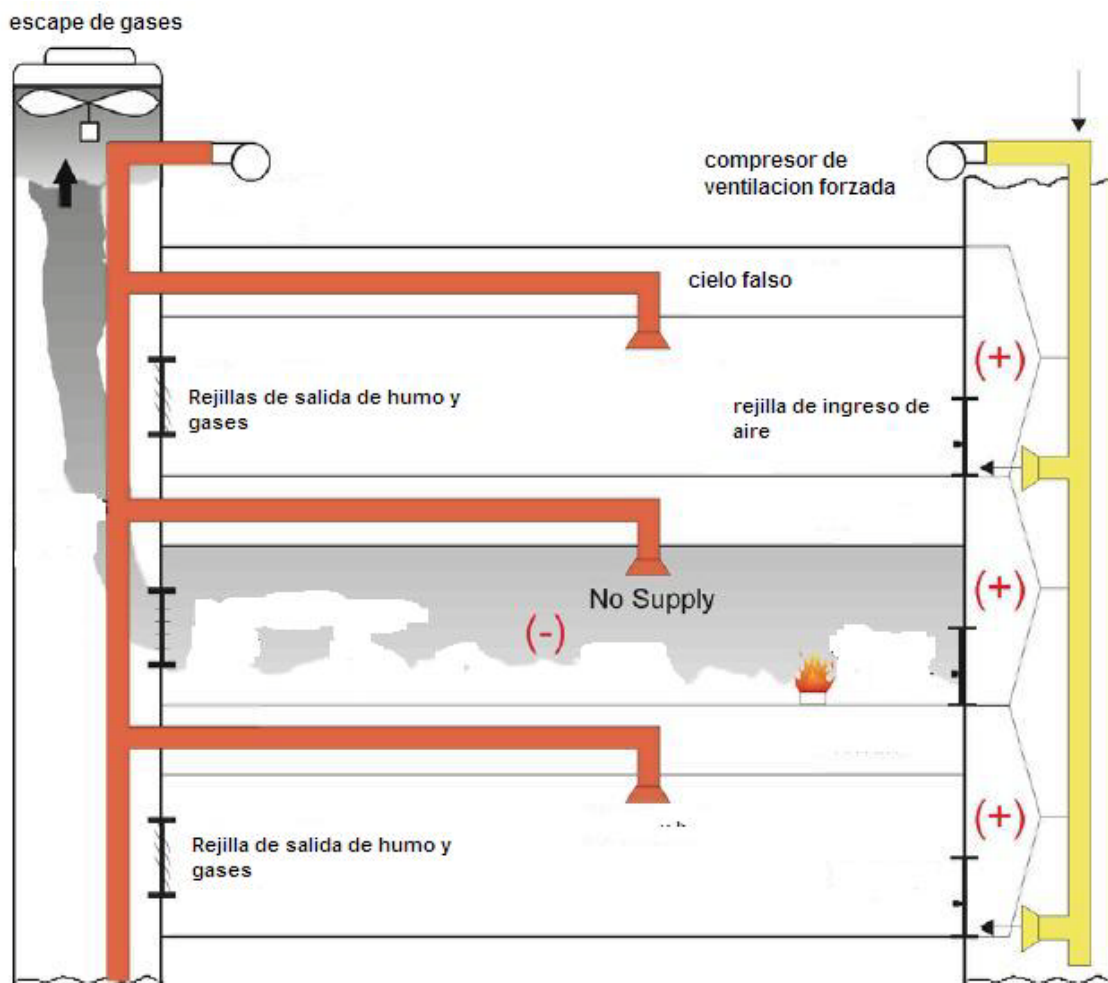


Ilustración 360, esquema de funcionamiento de un sistema de extracción de ventilación forzada, por inyección de aire y ductos extractores

Existen 2 posibilidades

- Un dispositivo mecánico entra en funcionamiento, succionando el humo y sacándolo de los sectores, por medio de un proceso de aspiración
- Un dispositivo mecánico inyecta aire a presión de tal forma que empuja al colchón de humo hacia salidas especialmente diseñadas, que succionan el humo, y lo expulsan hacia el exterior.

Los sistemas de ventilación forzada, son efectivos y rápidos para drenar cualquier cantidad de humo, los hay de diversas capacidades, y su montaje debe de ser especificado en planos, para que al momento de construir el proyecto, las aberturas donde el equipo extractor se colocara, estén sobre medida para un modelo en específico. Tienen el inconveniente que funcionan por medio de energía eléctrica, y el suministro de la energía debe de estar garantizado para su funcionamiento, por medio de líneas blindadas, lo cual puede incrementar costos al momento de proponer el sistema, aunque su costo se ve contrarrestado con su efectividad y rapidez de operación



Ilustración 361, Equipo de extracción por aspiración de humo

Los sistemas de aspiración, como el mostrado en la ilustración 361, oscilan en pesos que van desde 42 kilogramos hasta 472 kilogramos, debiéndose de prever el peso y el tamaño de los mismos, en la planificación para dejar el soporte estructural necesario para su instalación segura.

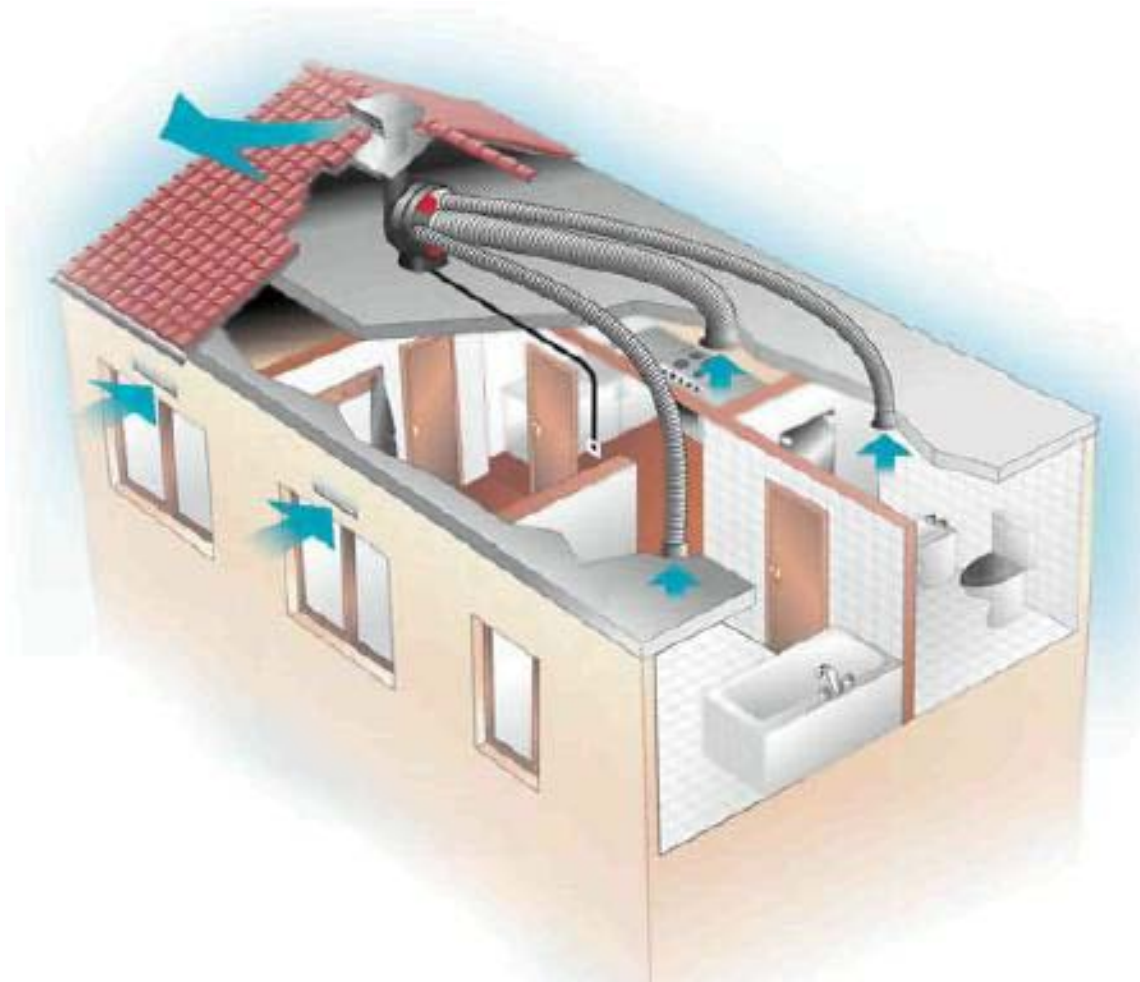


Ilustración 362, sistema de aspiración para humos, con unidad central de aspiración por medio de ductos

Potencia de equipos de aspiración y extracción de humos

De Acuerdo a normativa UNE EN 12101-3, los sistemas de aspiración deberán de tener una capacidad mínima de aspiración y de movimiento de aire, de $18 \text{ m}^3/\text{hora}$ por metro cuadrado de área del recinto a aspirar.

Debido a la temperatura de los gases que se encuentran en el colchón de humos, se debe de recordar que estos flotan por su elevada temperatura que los hace más livianos que el aire, los sistemas de extracción dotados, deberán de ser resistentes al fuego hasta un límite de 400°C durante 2 horas. ⁵⁵

El peso del montaje, así como los anclajes a dejar previstos, dependerán de las especificaciones del fabricante del equipo, así como el peso y las medidas del equipo a dotar.

⁵⁵ Normativa Europea UNE-EN 12101-3, Sistemas de control de humo y de calor, parte 3, Especificaciones para sistemas aireadores extractores de humo y calor mecánicos.

Cortinas y barreras flexibles para conducción de humos

Los sistemas de cortinas y barreras flexibles son sistemas de aislamiento de sectores donde se desarrolla el humo, que impiden la propagación de humos a un recinto completo.

Este tipo de elementos de control, han sido desarrollados y ensayados de tal manera que la resistencia al calor que ofrecen, va desde 30 minutos hasta 240 minutos, en rangos de hasta 300°C para las cortinas de restricción al humo, y hasta 1200°C en las cortinas de restricción al fuego. Son producto de aleaciones específicas que les confieren resistencia al fuego, así como estanqueidad al paso del humo.

Este tipo de sistemas de control de humo, actúan de 2 maneras diferentes, cada una con aplicaciones específicas para la configuración espacial que se trate.

- Confinamiento del humo a un sector determinado
- Dirección del flujo de humo hacia medios de evacuación

Confinamiento de humo a sectores de incendio

El confinamiento del humo en determinado sector, puede lograrse por medio de la instalación de barreras que no permitan la propagación del humo a todo el proyecto, por medio de retenerlo en un sector de incendio, que no necesariamente puede estar en llamas, pero puede darse el caso de que el sector arda en combustión debido a la ignición de los gases de incendio.



Ilustración 363, cortina resistente al fuego, durante ensayo normado de resistencia ASTM E119

Este tipo de cortinas, deben de funcionar con un sistema de aspiración o de extracción mecánico, y su aplicación puede darse en recintos donde la evacuación del humo de manera natural no pueda darse, sino mas bien sea necesario que se haga por medio de ventilación forzada, o por aspiración mecánica.

Cuando se protege un proyecto de arquitectura por medio de cortinas de humo, debe de preverse que la protección necesariamente tiene que ser aplicada a todos los puntos hacia donde el humo pueda avanzar, de tal manera que el humo pueda ser controlado, y que las rutas de evacuación queden libres y limpias para poder ser utilizadas de una

manera eficiente, de tal forma que el proceso sea rápido y seguro para el usuario, y permita alcanzar el exterior del edificio en condiciones de incendio.

Las cortinas de confinamiento de humo existen para varios tipos de aplicaciones, es decir, las hay para puertas con medidas estandarizadas, para sistemas de circulación vertical mecánica (gradas eléctricas), para aberturas en cielos y suelos confinando dobles y triples alturas, de tal manera que no queden puntos vulnerables o abiertos por donde el humo pueda propagarse a todo el edificio. Se debe de recordar que por efecto de diferencias de temperaturas, el efecto de arrastre que tiene lugar de una corriente de aire frío al aire caliente, es sencillo que por un punto que no esté cerrado, el humo sea succionado a todas partes donde exista aire a menor temperatura.

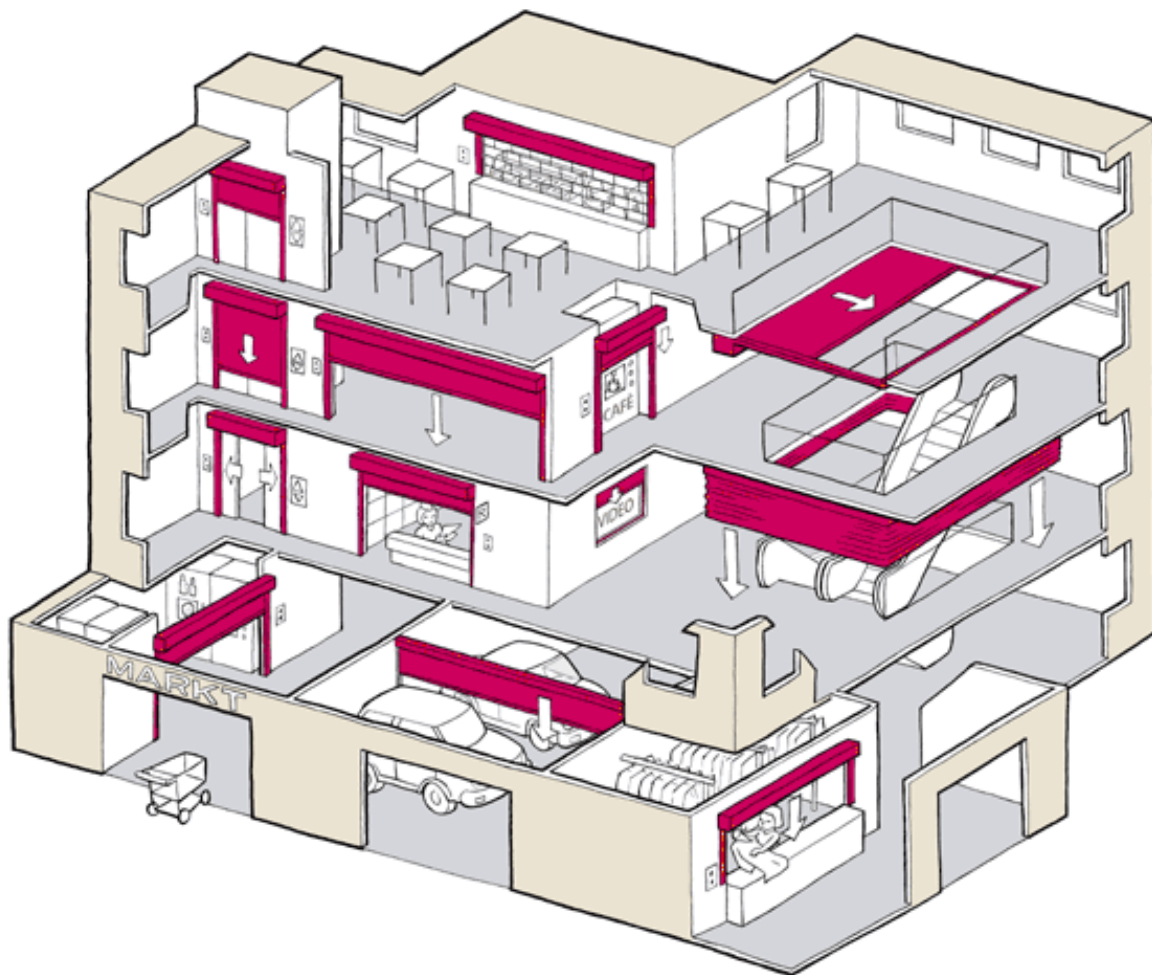


Ilustración 364, disposición de cortinas para humo, en diferentes posiciones y configuraciones espaciales, las cortinas deben de ser especificadas y posicionadas de tal manera que las rutas de evacuación queden expeditas y libres de cualquier filtración de humo. Las cortinas pueden ser posicionadas de forma horizontal, vertical e incluso inclinada, para ofrecer un adecuado aislamiento y confinamiento del humo y gases tóxicos. Las aplicaciones pueden ser en circulaciones verticales mecánicas, (puertas de ascensores y módulos de gradas eléctricas) en circulaciones horizontales peatonales o vehiculares, y en perforaciones en cielos tales como dobles alturas.

De esta forma es posible lograr que el humo permanezca en un solo recinto o sector de incendio, y que el sistema de aspiración mecánica o de ventilación forzada se encargue de la extracción del humo en altas temperaturas.

Las cortinas para confinación de humo, están dotadas de sistemas motorizados que permiten su rápido despliegue, (dado que el humo se propaga de una manera sorprendentemente rápida) de tal manera que la instalación de estas puede quedar oculta para que no sea chocante con respecto de la arquitectura y la estética de los proyectos. Las disposiciones de las mismas, también están específicamente diseñadas para cada caso, y son aplicables a la configuración del espacio al cual se desee proteger, de la siguiente manera:



Ilustración 365, cortina de posición vertical, para puertas



Ilustración 366, cortina de posición horizontal para dobles alturas

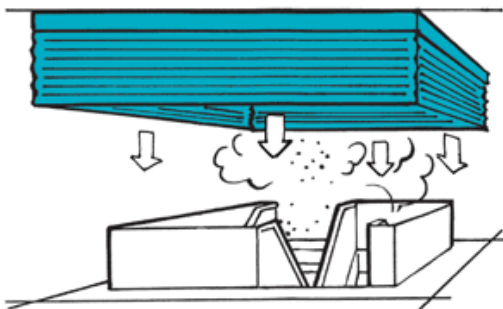


Ilustración 367, cortina poligonal, para circulaciones verticales

Al momento de planificar un sistema de cortinas de protección contra humo o contra fuego, se debe de tener en consideración que es necesario especificar en detalle el tipo de protección que estas deben de ofrecer, si es contra humo, o contra fuego y humo, y el rango de tiempo de resistencia que se necesita que resistan.

Dirección de flujo de humo hacia medios de evacuación

Una vez que se conoce la manera en la que el humo se comporta en condiciones de altas temperaturas, es posible utilizar la misma naturaleza ascendente del humo caliente, para confinarlo en determinados espacios donde podrá ser extraído por medios naturales o mecánicos.

El humo, al estar caliente, forma un colchón o una nube que sube hacia la parte superior de los recintos, y es este comportamiento, el que permite confinarlo por medio de cortinas o mamparas y dirigirlo de tal manera que pueda ser extraído por medio de extractores cenitales, o de lucernarios y claraboyas específicamente posicionados para este propósito.

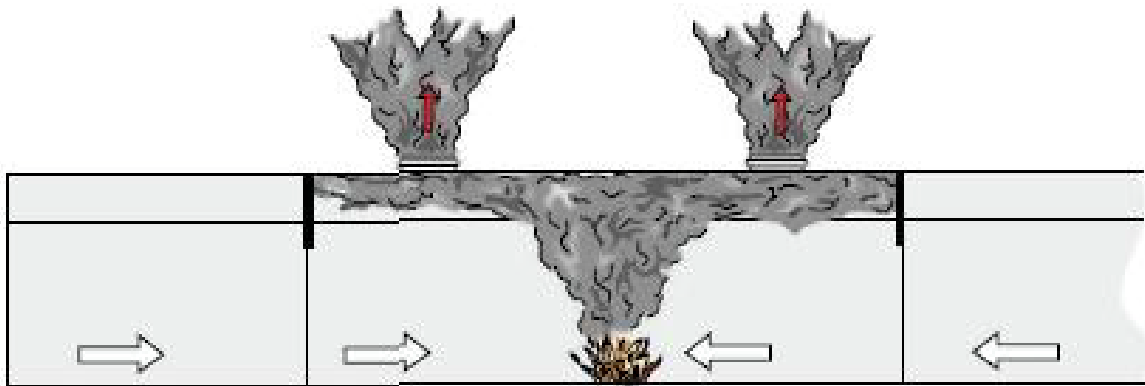


Ilustración 368, cortinas o mamparas para confinamiento y extracción de humo

Es posible de esta manera, extraer el humo por medios naturales, o con el auxilio de ventilación cruzada. Los elementos de confinamiento del humo, deben de estar localizados de tal forma que en el techo del ambiente, propicien la formación de un colchón de humo en un espacio determinado, donde este pueda estar contenido sin propagarse descontroladamente, y que pueda ser extraído o drenado.

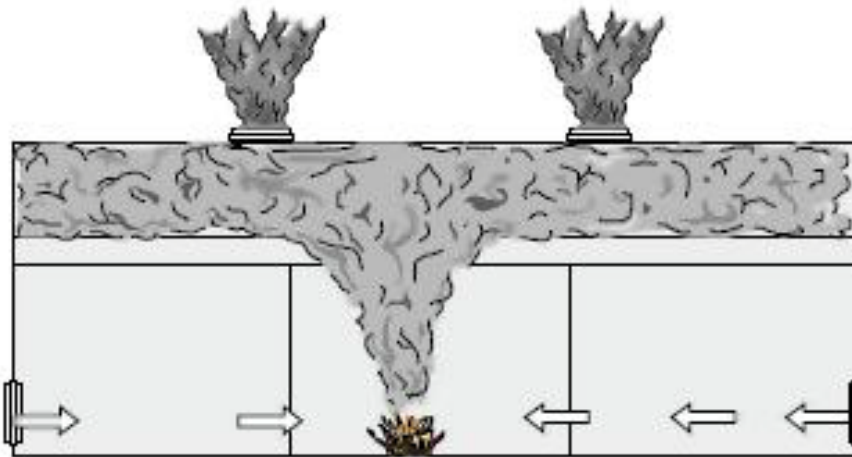


Ilustración 369, cortinas o mamparas para extracción de humo, con sistema de inyección inferior de aire

Este efecto puede ser logrado también por medio de inyectar aire en la parte inferior del sector incendiado, de tal manera que el aire crea una sobrepresión que ayuda a mantener el humo flotando en un lugar superior, y sea obligado por

diferencia de presiones, a salir del recinto, o por efecto de arrastre, el aire frío del exterior ayude a sacar del ambiente el humo que tiene mayor temperatura.

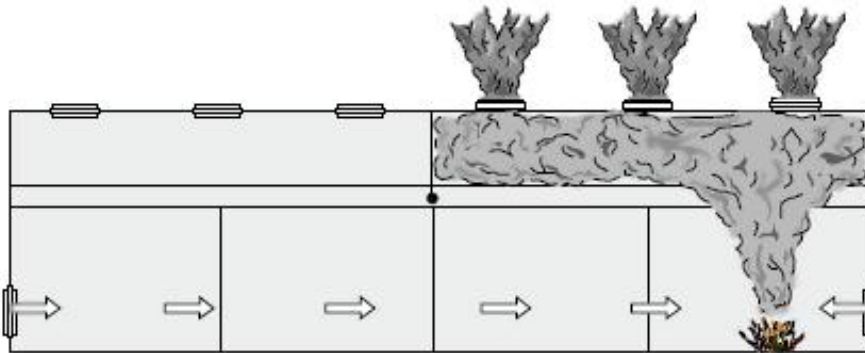


Ilustración 370, funcionamiento de una cortina o mampara para extracción de humo, se puede confinar o direccionar el flujo del humo hacia los puntos donde se localicen los medios de extracción, mecánicos o naturales



Ilustración 371, cortina fija para confinamiento y extracción cenital de humo de incendio, la localización de esta permite la formación del colchón de humo de tal manera que pueda ser extraído por lucernarios o por extractores o exutorios.

debe de existir un medio de extracción cenital para que estos sean funcionales. Un sistema de mamparas no funcionara de manera óptima o correcta en conjunto con un sistema de inyección de aire lateral, o de extracción lateral, debido al carácter parcial de la barrera que confina el humo dentro de un recinto o un sector de incendio.

de esta manera, al posicionar los elementos de dirección de humo en la parte superior de los ambientes, se puede lograr que valiéndose del movimiento del

humo en los sectores incendiados, este sea encausado directamente hacia los puntos a donde pueda ser evacuado de una manera eficiente, sin permitir que se propague de una manera descontrolada hacia cualquier otra parte del sector de incendio.

Este tipo de sistemas, tienen la limitante que pueden ser utilizados

únicamente en cubiertas finales, porque necesariamente

Control y manejo de humo en Atrios y Vestíbulos de múltiples alturas

En arquitectura, es común que por razones de diseño, grandes áreas como vestíbulos o atrios sean parte del proyecto. Desde el punto de vista arquitectónico, este tipo de ambientes permiten la integración de varias alturas a un punto en común, aparte de ofrecer una sensación espacial y una escala que varía desde grande, hasta monumental o aplastante, dependiendo del carácter del diseño arquitectónico que se desee dar.

Desde el punto de vista protección contra incendios, los atrios o los vestíbulos de alturas múltiples que comunican varias plantas son uno de los puntos vulnerables para la protección contra incendios, porque desde ellos la propagación del humo hacia todo el proyecto es inminente. Los balcones que tienen vista hacia atrios o vestíbulos de múltiples alturas son elementos que permiten la propagación de humo de una manera rápida hacia todos los sectores del proyecto.

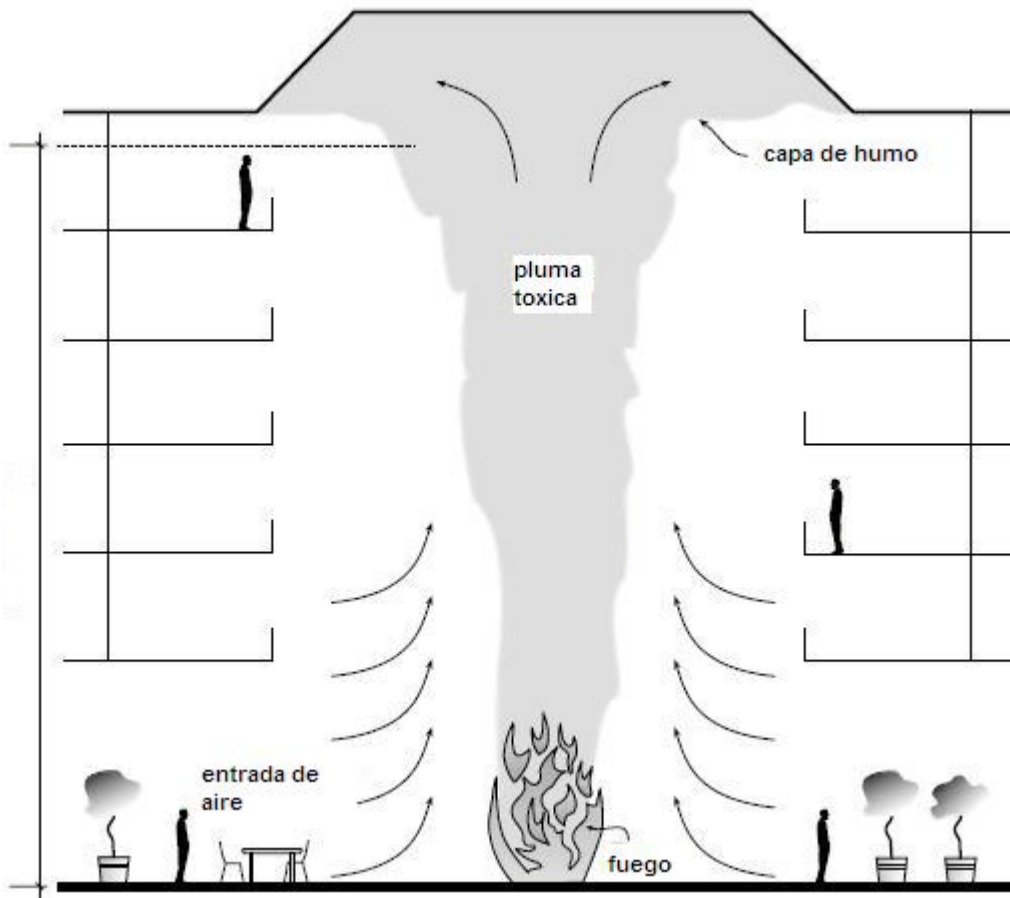


Ilustración 372, comportamiento del humo en atrios o vestíbulos de múltiples alturas

Esto no significa que la arquitectura deba de ser limitada, sino mas bien, se debe de tener en cuenta al momento de diseñar un atrio de multiplex alturas, que se debe también de pensar en la manera en la que el humo actuara en determinada configuración espacial como lo es un atrio o un vestíbulo de múltiples alturas. NFPA 92B establece parámetros a cerca del optimo posicionamiento de elementos de extracción de humo, para que al momento de diseñar y se contemple el espacio de un atrio o un vestíbulo de múltiples

alturas, este pueda planificarse de manera segura, de tal forma que no resulte en un elemento que ponga en peligro la integridad contra incendios de todo el proyecto.

El humo que penetra en un atrio esta contenido dentro de un recinto de varias plantas de altura. El volumen de humo producido aumenta con la altura de elevación de la columna de humo. Por lo tanto, quienes ocupen los niveles superiores de edificios que cuenten con atrios, pueden verse afectados por una acumulación de humo en su

espacio a un ritmo mucho más rápido que aquellos que ocupan los niveles inferiores o de quienes estén en un edificio con una altura de techo más común. Es necesario que el arquitecto al momento de planificar y proponer, se asegure de que la incorporación de un atrio en un edificio no presenta un riesgo añadido para la seguridad del usuario a consecuencia de la propagación del humo y del fuego.

Existen soluciones para permitir el diseño de atrios dentro de rangos y límites seguros, donde el riesgo se vea minimizado de tal forma que no presente una amenaza para el usuario.

Como ya se ha dicho, el humo

por diferencia de temperaturas, tiende a ascender hacia la parte más

alta del techo del ambiente en el que se encuentre. Al momento de ascender, se mezcla

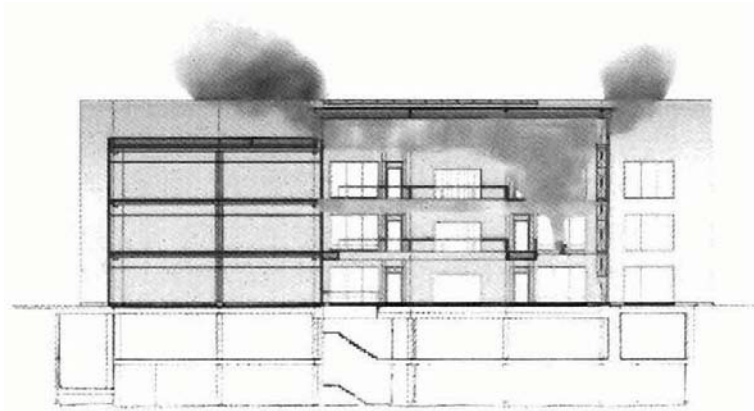


Ilustración 373, extracción de humo desde un atrio por elementos laterales

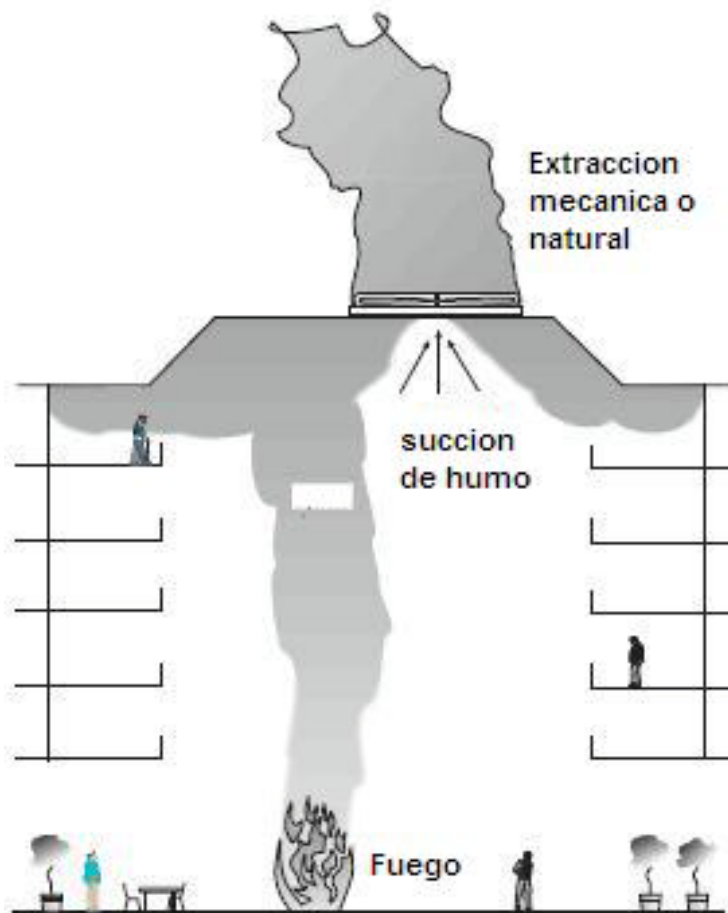


Ilustración 374, ejemplo de uso de extracción mecánica central por medio de ventiladores

con el aire, de tal forma que aumenta su volumen. Se debe de recordar entonces que es necesario ofrecer en estos puntos, la salida del humo y de los gases, por medio de proveer de medios de escape ya sea mecánicos o automáticos, situados en la cubierta de los atrios, de tal manera que al momento de formarse la nube de humo, exista la posibilidad de que esta pueda salir, sin acumularse en la parte superior y propagándose a todo el edificio.

En cuanto a los balcones, son elementos que al momento de existir una corriente de humo ascendente, pueden desviar el flujo y contribuir a direccionarlo hacia los medios de extracción o salida, por este motivo, debe de diseñarse los muros en balcones con determinada resistencia al fuego, teniendo en cuenta que tanto el humo como los gases que van en la pluma toxica, transitan con elevadas temperaturas.

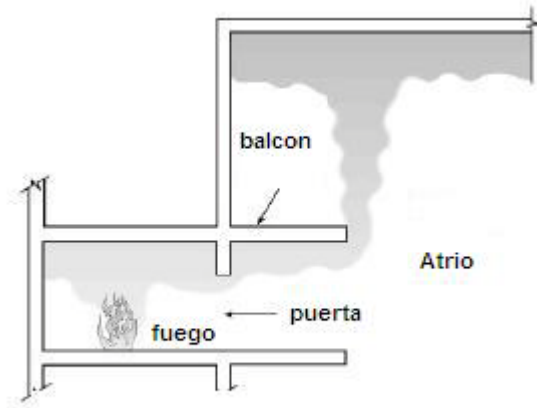


Ilustración 375, Los elementos arquitectónicos como balcones o muros bajos, pueden ayudar a direccionar un flujo de humo hacia el punto de extracción

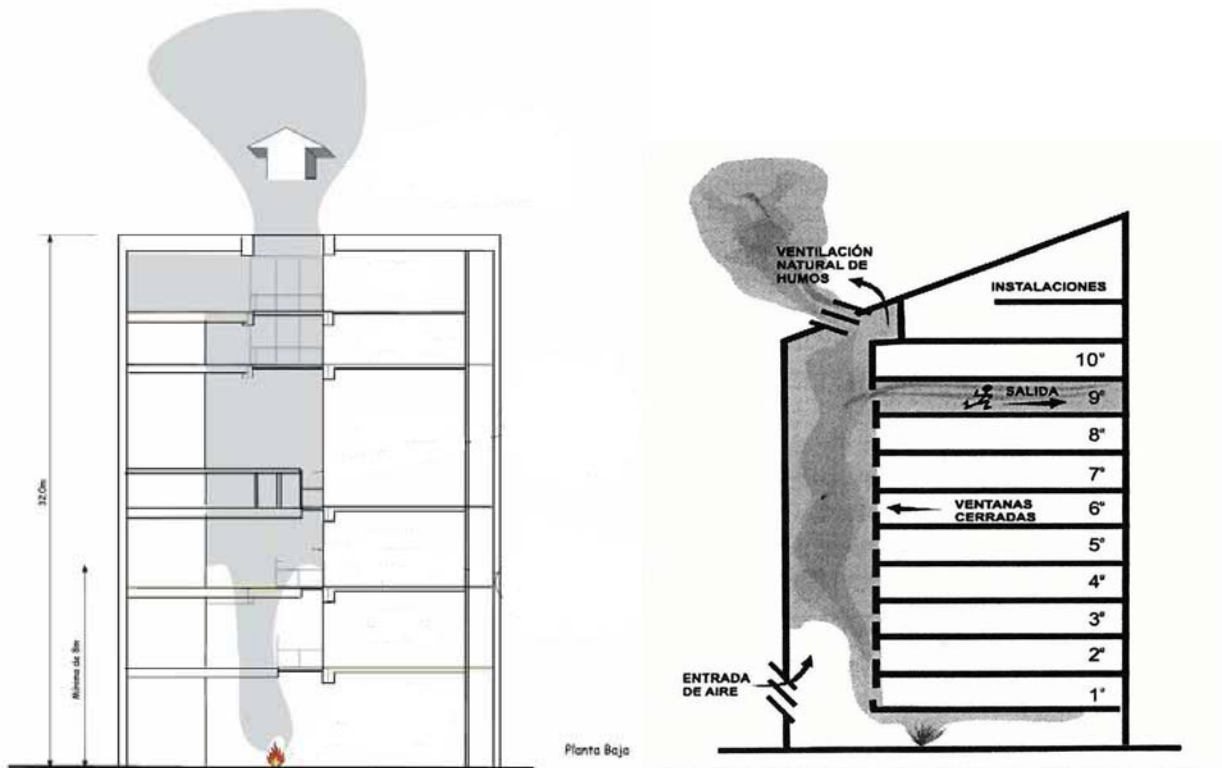


Ilustración 376, La alternativa de la succión natural es otra manera de lograr extracción de humos en atrios y vestíbulos de alturas múltiples, por la diferencia de temperaturas se logra un efecto de arrastre que puede extraer el humo de manera natural sin procesos mecánicos

Existen 2 formas básicas de prevenir la propagación de humo desde un atrio, las cuales deben de tomarse en consideración:

- Aislar del atrio las cargas de fuego por medio de elementos constructivos con resistencia al fuego
- Controlar el humo en los puntos de concentración o de acumulación por medio de extracción forzada

Es posible que en determinados momentos, las personas en condiciones de evacuación deban de atravesar un atrio que por algún motivo contenga humo de incendio a pesar de que existan sistemas de extracción de humos. Es aceptable de acuerdo a parámetros calculados, que exista una atmosfera de humo diluida, donde exista una temperatura máxima de 60°C, y el margen de visibilidad sea a una distancia de por lo menos 10 metros. Bajo estas condiciones es posible lograr una evacuación de una manera segura. Cuando existan elementos que atraviesan múltiples alturas, es recomendable que se tenga en consideración dejar la posibilidad de sellar estos espacios por medio de vidrios a prueba de fuego, o por medio de cortinas contra humo, de tal manera que cuando sea necesaria una evacuación, tales elementos puedan ser transitados de una manera segura.



Ilustración 377, Palacio de la justicia, Valencia, España

el diseño contra incendios en áreas tales como atrios y vestíbulos de múltiples alturas, puede ser logrado de manera efectiva, cuando el diseño arquitectónico va de la mano con la planificación contra incendios. Es posible utilizar distintos tipos de configuraciones arquitectónicas y de elementos de arquitectura para proteger los recintos y permitir un correcto y adecuado manejo de humo dentro de ellos.

Para lograrlo, existen varios dispositivos tanto automatizados como mecánicos e incluso manuales, que deben de incorporarse como parte del sistema de extracción y manejo de humos, sin interferir por ello con la arquitectura y la estética del proyecto.

Accesorios para extracción de humos

Existen varios tipos de accesorios que pueden ser especificados en el diseño contra incendios, de tal manera que se adapten específicamente a las necesidades del proyecto, y a la configuración espacial del mismo, así como al posicionamiento y montaje final de estos equipos.

Los accesorios para extracción de humos se dividen en

- Extracción mecánica
- Extracción natural

Los equipos de extracción natural de humo confían en los factores ambientales para mover el humo hacia exterior de los espacios ocupados, mientras que los equipos mecánicos utilizarán energía desarrollada por sistemas mecánicos y energía eléctrica para mover el humo a través de los caminos predeterminados para evacuación, o hacia el exterior de espacios ocupados.

Equipos de Extracción Mecánica

Los equipos de extracción mecánica, son ideales para determinado tipo de condiciones. Están constituidos por

- ventiladores
- extractores

Ambos tipos de equipos funcionan con energía eléctrica, por lo que para su funcionamiento en condiciones de incendio es necesario contemplar que el flujo de

energía eléctrica que los alimenta debe de ser ininterrumpido, por consiguiente se debe de especificar que las líneas de alimentación para este tipo de equipos deben de ser instaladas dentro de ductos resistentes al fuego, de tal manera que se garantice su funcionamiento al momento de accionarlos.

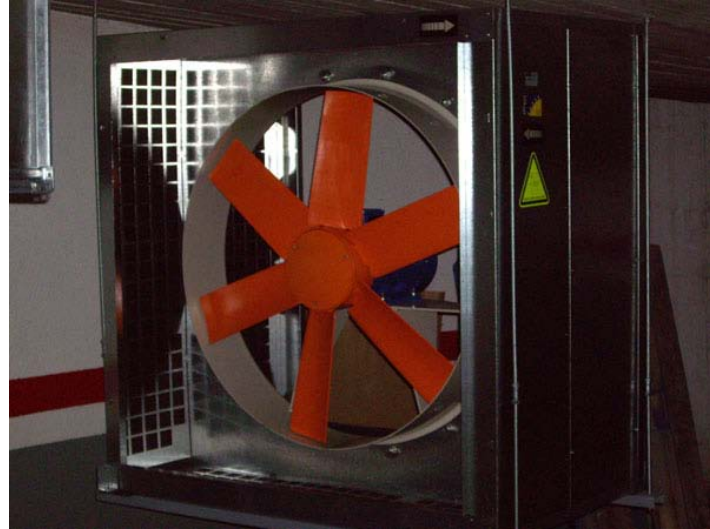


Ilustración 378, equipo ventilador con ducto de extracción



Ilustración 379, extractor cenital y ventilador horizontal

Un equipo de ventilación y extracción mecánica, debe de ser capaz de drenar el humo contenido en un ambiente, para permitir el tiempo de evacuación necesario. Normativas internacionales han proporcionado parámetros de succión mínima que estos deben de cumplir, a razón de 18 metros cúbicos por hora por metro cuadrado de área del recinto que están drenando.



En general, los equipos de extracción mecánica, deben de tener la posibilidad de trabajar durante un rango mínimo de por lo menos 2 horas, o hasta el paro manual al momento de extinguirse el incendio o el humo dentro de determinados recintos.



Ilustración 381, equipo de extracción electromecánico para azoteas y para sótanos

Accesorios para extracción Natural

La extracción de humo puede ser de manera natural. Como ya se ha mencionado, la diferencia de temperaturas tiene un efecto de arrastre natural, donde el aire frío atrae al aire caliente, succionándolo y haciéndolo moverse por diferencia de densidades.

Para proyectos de arquitectura, existe también la alternativa de hacer la extracción por medio natural, habiendo para este propósito determinados accesorios que pueden formar parte de fachadas, muros acristalados, cubiertas transparentes, e integrarse completamente a un proyecto de arquitectura, sin ser notados, o que se vean como instalaciones poco agradables a la vista.

Esto se puede lograr por medio de la instalación de

- claraboyas
- lucernarios
- escotillas

La extracción natural a pesar de no necesitar de un flujo de energía constante, y ser por ello más económica, tiene el inconveniente que depende del factor clima para ser efectiva, así como de su correcto posicionamiento. Puede ser instalada únicamente para extracción en pisos finales, en atrios o vestíbulos de múltiples alturas, o en fachadas para funcionar de una manera optima

Debido a que no depende de energía eléctrica y únicamente depende de factores climáticos, se debe de tener cuidado al planificar la extracción natural, para que esta permita el tiempo de evacuación necesario. Como parámetro de dimensionamiento, la mínima medida aceptable para extracción natural, es de 2 metros cuadrados por elemento.



Ilustración 382, Accesorios de extracción natural de humos y gases, para colocación en lucernarios y cubiertas

Rutas de evacuación, Diseño, Dimensionamiento y Protección contra incendios

El arquitecto al momento de diseñar un proyecto de arquitectura, debe de pensar en el posible escenario de una evacuación, por diversos tipos de emergencias, ya sea climático, sísmico, o por fuego. El diseño de las rutas de evacuación, tiene varios enfoques, y para su planificación, se debe de evaluar su desempeño, rendimiento y resistencia desde todos los enfoques posibles, para tener como resultado un diseño de altas prestaciones que sea funcional en todo momento. El enfoque que se toma como referencia para los efectos de este documento es de rendimiento y desempeño en condiciones de incendio, pero *bajo ninguna circunstancia se debe de menospreciar ni pasar por alto el análisis arquitectónico, antropométrico, mecánico y estructural al momento de planificar los medios de escape,* haciendo la aclaración que en este caso en particular se dan parámetros únicamente de resistencia y protección al fuego, por ser esta la delimitación del tema de estudio.



Cuando se activa una alarma de incendio, instintivamente el usuario entrara en estado de alerta y buscara la manera de salir de donde se encuentre, para ponerse a salvo. Es una respuesta natural ante una señal que advierte de peligro.

El diseño del sistema contra incendios debe de contemplar los medios de salida, dado que la evacuación del recinto en llamas es la mejor forma de proteger al usuario.

Las rutas de evacuación están constituidas por 3 partes integrales

- un tramo horizontal hasta un modulo de gradas (Escape Horizontal)
- una ruta vertical gradas hacia abajo o gradas hacia arriba, según sea el caso (Escape Vertical)
- un tramo horizontal final hacia la salida

el trayecto a través de la ruta de evacuación debe de realizarse con pasos comunes que en todo momento se encuentren libres de cualquier obstrucción, contaminación, fuente de

peligro, y no debe de pasar por locales de uso diferenciado que interrumpan el flujo de evacuación.

La ruta de evacuación debe reunir en todo momento los siguientes requisitos

- protección contra el fuego y resistencia al calor
- iluminación permanente, sin ser deslumbrante para el usuario
- señalización permanente, clara hacia la salida
- atmosfera inerte, limpia y libre de contaminantes
- suficiente área de paso para el uso simultaneo de los ocupantes.
- Espacio de maniobrabilidad para personas con capacidades diferentes (discapacitados)

Las gradas de emergencia, que son el medio de salida por el cual serán evacuados todos los niveles de un edificio, deben de ser ambientes seguros para el usuario que sale de las instalaciones, y debe de recordarse también que en determinados tipos de sistemas, las gradas de emergencia se convierten en un ambiente que puede ser utilizado de una forma segura para los cuerpos de emergencia que atienden la extinción de un incendio.

Cuando se planifica una ruta de evacuación, el proceso a seguir es el siguiente

- Calculo y Dimensionamiento de la ruta de evacuación
- Análisis y calculo de tiempos de evacuación
- Calculo del blindaje contra fuego a proveer, en función del tiempo

Cálculo y Dimensionamiento de Rutas de Evacuación

El cálculo y dimensionamiento de rutas de evacuación, debe de permitir y proveer:

- Ancho suficiente para maniobras de los cuerpos de emergencia
- Eficiente evacuación de los usuarios, de una manera simultanea

Las rutas de evacuación, como ya se ha comentado, se dividen en.

- Ruta de Escape Horizontal
- Ruta de Escape Vertical

Ambas componentes del sistema de escape, deben de ser calculadas a partir de la cantidad de usuarios que serán evacuados, y de acuerdo a códigos que restringen y norman de acuerdo a parámetros previamente calculados y sometidos a pruebas experimentales u observación en casos de incendio real.

Dimensionamiento de Rutas de Escape Horizontal

Se define como rutas de escape horizontal, los elementos tales como pasillos y corredores, que en condiciones de emergencia, son utilizados para llegar hacia las salidas de emergencia, cuando se trata de una planta en primer nivel, y se utilizan para canalizar el flujo de usuarios en evacuación hacia las rutas de escape verticales, cuando se trata de evacuar plantas a partir de segundos niveles, donde se hace necesario alcanzar otro

elemento que comunicara finalmente al usuario con la salida o el punto de reunión seguro, según sea el caso específico.

De acuerdo a lo establecido por el código BS 9999:2008, una ruta de evacuación horizontal debe de estar situada de tal manera que una persona que huye del fuego pueda correr y hacer un escape seguro a través de una salida alterna. Esta ruta, debe de estar todo el tiempo libre de cualquier tipo de obstáculos que puedan causar retrasos, especialmente a las personas con capacidades diferentes, tales como cambios de nivel, o puertas que sea difícil abrirlas.⁵⁶

De la misma manera, el código BS 9999:2008, establece como mínimas dimensiones validas para pasillos y rutas de evacuación las contenidas en la siguiente tabla

Anchos para rutas horizontales y puertas	
máximo número de usuarios	ancho mínimo, en centímetros
50	75
100	85
150	95
220	105
más de 220	0.5 por persona adicional

Tabla 42, dimensiones mínimas de acuerdo a los usuarios, para rutas de evacuación horizontales y puertas en las rutas, tabla de elaboración propia, datos obtenidos de Fire Safety Building Regulations, Technical Guidance Document, pagina 32, Edición 2006, Department of the environment, heritage and local government, Dublín, Irlanda.

Cuando se necesite hacer cálculos más precisos de acuerdo a las necesidades de la arquitectura del proyecto, puede hacerse por medio del método de la carga ocupacional. El código internacional de construcción (IBC, por sus siglas en ingles) proporciona parámetros de cálculo que son más precisos cuando se necesita determinar el ancho de las rutas horizontales, de acuerdo al área de piso de los ambientes, y de acuerdo al uso y ocupación del espacio.⁵⁷

Para calcularlo, se parte desde la carga ocupacional del proyecto, y se divide el área del piso en pies cuadrados, dentro del coeficiente que establece la tabla, esto nos dará como resultado la carga ocupacional. IBC establece que para el dimensionamiento de rutas de evacuación horizontal, se debe de multiplicar la carga ocupacional, por 0.3, el producto de esta multiplicación sera el ancho de la ruta horizontal, en pulgadas. Se debe de tener especial cuidado en el uso de la correcta conversión de unidades. Si se desea el

⁵⁶ BSI, British Standards, Code of Practice for fire safety in the design, management, and use of buildings, British Standards, edición 2008

⁵⁷ ICC, International Building Code, IBC, edición 2009

resultado en metros, el área debe de ser ingresada en metros, y el parámetro de la tabla debe de ser convertido de pies cuadrados a metros cuadrados. Un pie cuadrado equivale a 0.0929 m².

Máximo uso de superficie permitido por usuario		
Función del ambiente o Espacio	área de piso por usuario	
	Pies ²	Metros ²
áreas de almacenaje de accesorios, cuartos de equipo mecánico	300	27.87
construcciones de uso agrícola	300	27.87
hangares para aeronaves	500	46.45
terminales de aeropuertos		
área de reclamo de equipaje	20	1.858
área de manejo de equipaje	300	27.87
áreas de espera	15	1.3935
aduanas y áreas de cola y registro	100	9.29
Lugares de Reunión		
pisos de áreas de juego	11	1.0219
áreas de reunión concentrada con sillas no fijas	7	0.6503
espacios con actividades de pie	5	0.4645
áreas de reunión no concentrada, con sillas y mesas no fijas	15	1.3935
áreas de boliche	7	0.6503
áreas de negocios	100	9.29
tribunales, con asientos fijos	40	3.716
áreas de cuidado de día	35	3.2515
dormitorios	50	4.645
Edificios educacionales		
salones de clases	20	1.858
cafeterías y laboratorios	50	4.645
gimnasios	50	4.645
áreas de fabricación y manufacturación	200	18.58
áreas industriales	100	9.29
áreas institucionales		
áreas de tratamiento hospitalario	240	22.296
áreas de tratamiento ambulatorio	100	9.29
áreas de encamamiento	120	11.148
cocinas comerciales	200	18.58

bibliotecas		
áreas de lectura común	50	4.645
áreas de fondos	100	9.29
áreas de rockeros	50	4.645
áreas mercantiles		0
áreas a nivel de piso	60	5.574
sótanos y áreas sobre nivel de piso	30	2.787
bodegas, almacenaje y áreas de despacho	300	27.87
parqueos	200	18.58
uso residencial	200	18.58
pistas de patinaje, pistas de natación y piscinas bajo cubierta		
Pistas de Patinaje y piscinas	50	4.645
piscinas bajo cubiertas	15	1.3935
escenarios y plataformas	15	1.3935
bodegas	500	46.45

Tabla 43, coeficientes de ocupación para calculo de carga de ocupación, tabla de elaboración propia, datos obtenidos de IBC, edición 2009

Cuando se trata de un recinto localizado a nivel de suelo, debe de estar dotado de un número de salidas de emergencia, para ser usados al momento de la evacuación. Lo mismo sucede con recintos ubicados en los diferentes niveles que puede tener un proyecto de arquitectura. Es necesario dotar de salidas de emergencia hacia exteriores o hacia gradas de emergencia, para hacer efectivo y expedito el proceso de evacuación en condiciones de incendio.

El código IBC establece que para una cantidad “x” de usuarios, corresponde una cantidad “y” de salidas de emergencia, de la siguiente manera

Cantidad mínima de salidas de emergencia por cantidad de usuarios	
Número de usuarios por nivel	Número mínimo de salidas por nivel
de 1 a 500 usuarios	2
de 501 a 1000 usuarios	3
más de 1000 usuarios	4

Tabla 44, Cantidad mínima de salidas de emergencia por cantidad de usuarios, tabla de elaboración propia, datos obtenidos de IBC, edición 2009

Esta cantidad de salidas de emergencia es el mínimo del que se debe de dotar a cualquier proyecto, para lograr una evacuación eficiente dentro de los límites de tiempo seguros y razonables. El ancho de las salidas de emergencia, se calculara también de acuerdo a la carga de ocupación, con el mismo procedimiento que se utiliza para el cálculo de ancho de rutas de evacuación horizontal. Para este ancho, Fire Safety Building

Regulations, el código de Irlanda, establece algunas dimensiones mínimas que pueden servir de parámetro rápido de referencia, consultar tabla en pagina 414.

Máxima distancia reglamentaria de Escape Horizontal

Si bien el ancho de las rutas de evacuación es una dimensión importante, la distancia horizontal juega también un papel crucial en la evacuación de un recinto en condiciones de incendio. Existe de acuerdo a parámetros normados, distancias que están consideradas como máximas hacia donde se debe de encontrar la salida de emergencia más próxima, es decir, estas distancias, deben de ser asumidas como el radio de acción o de cobertura de una salida de emergencia para el usuario, la distancia lineal que una salida de emergencia puede proteger efectivamente.

Las distancias máximas distancias recopiladas en la tabla de abajo, deben de ser

Máximas distancias longitudinales hacia salidas de emergencia, en metros		
uso del espacio	máxima distancia de recorrido hacia salidas disponibles	
	en una dirección	en más de una dirección
residencial (institucional)	10	20
Edificios de dormitorios	10	20
corredores de dormitorios	10	35
reunión y recreación		
aéreas con asientos en filas	15	32
otras aéreas	18	45
edificios de uso por personas con capacidades diferentes	9	18
industrial		
industrial de riesgo normal	25	45
industrial de riesgo alto	12	25
almacenaje		
riesgo normal	18	45
riesgo alto	15	32
parqueos	18	45
otros usos no residenciales	18	45
lugares con riesgo especial de incendio	9	18
últimos pisos o azoteas		
evacuación dentro del ambiente	9	35
	18	45
distancia total (dentro de espacio protegido)	18	45
distancia total (recorrido al aire libre)	60	100

Tabla 45, Máximas distancias permisibles tabla de elaboración propia, datos obtenidos de Fire Safety Building Regulations, Technical Guidance Document, pagina 27, Edición 2006, Department of the environment, heritage and local government, Dublín, Irlanda.

asumidas en las diferentes configuraciones espaciales en función del diseño arquitectónico, donde este proceso de diseño, debe permitir que la ruta sea lo mas expedita y lineal posible, de tal forma que se eviten recorridos que contengan puntos donde la confluencia de 2 diferentes flujos de personas haga ineficaz el dimensionamiento y cree un punto de saturación en la ruta de escape horizontal.

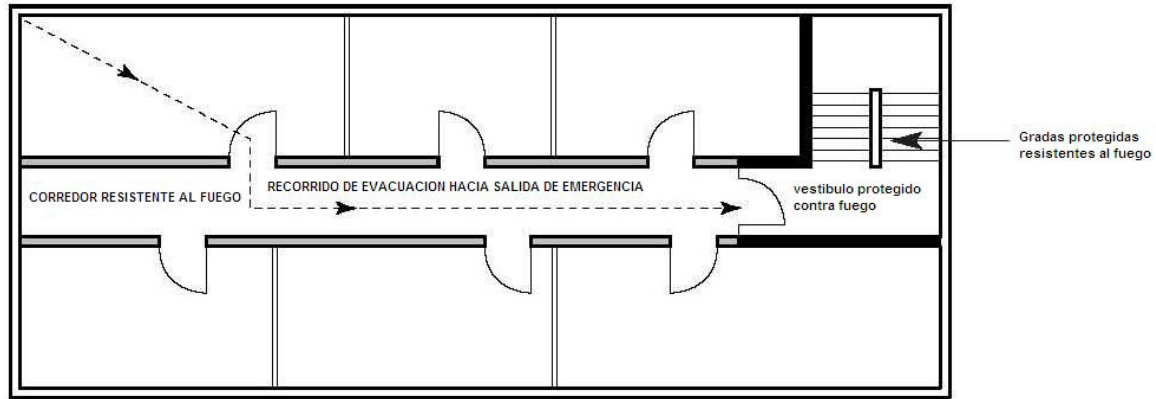


Ilustración 383, ruta de escape horizontal protegida contra fuego, en un solo sentido, la línea punteada representa la distancia normada reglamentaria que debe asumirse en condiciones de evacuación, imagen obtenida de Fire Safety Building Regulations, Technical Guidance Document, pagina 26

Cuando existe un arreglo o configuración espacial donde hay mas de 1 salida de emergencia hacia una ruta de escape vertical, el recorrido horizontal que debe de hacerse, en más de una dirección de acuerdo a la tabla de la pagina 417, debe de asumirse de la forma representada en la ilustración 384

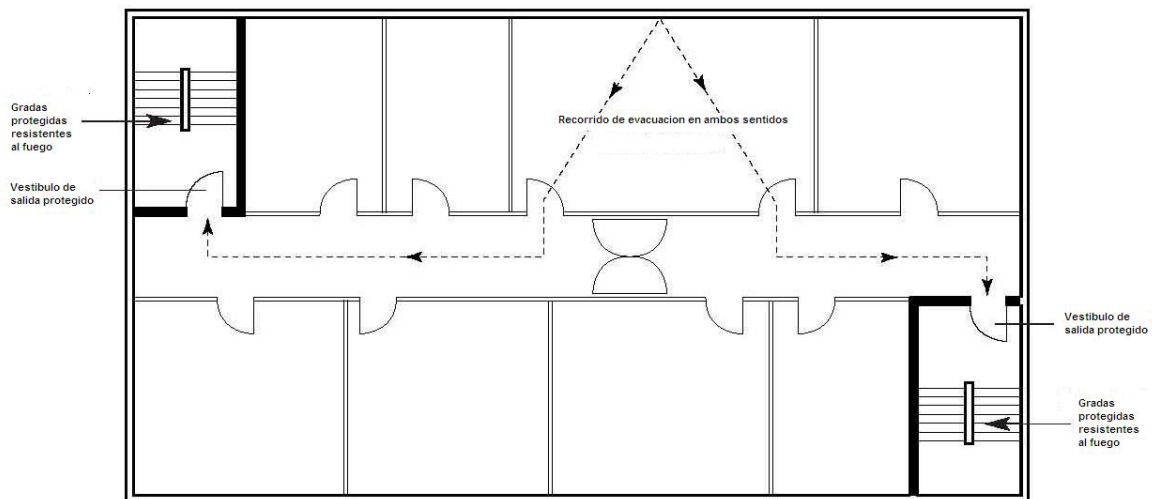


Ilustración 384, ruta de escape horizontal protegida contra fuego, en un mas de un sentido, la línea punteada representa la distancia normada reglamentaria que debe asumirse en condiciones de evacuación, imagen obtenida de Fire Safety Building Regulations, Technical Guidance Document, pagina 26

En un diseño arquitectónico donde se planifique un espacio de permanencia al aire libre en una azotea, la tabla de la pagina 417 establece parámetros de distancias normadas mínimas hacia las rutas de evacuación y escape vertical. La entrada a esta ruta, en todo momento debe de permanecer cerrada, evitando la entrada de aire, por medio de una puerta y una exclusiva de ingreso a las gradas, de la forma representada en la ilustración 385

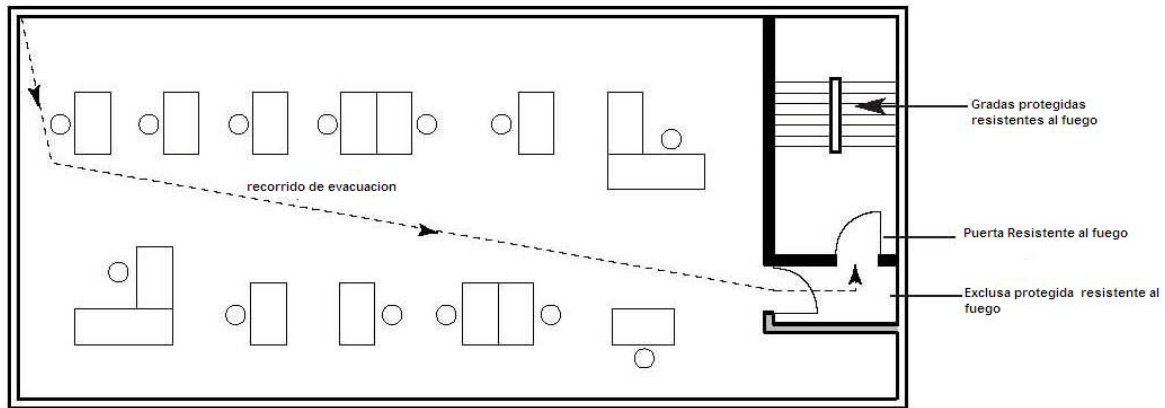


Ilustración 385, ruta de escape horizontal en ambientes expuestos al aire libre, en 1 sentido, la línea punteada representa la distancia normada reglamentaria que debe asumirse en condiciones de evacuación, imagen obtenida de Fire Safety Building Regulations, Technical Guidance Document, pagina 26

Cuando se trate de evacuación a través de sectores de incendio, se debe de recordar, que estos necesariamente estarán confinados por medio de muros compartimentadores resistentes al fuego. Estos deben de estar dotados de puertas resistentes al fuego, de tal manera que si por propagación del fuego uno de los sectores imposibilitara el escape hacia una de las rutas verticales, pueda tenerse acceso a la otra para lograr la evacuación, de la manera representada en la ilustración 386. Se debe de notar, que siempre y en todo momento las gradas de evacuacion necesariamente deben de permanecer aisladas por medio de un vestíbulo o exclusiva que permita que estas no pierdan el sello ante eventuales contaminaciones por humo o gases tóxicos.

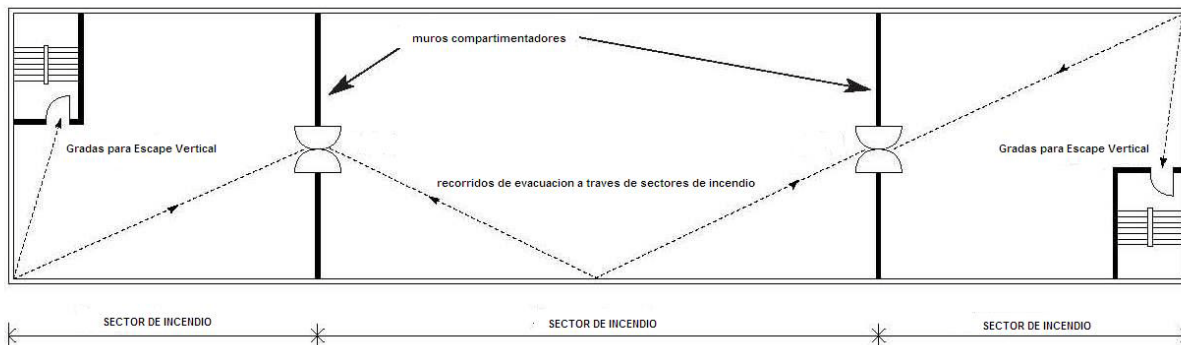


Ilustración 386 ruta de escape horizontal en sectores compartimentados, en 2 sentidos, la línea punteada representa la distancia normada reglamentaria que debe asumirse en condiciones de evacuación, imagen obtenida de Fire Safety Building Regulations, Technical Guidance Document, pagina 26

Cuando la arquitectura de los proyectos contenga dentro del diseño áreas que se encuentren en mezzanines, las distancias hacia las salidas de emergencia, atraviesen o no rutas de escape horizontal, deben de tomar en cuenta que la sumatoria de las distancias ABCD contenidas en la ilustración 387, no debe en ningún momento sobrepasar los límites contenidos en la tabla de la pagina 417

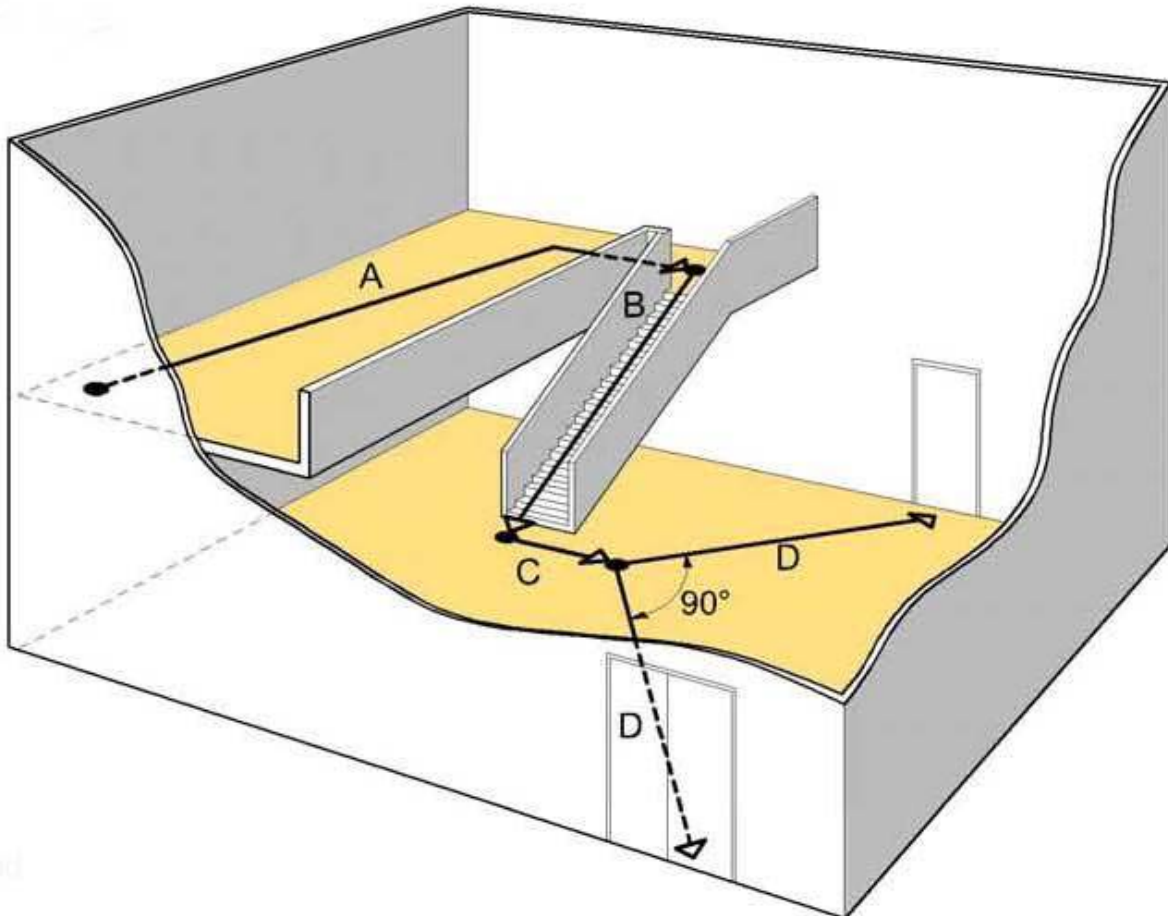


Ilustración 387, evacuación de ambientes en mezzanines, cuando existan dobles alturas dentro de recintos en proyectos de arquitectura, imagen obtenida de Building Code Class C1, Fire Safety, Department of Building and Housing, Pagina 10

Desde el diseño arquitectónico, se debe de tener en cuenta que la configuración espacial del proyecto tiene un papel crucial cuando se hace necesaria la evacuación en condiciones de incendio. Debido a esto, el arquitecto debe de recordar en todo momento el correcto diseño de las rutas de evacuación, contemplando aspectos de antropometría, cantidad de usuarios, uso del recinto, y en base a esto, se puede hacer el correcto dimensionamiento de las rutas de escape horizontal.

En la planificación debe de especificarse en planos cuales son las rutas seguras, y por medio de asurados, indicar en planta los muros resistentes al fuego, y en detalles y especificaciones, las capacidades de resistencia mecánica y contra fuego que estos

deben de tener, así como diseñar el ancho y la sección de estos ambientes, debido a que son la única opción que el usuario tendrá para poder salir de un recinto en llamas hasta un punto seguro en el exterior.

Dimensionamiento de rutas de Escape Vertical

El otro componente de la ruta de evacuación, es el escape vertical. Este escape, siempre se efectuara por medio de gradas que descienden desde el punto más alto del edificio o proyecto, hasta el nivel de piso, y desde el punto más profundo, en sótanos, hasta el mismo nivel de piso exterior. Existen algunas excepciones donde el escape vertical puede hacerse por medios mecánicos, como en proyectos de minería o excavaciones profundas, donde se cuenta con potencia específicamente para este caso, pero para proyectos de arquitectura, se asumirá que la evacuación deberá de hacerse por medio de gradas, hacia los puntos seguros.

En palabras del Building Regulation Code Fire Safety, un aspecto importante de los medios de escape vertical, en edificios de múltiples niveles, es la disponibilidad de un número suficiente de gradas de emergencias adecuadamente dimensionadas y protegidas contra fuego. La limitación de las distancias de escape horizontales hacia las rutas de escape verticales quiere decir que la mayoría de las personas deben de ser capaces de alcanzar de una manera independiente la seguridad de una ruta de escape vertical o de una salida final.

Para el dimensionamiento de rutas de escape vertical, en adelante llamadas gradas de emergencia, se debe de tomar en cuenta que estas deben de ser espacios especialmente diseñados para evacuar a las personas en sentido descendente o ascendente, según sea el caso. Por lo mismo, su dimensionamiento toma en cuenta la cantidad de usuarios que serán servidos por el modulo de gradas, así como el número de pisos que serán evacuados por medio de ellas.

El código Building Regulations por Fire Safety, edición 2000, establece que el dimensionamiento de las gradas de emergencia, esta dado por la siguiente ecuación:

$$W = \frac{P + 15n - 15}{150 + 50n}$$

Donde

W = ancho de gradas de emergencia, en metros

P = Numero de personas o usuarios a ser evacuados

n = Numero de pisos o sótanos existentes a ser evacuados

Este mismo código, establece algunos parámetros precalculados para determinadas condiciones, cuando se necesite planificar gradas de emergencia, y que no sean cubiertas

por los parámetros precalculados, puede utilizarse la ecuación anterior para tener como resultado el ancho mínimo requerido para las rutas de evacuación vertical.

capacidad de gradas para evacuación de pisos simultáneos para edificios									
numero de niveles	Máximo número de personas evacuadas por gradas en función del ancho (ancho en metros)								
	1.00	1.10	1.20	1.30	1.40	1.50	1.60	1.70	1.80
1	150	220	240	260	280	300	320	340	360
2	190	260	285	310	335	360	385	410	435
3	230	300	330	360	390	420	450	480	510
4	270	340	375	410	445	480	515	550	585
5	310	380	420	460	500	540	580	620	660
6	350	420	465	510	555	600	645	690	735
7	390	460	510	560	610	660	710	760	810
8	430	500	555	610	665	720	775	830	885
9	470	540	600	660	720	780	840	900	960
10	510	580	710	710	775	840	905	970	1035

Tabla 46, capacidad de evacuación para gradas de emergencia, en función del ancho, Tabla de elaboración propia, datos obtenidos de Building Regulations for Fire Safety edición 2000, pagina 47

En determinadas condiciones, es posible llevar a cabo evacuaciones por fases, siempre y cuando la vida del usuario no se ponga en riesgo por este tipo de consideraciones. Por ejemplo, algunos códigos de seguridad contra incendios recomiendan un proceso de evacuación por fases, donde los primeros usuarios en ser evacuados son las personas de capacidades diferentes, o con problemas de movilidad, posteriormente los que se encuentran en los niveles más cercanos al desarrollo del fuego, y en las condiciones que así sea necesario, se planifica la evacuación 2 pisos por vez, de tal manera que el proceso de evacuación se haga por fases de una manera sistemática. Este tipo de diseño puede aplicarse solo a determinados proyectos, donde las técnicas de evacuación sean efectivas por medio de simulacros programados, y supervisados por autoridad competente, que en el caso de Guatemala, sería Conred la institución encargada de supervisar este tipo de actividades.

Cuando se planifica la ruta de escape vertical, debe de tenerse siempre en consideración que este espacio se convertirá en un refugio para las personas que evacuan un edificio, y por lo tanto, deben de ofrecer determinada resistencia al fuego. En ocasiones, es posible que por motivos del diseño arquitectónico, o modulación de materiales, sea necesario dejar ambientes con puertas o aberturas que comuniquen con módulos de gradas de emergencia. La resistencia al fuego de los muros que protegen o envuelven el modulo de gradas, debe de ser calculada, y cubrir como mínimo el parámetro de resistencia al fuego por el periodo de tiempo que se espera tarde la evacuación. Debido a esto, existen algunas consideraciones en cuanto a la protección mínima que se le debe de dar a las

gradas de emergencia, las cuales pueden asumirse como criterios o directrices al momento de hacer la planificación desde el diseño arquitectónico, y estas son:

- Un modulo de gradas de emergencia, en ningún caso y bajo ninguna circunstancia puede estar desprovisto de puertas, estas puertas, deberán de ser resistentes al fuego, como mínimo el tiempo de evacuación más un porcentaje adicional, en cuanto a tiempo y a calor, de acuerdo a la curva estandarizada tiempo-temperatura. Cuando por descuido o por factor sísmico se planifican estas gradas sin puertas, se corre el riesgo de que el efecto chimenea inutilice la salida de emergencia, convirtiéndose estas en un punto de propagación de gases venenosos, humo o llamas.
- El ingreso al modulo de gradas, debe de tener un espacio de transición de por lo menos 1.80 metros medidos desde el inicio de la primer grada, hasta donde se colocaran las puertas del modulo de gradas. Este espacio será un vestíbulo de gradas, que permitirá la visual a las personas que vienen descendiendo del nivel superior, y dará tiempo de integrarse de una manera segura al flujo de evacuación.
- Cuando por motivos de diseño y capacidad de evacuación, el dimensionamiento de gradas de emergencia tenga anchos con valores mayores a 1.80 metros, es necesario especificar el uso de pasamanos divisores, los cuales deberán de contar con el anclaje necesario para resistir cargas por impacto lateral, hechos a base de tubo redondo, con dobleces que no tengan partes con ángulo ni soldaduras expuestas. Estos pasamanos divisores, deberán de separar los flujos de evacuación, en anchos no mayores a 1 metro. (ver ilustración 388 en pagina 424)
- En las periferias del modulo de gradas, 1.80 metros en todos los sentidos, deberá de dotarse a los muros de mampostería, (sean o no parte de las gradas de emergencia) de resistencia al fuego como mínimo, el tiempo que tarde la evacuación más un porcentaje adicional. (ver ilustración 389 en pagina 425)
- Dentro de un modulo de gradas, y 1.80 metros en todos los sentidos, no se deberá de colocar tuberías conductoras de gas, vapor o líneas eléctricas, ni cualquier elemento que pueda ser potencialmente inflamable. La única tubería que necesariamente puede ir instalada dentro de un modulo de gradas, es la de un sistema de columna seca para extinción de incendios.
- Toda ruta de escape vertical, debe de tener su final ya sea en una salida hacia el exterior a un punto de reunión seguro, o en su defecto, alcanzar el exterior por medio de un pasillo o corredor seguro, con resistencia al fuego como mínimo el tiempo que dure la evacuación, más un porcentaje adicional.
- Cualquier sector o ambiente que quede contiguo a un modulo de gradas de emergencia, deberá de ser tratado como un sector de incendio, con la compartimentación necesaria para la protección del modulo de gradas vecino.
- Tanto los ductos de ascensores, como las gradas de emergencia, no deben de comunicarse ni ser atravesados por ductos que provengan de otros sectores, tales como ventilación mecánica, bandejas para cableado o tuberías de agua en PVC. Si este fuera el caso y necesariamente deba de pasar ductos cerca de módulos de gradas, estos deben de contar con un sistema de sello contra fuego, de tal manera

que no exista la amenaza de la contaminación del aire dentro de las gradas por factor humo, gases o llamas.

- Las gradas de emergencia que bajan de niveles superiores, y las que suben de sótanos, no deben de tener continuidad. Cuando suceda el caso que deban de tener continuidad, estas deben de contar con puerta resistente al fuego 1.80 metros después de que terminan las gradas que vienen desde un sótano, y 1.80 metros antes de que inicien las gradas que bajan de niveles superiores. Esto se debe de hacer para garantizar que ninguno de los recintos pueda contaminar al otro.
- Se debe de prever un espacio adicional en los ingresos a las gradas de emergencia, de tal manera que 1.80 metros queden libres para el paso del flujo de evacuación, considerando la posibilidad de tener espacio para las personas con capacidades diferentes, sin que corran riesgos de ser lastimados por el los usuarios que se desplazan en el flujo de evacuación.

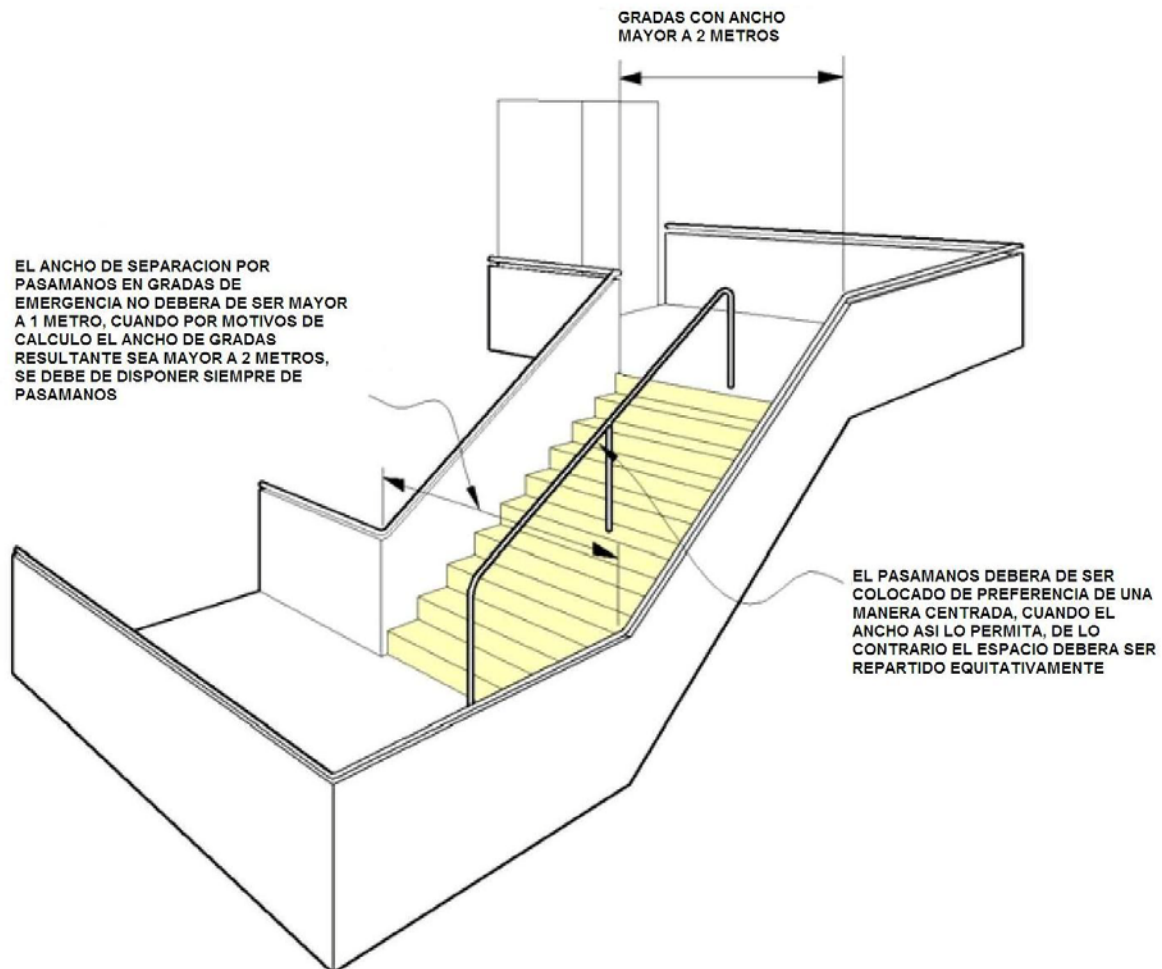


Ilustración 388, Disposición de pasamanos en gradas con anchos superiores a 2 metros.

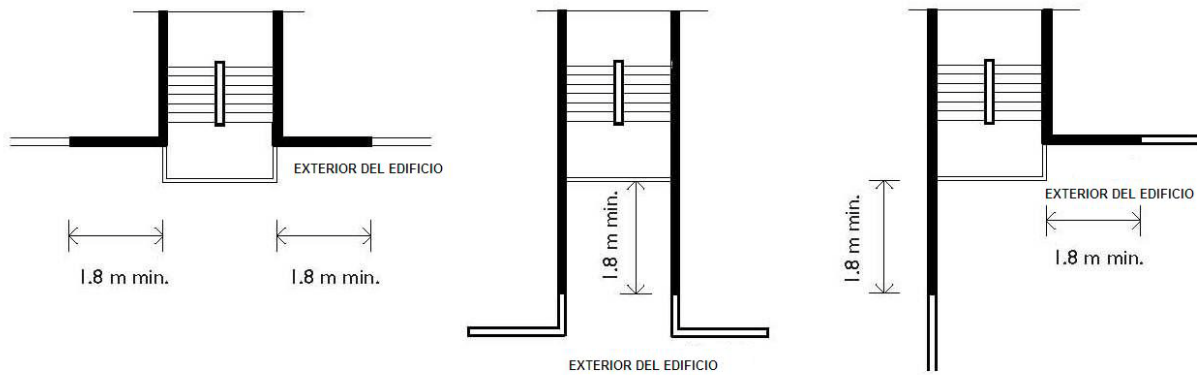


Ilustración 389, protección contra fuego que debe de ser dotada a los módulos de gradas y a sus alrededores, en un radio efectivo de 1.80 metros

EL ANCHO DE UNA RUTA DE EVACUACION SE INCREMENTARA AL FINAL PARA PERMITIR EL FLUJO DE USUARIOS PROCEDENTES DE NIVELES SUPERIORES Y DE SOTANOS

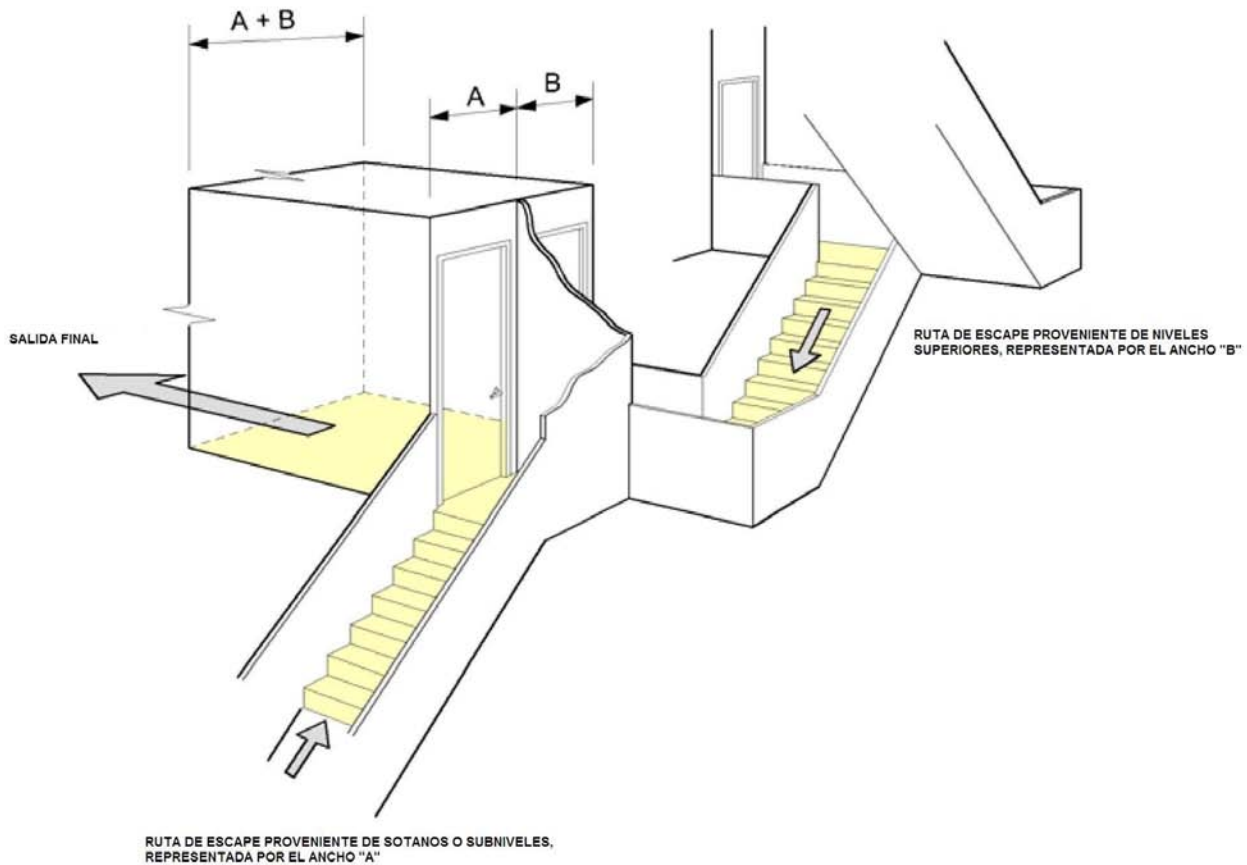


Ilustración 390, separación de rutas de escape provenientes de pisos sobre nivel de suelo, y de sótanos bajo nivel de suelo, las salidas aunque confluyan en un área común, son totalmente separadas, aisladas e independientes unas de otras

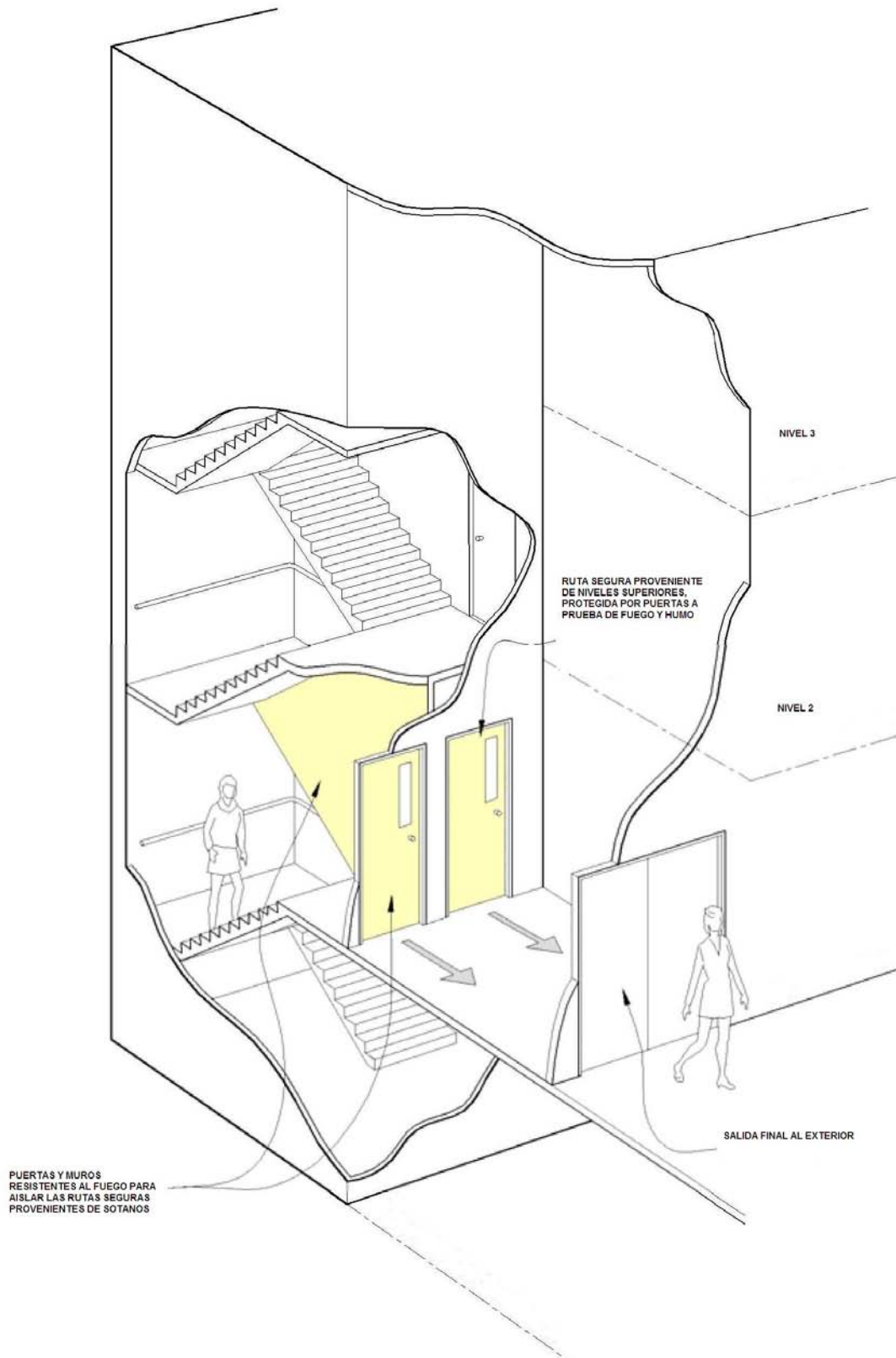


Ilustración 391, Esquema de funcionamiento de ruta de evacuación segura, proveniente de niveles superiores y de sótanos, hacia una salida exterior

Rutas de Escape vertical Exteriores

En determinados casos, se recurre a la colocación de gradas de emergencia en exteriores. Por lo regular, esta medida es tomada cuando se trata de proteger contra incendios una edificación existente que por su antigüedad o por su diseño, no permiten la integración de módulos de gradas protegidos, que son la mejor opción.

Este tipo de elementos, ofrecen una serie de inconvenientes que van desde la necesidad de constante mantenimiento por factores climáticos que involucran pintura, engrase, y revisiones periódicas, poca estética visual, interrupción de visuales desde ventanas, y pueden constituirse en un medio de vandalismo, dado que por estar al exterior pueden ser alcanzadas por personas ajenas al proyecto y derivar en ingresos no permitidos.

Los principios que rigen el diseño de las rutas de escape vertical exteriores, son básicamente los mismos que para las rutas de escape vertical interiores protegidas, con la salvedad de que estas, en su desarrollo, no deben de atravesar ventanas de ningún tipo, ni aberturas que puedan interrumpir el paso cuando por estas salgan llamas o humo.

El Building Regulation Code Fire Safety edición 2000 establece algunos parámetros que pueden ser tomados en cuenta, cuando sea estrictamente necesario proponer un módulo de gradas de emergencia exterior, de la siguiente manera:

- La máxima altura segura de evacuación, será de 6 metros, medidos desde el nivel del suelo, hasta el descanso del punto más alto de evacuación. Se debe de evitar superar esta altura.
- Las gradas de emergencia exteriores, deben de estar localizadas de tal manera que la distancia entre cualquier elemento del módulo metálico y la esquina más próxima del muro, no sea menor a 1.80 metros
- El paramento del muro a donde este anclado el módulo de gradas, deberá de tener una resistencia al fuego de por lo menos 30 minutos. Este paramento, deberá de ser resistente al fuego un mínimo de 1.80 metros a cada lado de donde este localizado el módulo de gradas exterior, y por lo menos 9 metros medidos desde el nivel del suelo.
- Las puertas que llegan hasta los descansos metálicos, deberán de tener una resistencia al fuego de cómo mínimo de 30 minutos
- Si en el desarrollo de las gradas exteriores es absolutamente inevitable que pasen por ventanas, estas ventanas deberán de ser resistentes al fuego en un rango de por lo menos 30 minutos.
- El módulo de gradas debe de ser instalado de tal manera, que el tramo final de las gradas, termine a una distancia de por lo menos 3 metros alejado de la esquina más próxima de la unión de las fachadas exteriores.
- No son permitidas bajo ninguna circunstancia, aberturas posteriores en los muros que estén dentro de 1.80 metros de alcance cercanos al paso del desarrollo de las gradas, y si es necesario realizarlas, se deben de proteger al fuego por un periodo de por lo menos 30 minutos.

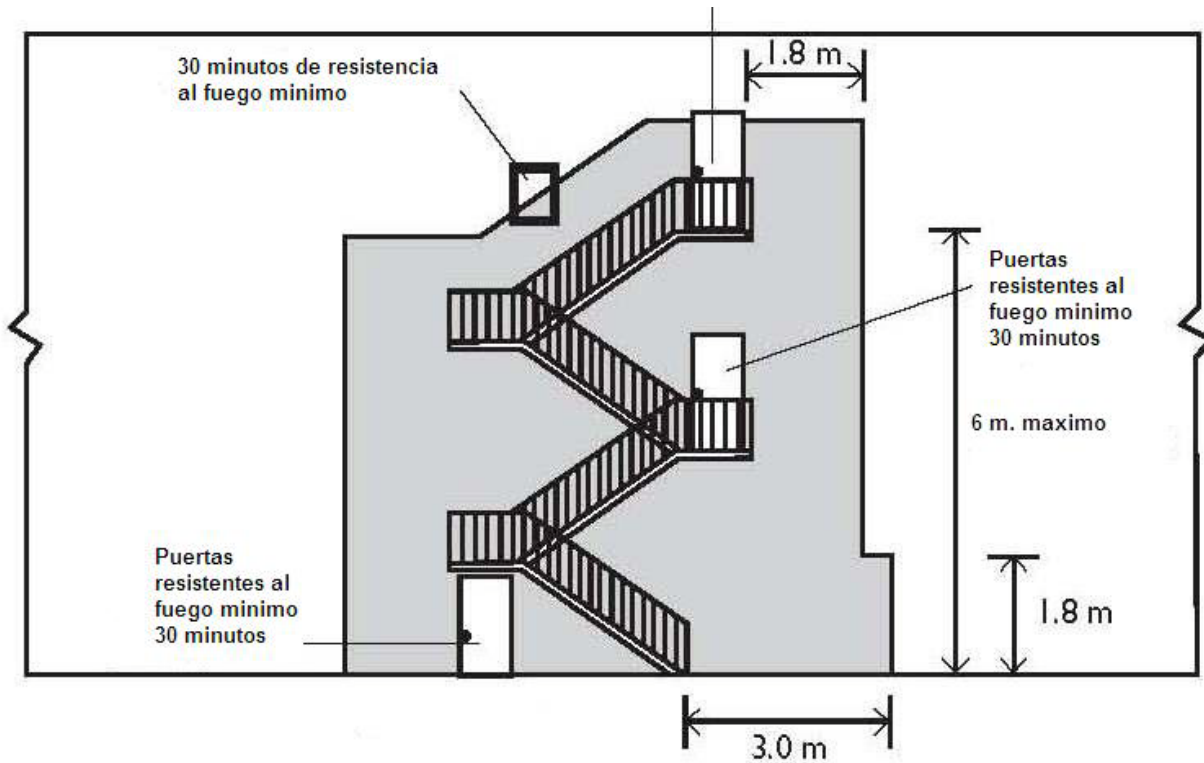


Ilustración 392, Modulo de gradas de emergencia exteriores

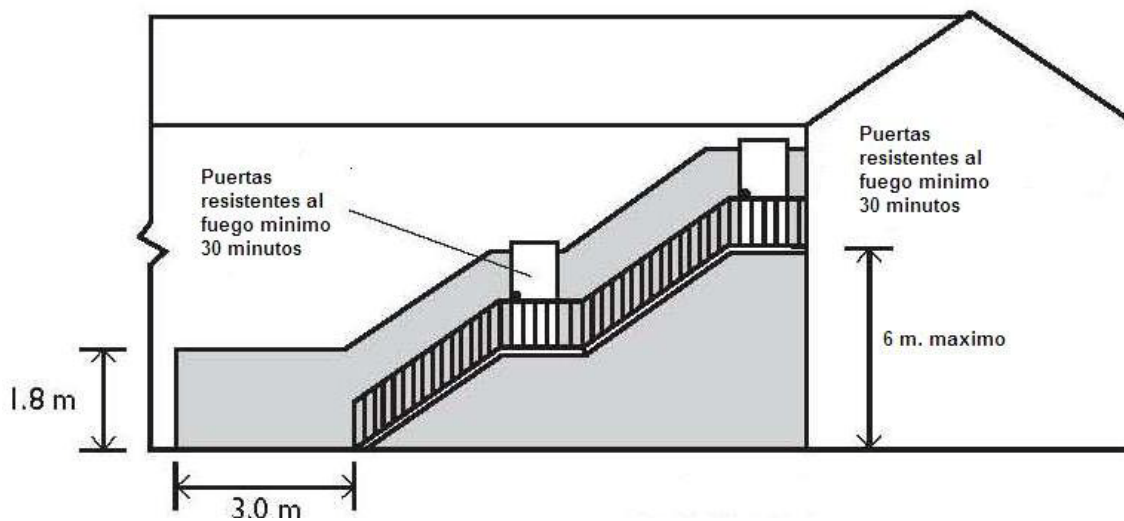


Ilustración 393, modulo de gradas de emergencia exterior, con puertas de salida no alineadas



Ilustración 394, de acuerdo a reglamentos, las gradas de emergencia exteriores nunca deben pasar cerca de ventanas, y cuando lo hagan, estas deben de ser resistentes al fuego. En la ilustración de la derecha, se puede observar un incendio que inutiliza las gradas de emergencia que pasan enfrente de aberturas no protegidas adecuadamente, e imposibilita la acción de los cuerpos de socorro para utilizarlas de manera segura.



Ilustración 395, cuando el metal falla por calentamiento, las gradas exteriores dejan de ser una ruta segura, y exponen al usuario a riesgos de caídas potencialmente fatales. La imagen acá mostrada, es una fotografía de un incendio ocurrido en 1975, en la ciudad de Boston, Estados Unidos, fue tomada por el fotógrafo Stanley Forman, y publicada por el diario Boston Herald. La caída, fue de más de 15 metros de altura, uno de los usuarios que se ven en caída libre murió a consecuencia del golpe contra el suelo. De acuerdo a algunos códigos europeos, la máxima altura de evacuación para este tipo de gradas es de 6 metros, debiéndose evitar el paso de las mismas frente a ventanas no protegidas. Fotografía obtenida de sitio www.sentadofrentealmundo.com

Tiempos de evacuación

Para diseñar las rutas de evacuación de un proyecto de arquitectura, el primer parámetro que se debe tener en consideración es el tiempo de evacuación.

El tiempo de evacuación está definido como “el tiempo que transcurre desde el inicio del incendio dentro de un recinto, y que en todo momento deberá ser menor que el Tiempo disponible para la Evacuación⁵⁸”

El tiempo de evacuación de usuarios, comúnmente se ve condicionado por los siguientes factores:

- Configuración espacial del diseño arquitectónico
- Procedimientos dentro de los recintos
- Factores ambientales dentro de las estructuras
- Comportamiento de los usuarios al momento de la evacuación

En condiciones de evacuación, se han efectuado estudios a cerca de cuánto tiempo puede tomarle al usuario salir de un edificio que se encuentra en llamas. Estudios realizados por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología NIST (National Institute of Standards and Technology, por sus siglas en inglés, institución en Estados Unidos) encontraron por medio de mediciones, que desde que es emitida la alarma de incendio hasta que se inicia el proceso de evacuación, existe un promedio de 50 segundos de retraso⁵⁹.

La efectividad en el proceso de la evacuación de usuarios, comúnmente se puede ver afectada por:

- Numero y localización de módulos de gradas de emergencia
- Distancia entre módulos de gradas
- Geometría de los módulos de gradas
- Número de ocupantes por piso
- Número de ocupantes descendiendo de pisos superiores
- Obstáculos encontrados en el trayecto de evacuación

La velocidad a la cual los usuarios pueden salir y evacuar las instalaciones en condiciones de incendio, se ve afectada por:

- Numero de gradas
- Angulo de las escaleras
- Profundidad de huellas
- Altura de contrahuellas
- Presencia o ausencia de pasamanos

⁵⁸ Revista ICI, Ingeniería Contra Incendios, Editada por Asociación de Profesionales de la Ingeniería Contra Incendios APICI, España. Diciembre 2005, Ejemplar No. 3, Pagina 14

⁵⁹ G. Proulx, Movement of People: The evacuation timing, capítulo 3, paginas 3-341 a 3-366. The SPFE Handbook of fire protection Engineering. Tercera edición, 2002.

- Espacio para movimiento por persona
- Probabilidad de personas cargando equipaje
- Tráfico en sentido contrario en gradas de emergencia

Actualmente se ha podido determinar el movimiento de las personas en casos de emergencia en corredores y pasillos. El rango de velocidad oscila entre 0.16 a 0.76 metros por segundo para personas con capacidades diferentes, y 0.49 a 1.3 metros por segundo para personas sin problemas de movilidad. Al momento de ingresar a gradas, estos valores tienden a disminuir, de la siguiente manera

velocidades de evacuación por genero y por sentido			
genero	rango de edad	velocidad por usuario (m/s)	
		bajando gradas	subiendo gradas
masculino	30 años y menores	1.01	0.67
femenino		0.755	0.653
masculino	de 30 a 50 años	0.86	0.63
femenino		0.665	0.59
masculino	mayores a 50 años	0.67	0.51
femenino		0.595	0.485

Tabla 47, velocidad de ascenso y de descenso en gradas para usuarios por rango de edad, velocidades en metros por segundo tabla de elaboración propia, datos obtenidos de Evacuation Route Calculation of Inner Buildings, Shi Pu y Sisi Zlatanova, Universidad tecnológica de Holanda, Pagina 13

Estas velocidades de evacuación, fueron asumidas en este estudio en condiciones ideales de atmosferas limpias, sin contaminación por humo o por cualquier otro factor sofocante o irritante.

El tiempo de evacuación, podrá saberse de una manera *aproximada*, y será la resultante de la división de la longitud de desarrollo de las gradas, sobre la velocidad en metros por segundo, más la suma de los tramos rectos que el usuario deba de recorrer en pasillos o demás ambientes previos a las gradas. . Es recomendado, que el tiempo máximo en el que los primeros usuarios en evacuar deberían de empezar a atravesar las salidas de emergencia, es de 2.5 a 3 minutos⁶⁰.

Como ejemplo, para una edificación de 10 niveles, con altura entre niveles de 3 metros, y descansos de gradas con longitud de 2.40 metros, la distancia lineal a recorrer por cada nivel será de 11 metros lineales, con una longitud de evacuación total de 110 metros. Si se asume como velocidad de usuario, en sentido descendente 0.67 metros por segundo, se tendrá como resultado el inicio de la evacuación en un tiempo aproximado de 3 minutos después de iniciada la alarma de incendio.

⁶⁰ Estructplan, argentina. Calculo Estimativo de Vias y Tiempos de Evacuacion, Ing. Adolfo Perez Guerrero.

Modelo hidráulico aplicado al cálculo de tiempo de evacuación

No existe un parámetro fijo normado y reglamentado de comparación en cuanto al tiempo que debería de tardar una evacuación exitosa, dado que el tiempo de evacuación tiene varios factores que no pueden analizarse de una manera estática, tales como el tiempo de respuesta de las personas a la alarma, la velocidad del movimiento, la densidad de usuarios que utilizan las rutas de evacuación, la altura de evacuación, distancia hacia las rutas de evacuación etc. Existen modelos computacionales que pueden permitir un modelado y conocer de manera mucho más precisa el tiempo de evacuación para determinada configuración espacial.

El modelo hidráulico para tiempo de evacuación, está basado en la relación existente entre la densidad de ocupantes y la velocidad de los mismos a través de las vías de evacuación. El tiempo calculado por el modelo hidráulico se denomina “tiempo modelado de evacuación”, tme, que es una aproximación al tiempo real de evacuación basado en datos obtenidos de simulacros, así como de tiempos medidos en condiciones de incendios reales. Este modelo, a pesar de tomar en cuenta algunos efectos que tienden a retrasar el proceso de evacuación, tiene la incerteza debido a factores imprevisibles, tales como el comportamiento de los ocupantes, la infrautilización de determinadas salidas, y la saturación de otras, interrupciones en el movimiento, y otros factores de difícil medición⁶¹.

Procedimiento de Cálculo

Para calcular el tiempo modelado de evacuación, tme, se deberá de contar con la siguiente información

- Número de plantas del edificio a evacuar
- Dimensiones de las plantas
- Número de módulos de gradas de emergencia previstas
- Cantidad de usuarios por planta
- Dimensión de pasillos por donde circularan los usuarios
- Ancho de puertas previas a las gradas de emergencia
- Altura de piso a piso entre niveles
- Dimensiones de modulo de gradas, ancho de gradas, tamaño de huella y contrahuella, tamaño de descansos

Paso No. 1, cálculo de la densidad de flujo ρ

Se debe de procede a calcular la densidad del flujo de personas que estarán en el pasillo o vestíbulo que comunicara directo a los módulos de gradas de emergencia.

$$\text{Densidad de flujo } \rho = \frac{\text{Numero de usuarios}}{\text{distancia al modulo de gradas} * \text{ancho de ambiente}}$$

⁶¹ Revista ICI, Ingeniería Contra Incendios, Editada por Asociación de Profesionales de la Ingeniería Contra Incendios APICI, España. Diciembre 2005, Ejemplar No. 3, Pagina 10

La densidad de flujo estará expresada como la cantidad de personas por metro cuadrado presentes en el pasillo o vestíbulo al momento de la evacuación.

El resultado de esta operación, tiene rangos limitantes, de la siguiente manera:

- Si ρ es menor o igual a 0.54, se para la siguiente operación se debe de usar 0.85 multiplicado por factor K, que es una constante igual a 1.4
- Si ρ es mayor que 0.54, se debe de utilizar para la siguiente operación $K - 0.266$, donde K es una constante igual a 1.4

Paso No. 2, cálculo de la velocidad de movimiento en ambiente v

Se debe de calcular la velocidad de movimiento en el ambiente, tomando en consideración la saturación del lugar, y la densidad, obtenidas del paso 1. En esta operación, se debe de tomar en cuenta los rangos que condicionan a la densidad ρ , descritos anteriormente.

$$\text{Velocidad en ambiente } v = K (1 - a * \rho)$$

Donde

a = constante de cálculo con valor 0.266

Esta operación nos dará como resultado la velocidad del usuario en metros por segundo, en condiciones de saturación, cuando por la señal de alarma, ya se encuentre el pasillo con personas circulando en el mismo sentido, o en sentido contrario, hacia las puertas que conducirán a las gradas de emergencia.

Paso No.3, Calculo del Flujo Especifico ϕ_s

Se debe de calcular el flujo específico, que será el flujo de personas que estarán en movimiento a través de un punto de la ruta de evacuación por unidad de ancho y por unidad de tiempo. Para efectos de cálculo, este flujo no deberá ser mayor a 1.88, asumiéndose este como el máximo factor aplicable. De existir un resultado mayor en la operación, se debe de usar el máximo como constante de cálculo.

$$\text{Flujo Especifico } \phi_s = \text{Velocidad} * \text{Densidad}$$

El resultado de esta operación estará expresado en personas / segundo por metro cuadrado.

Paso No. 4, Calculo del Ancho efectivo W_e

El ancho efectivo del ambiente en donde se dará la evacuación, es el ancho real, menos la dimensión de los márgenes calculados. La dimensión de los márgenes calculados son parámetros constantes, contenidos en la tabla

$$\text{Ancho Efectivo } W_e = \text{Ancho real} - \text{ancho de margenes}$$

Paso No.5, Calculo del Flujo Calculado Φ_c

El flujo Calculado es el cálculo del flujo de personas que atraviesan un elemento de evacuación, tal como una puerta contra fuego, o puertas de salidas de emergencia.

$$\text{Flujo Calculado } \Phi_c = \text{Flujo Especifico} * \text{Ancho efectivo}$$

Paso No. 6, Calculo de flujo especifico en puertas $\Phi_{spuertas}$

Se debe de calcular el flujo especifico a través de las puertas previas a los módulos de gradas de emergencia.

$$\Phi_{spuertas} = \frac{\Phi_c \text{ de pasillos}}{W_e \text{ puertas}}$$

El resultado del flujo especifico en puertas, tiene como límite de valor máximo 1.33, cuando el resultado de esta operación sea un número mayor a 1.33, se asumirá el máximo como parámetro de cálculo.

Paso No.7, Flujo calculado en puertas $\Phi_{cpuertas}$

Se debe de calcular el flujo calculado en puertas, de la siguiente manera:

$$\Phi_{cpuertas} = \Phi_{spuertas} * W_e \text{ de puertas}$$

Paso No. 8, Calculo de Formación de Cola

Cuando da inicio la evacuación, se asume que el pasillo estará siendo utilizado, de tal manera que cuando los usuarios inicien el proceso de evacuación, habrá una tasa de personas que podrán atravesar la puerta de las gradas de emergencia, a razón de un periodo de tiempo, siendo este número, la cantidad resultante del paso No.7. Se debe de recordar que existen más usuarios que iniciaran la evacuación con un retraso respecto de los que estarán más cercanos a la salida, por lo que esto generará una cola de espera, dado que la puerta tiene cierta capacidad de evacuación.

La cola de espera se debe de calcular de la siguiente manera

$$\text{Cola de personas} = \Phi_c - \Phi_{cpuertas}$$

Esta operación, dará como resultado la cantidad de personas que se agrupan en la puerta por segundo, para poder entrar a las gradas de evacuación.

Paso No.9, Impacto de las Escaleras en el Flujo de evacuación

Se debe de calcular el impacto que tendrán las escaleras en el flujo de evacuación descendente. Este cálculo está compuesto por el cálculo del ancho efectivo de las escaleras $W_e \text{ escaleras}$, el cálculo del flujo especifico en las escaleras Φ_s de la siguiente manera

$$W_e \text{ escaleras} = \text{ancho de escaleras} - \text{margenes}$$

$$\Phi_s \text{ escaleras} = \frac{\Phi_s \text{ puerta} * W_e \text{ puerta}}{W_e \text{ escalera}}$$

Paso No. 10, Velocidad de Descenso en Gradass

La velocidad de descenso en gradass, se calculara de la siguiente manera

$$V = k(1 - a * \rho)$$

Donde

k = constante de cálculo con valor 1.08

a = constante de cálculo con valor 0.266

ρ = densidad calculada en el paso No. 1

Paso No. 11, impacto de la mezcla de flujos en gradass I_{mf}

Cada nivel que se esté evacuando, hará un aporte al flujo que existirá en las gradass. Cuando inicia la evacuación, se asume que las gradass se encontraran vacías, pero conforme pasa el tiempo de reacción, se espera que cada nivel tenga un volumen determinado de personas que llegan hasta el punto donde los usuarios que vienen del nivel superior, se mezclan con los que salen del nivel inferior inmediato siguiente, y así sucesivamente hasta que se llega a la salida del edificio.

Debido a ello, se hace necesario calcular el impacto que tendrá la mezcla de flujos en gradass, sobre la libre salida de las personas hasta un punto de reunión seguro afuera del edificio.

El impacto causado por esta mezcla, se calcula de la siguiente manera

$$I_{mf} = \frac{(\phi_{spuerta} * W_{e\ puerta}) + (\phi_{s\ escalera} * W_{e\ escalera})}{W_{e\ escalera}}$$

Este impacto, está restringido por los valores contenidos en la tabla por lo tanto, si al momento de hacer el cálculo respectivo el valor resultante excede el permitido, debe de usarse el máximo establecido.

Paso No. 12, Tiempo de descenso por nivel t

Se debe de calcular el tiempo de descenso por nivel, el cual será el indicativo de cuanto tardara un determinado grupo de personas, en descender de un nivel a otro, ya estando dentro de las gradass de emergencia.

El tiempo de descenso por nivel, se calcula en 2 partes, de la siguiente manera:

- Se calcularan las distancias lineales, que comprenden las distancias recorridas desde donde está la puerta de las gradass, la diferencia de nivel entre pisos, y el tamaño de descansos en gradass. La diferencia de nivel se debe de multiplicar por el factor de corrección contenido en la tabla
- Teniendo esta distancia en metros lineales, se procede a dividir la distancia en metros lineales, dentro de la velocidad de descenso calculada en el paso 10.

La resultante de estas operaciones, será el tiempo de descenso que se tomara en descender de un nivel a otro.

Paso No. 13, evacuación de personas por tramo

El tramo de gradas de emergencia que existirá en cada nivel, tendrá capacidad de evacuar a un número de personas “X” en un periodo de tiempo “Y”. Es necesario que se sepa esta tasa de personas por unidad de tiempo x/y, dado que esa cantidad permitirá conocer el tiempo de evacuación por cada nivel del edificio.

$$\text{Evacuacion por tramo} = \phi_{s \text{ escaleras}} * W_{e \text{ escaleras}}$$

Este resultado, estará expresado en usuarios por segundo, aunque será más conveniente hacer la conversión de unidades de tal manera que se sepa la cantidad de usuarios por minuto, esto se lograra multiplicando el resultado por 60.

Paso No. 14, aporte de flujo por nivel F_{nivel}

Se debe de calcular el aporte de flujo por cada nivel del edificio. Este aporte, será necesario para conocer el tiempo acumulado que se llevara desde la planta más alta, hasta el nivel de suelo para evacuación.

Se calculara de la siguiente manera:

$$F_{nivel} = t * \phi_{s \text{ escaleras}} * W_{e \text{ escaleras}}$$

Paso No. 15, Calculo de cantidad simultánea de usuarios en gradas

Como último paso, debemos calcular la cantidad de usuarios que se encuentran de manera simultánea dentro de las gradas, y eso se calculara de la siguiente manera:

$$\text{Usuarios simultaneos} = \text{Numero de plantas} * F_{nivel}$$

De esta forma conoceremos el número simultáneo de usuarios en las gradas.

Integración de tiempos acumulados

Una vez terminado el cálculo de los tiempos de evacuación, se debe de proceder a integrar los tiempos de la siguiente manera:

- Inicialmente existe una demora, que puede estar entre 30 y 50 segundos, que es lo que el usuario tarda en reconocer la señal de alarma y tomar la decisión de salir. Este tiempo de demora, es el primer tiempo.
- Se debe de calcular el número de grupos que podrán evacuarse por tiempo por cada nivel, dividiendo el número de usuarios por planta, dentro de F_{nivel} esto nos dará como resultado, la cantidad de turnos de evacuación.

- El número de turnos de evacuación, se multiplicará por el tiempo de descenso por nivel t , calculado en el paso 12, esto dará como resultado el tiempo de evacuación total por cada nivel de edificación que se tenga.

Hasta este punto, se tiene el tiempo de evacuación por nivel, y el tiempo de demora inicial. Para saber el tiempo total de evacuación necesario, se procede a hacer la sumatoria de tiempos acumulados iniciando desde la última planta, de la siguiente manera:

- Se sumará el tiempo de demora inicial de 30 a 50 segundos, más el tiempo de evacuación total por nivel, más el tiempo de descenso por nivel. Este será el primer tiempo acumulado, del último nivel, al inferior inmediato siguiente
- Cuando se llega al nivel inferior inmediato, al primer tiempo acumulado, se le sumará el tiempo total de evacuación por nivel, más el tiempo de descenso por nivel, y este será el segundo tiempo acumulado
- Se repetirá este proceso de forma descendente la cantidad de veces como niveles tenga el edificio, hasta llegar al primer nivel, y de forma ascendente, si se trata de sótanos, y a este acumulado hasta el primer nivel, solo se le sumará el tiempo de descenso del nivel, porque se asume que mientras todos los demás vienen bajando, el primer nivel, que no tiene necesidad de descender, ya está vacío.

La suma de todos los tiempos acumulados, será el tiempo total de evacuación, incluyendo las demoras por el impacto de cada elemento en puertas, descansos y demás elementos constructivos que se encuentren en el descenso.

Teniendo ya el tiempo total de evacuación, es recomendable (no obligatorio por reglamentos o normas existentes) que se estime un 10 % de tiempo adicional por el eventual factor de comportamiento humano, que no es posible ponderar o predecir bajo ninguna circunstancia.

La importancia del cálculo del tiempo de evacuación para un proyecto de arquitectura, es porque teniendo como resultado una cantidad medida de tiempo, existe una curva estandarizada y normada por NBE-CPI 1996 y UNE EN 1363:2000, que establece de una manera aproximada el rango calorífico al que se estará expuesto desde un tiempo $t=0$, hasta un tiempo $t = x$.

CURVA NORMALIZADA TIEMPO TEMPERATURA, UNE EN 1363:2000								
Tiempo t , en minutos	15	30	45	60	90	120	180	240
Temperatura en el sector, en °C	740	840	900	950	1000	1050	1100	1150

Tabla 48, curva normalizada tiempo temperatura, tabla de elaboración propia, datos obtenidos de norma UNE EN 1363:2000

Cuando se comparan los valores del resultado del cálculo de tiempo de evacuación, contra los valores caloríficos de la curva estandarizada temperatura/tiempo, podremos conocer el grado de calor que se alcanzara en determinado tiempo, y en función de esto,

podremos diseñar la protección contra incendio para las gradas, con el blindaje necesario a prueba de fuego, para resistir las temperaturas que se alcancen dentro del periodo de tiempo establecido.

Este cálculo, tiene incertezas debido a factores imponderables, pero el resultado es bastante aproximado. De omitirse el cálculo del tiempo de evacuación, se corre el peligro de que la protección contra fuego de las gradas de emergencia este sobre diseñada, y por consiguiente se haga innecesariamente cara, y si esta subdiseñada, se corre el riesgo de poner en peligro la vida del usuario que hace uso de ellas en condiciones de emergencia.

Consideraciones generales de seguridad para rutas de Escape Horizontal y Vertical

Las rutas de escape, tanto horizontal como vertical, deben de ser medios seguros para la evacuación de las personas, considerándose para este caso de estudio en específico, en el momento de riesgo por fuego, humo y gases tóxicos.

Las rutas de evacuación, por lo tanto deben de ser espacios resistentes al fuego, y la resistencia al fuego que se provea a cada uno de ellos, estará en función del tiempo de evacuación que se necesite para que todos los usuarios puedan salir de una manera segura en un tiempo prudente, sin correr riesgos de contaminación, enceguecimiento, asfixia por gases, quemadura por vapores calientes o por llamas, o cualquier otro riesgo que ponga en peligro la vida del usuario.

Por ello, estas rutas deben de estar provistas de protección y de elementos que garanticen que su uso será seguro al momento de una evacuación en condiciones de emergencia. Los elementos que como mínimo deben de estar presentes en una ruta de evacuación, son los siguientes:

Para rutas de escape horizontal

Las rutas de escape horizontal, deben de contar con la protección mínima siguiente:

- Resistencia al fuego, para el periodo de tiempo proyectado
- Señalización que indique las salidas hacia gradas de emergencia
- Iluminación de emergencia, por un periodo mínimo establecido en códigos
- Puertas cortafuegos en tramos intermedios, donde las distancias lineales sean considerables y exista el riesgo de propagación de fuego o humo
- Sistemas de ventilación de emergencia
- Sistemas de detección automática de humo, llama o temperatura
- Sistema de extinción automática de incendio, por medio de agente de acuerdo al uso de las instalaciones
- Sistema de aspiración de gases tóxicos o de humo
- La altura de las rutas de escape horizontal, no deberá ser en ningún punto menor a 2 metros.

- Para la superficie de caminamientos, existen algunas limitantes contenidas en códigos, que establecen que en rutas de escape horizontal, la máxima pendiente admisible será el 10%, considerándose está al límite y nunca podrá ser mayor. La superficie del caminamiento, deberá estar hecha o acabada de tal manera, que ofrezca tracción al agarre al momento de caminar, y que evite de cualquier manera ser deslizante, debe de evitarse los acabados pulidos, o superficies enceradas que puedan dar lugar a caídas o resbalones que deriven en lesiones o en atascamiento de las rutas al momento de ser utilizadas.
- Debe de evitarse en la medida de lo posible los cambios de nivel dentro de las rutas de escape horizontal, especialmente los cambios de nivel demasiado pequeños para ser vistos, en caso de existir un cambio de nivel, el mínimo de altura aceptado para este será de 15 centímetros, y deberá de estar marcado de una manera visible, con pintura reflectiva amarilla y negra, con franjas a 45° tanto la huella como la contrahuella.
- La ruta de escape horizontal, deberá de estar provista en todo momento con protección contra caídas, tales como pasamanos, o barandas cuando la ruta de escape horizontal sea exterior.
- Debe de evitarse en todo momento la decoración por medio de elementos que puedan ser rotos por impactos, tales como espejos, cristales, vidrios grabados.
- La distancia a recorrer dentro de una ruta de escape horizontal, deberá de estar dentro de los márgenes aceptables establecidos por códigos internacionales, consultar tabla en pagina 417

Protección contra fuego

Los muros contra fuego, para rutas de escape horizontal, deben de proveerse de acuerdo a las configuraciones que son ofrecidas para resistencia al fuego. De acuerdo al acabado y a la arquitectura del proyecto, pueden darse diferentes opciones, que ofrecerán resistencia al fuego por determinados periodos de tiempo. La el rango de protección contra fuego que se necesite, se sabrá cuando se tenga calculado del tiempo de evacuación, y de acuerdo a ello, podrá escogerse si la resistencia al fuego se proveerá por medio de tableros (ver pagina 332), morteros (ver pagina 325),



Ilustración 396, las rutas de escape horizontal, deberán de estar aisladas y compartimentadas, de tal manera que sean seguras en todo momento, evitando perforaciones innecesarias, y proporcionando las medidas de seguridad mínimas mencionadas

configuraciones de mampostería (ver páginas 354 a 358). Si las rutas de escape horizontal serán protegidas por mampostería, de concreto o de arcilla, debe de calcularse el espesor equivalente para saber el rango de resistencia al fuego que esta proveerá, así como la protección que dará al usuario en determinado periodo de tiempo (ver páginas 350 a 353)

Cuando se trate de pasillos que comunican varias habitaciones, estos deben de protegerse también contra fuego, considerándolos como la principal ruta de escape de las personas que estén haciendo uso de este tipo de instalaciones. Para este tipo de configuración espacial, se debe de proporcionar y aplicar las mismas medidas mínimas de seguridad que para una ruta protegida, aplicaran los mismos parámetros de protección.



Ilustración 397, para pasillos que comunican habitaciones, las medidas de seguridad serán las mismas que para rutas protegidas

Señalización e iluminación

La señalización de las rutas de escape horizontal es otro asunto de vital importancia. Existirán determinados proyectos (la gran mayoría de ellos) en los que los pasillos o corredores que comunican ambientes, se volverán rutas de escape horizontal, por lo que es absolutamente necesario que se sepa cuál es la ruta de escape que debe de seguirse hasta la ruta de evacuación vertical y luego hacia el exterior.

De una manera internacional se ha estandarizado las señales de emergencia para cada uno de los elementos que componen la ruta de evacuación. Estas señales, tienen colores específicos que deben de ser respetados, en el caso de la señalización de evacuación, Verde y Rojo Pantone 286.

La señalización de emergencia, debe de ayudar al usuario a saber hacia donde dirigirse en caso de ser necesario evacuar un edificio, o cualquier tipo de instalación. en este momento, lo que contara es el rango de visibilidad, el alcance efectivo hasta donde el ojo humano está capacitado para tener una visual clara de los elementos, en función de su color y tamaño.

Actualmente, existe una amplia gama de materiales que permiten que las señales puedan ser percibidas en diferentes escenarios, existen señales impresas en plásticos especiales, señales iluminadas eléctricamente, señales fotoluminescentes, todas ellas con especificaciones de fabricante de acuerdo a tamaños y a normas bajo las cuales esta estandarizada su producción.

Para efecto de cálculo, se debe de tener presente el alcance efectivo de la visual hacia las señales, esta distancia está dada por

$$D = \sqrt[2]{(s * 2000)}$$

Donde

D = distancia de visual, en metros

S = superficie de la señal, en metros cuadrados



Ilustración 398, señales estandarizadas de evacuación

La señalización fotoluminiscente, ofrece una variedad de posibilidades de colocación, y una de sus ventajas, es que no necesita de aporte de flujo eléctrico para poder ser vista, dado que el resplandor o el brillo que se observa, es resultado de una reacción química fotoeléctrica, en donde la emisión de luz de una fuente artificial producen un proceso de carga de electrones, los cuales, al regresar a su estado fundamental o basal, liberan energía en forma de luz, produciendo este resplandor, que se conoce como luz fría.

La señalización fotoluminiscente necesita de una fuente de luz artificial para cargarse, y luego de un periodo de 5 minutos de exposición a la luz artificial, tiene capacidad de permanecer brillante hasta por espacio de 60 minutos. La perdida de energía de fotoluminiscencia no es súbita, por lo que cuando inicia su proceso de declinación, lo hace

gradual y paulatinamente, cuando el ojo humano se acostumbra a la oscuridad de un ambiente, esta luz permanece visible aun cuando se atenúa.



Ilustración 400, aplicación de señalización fotoluminiscente a rutas de escape

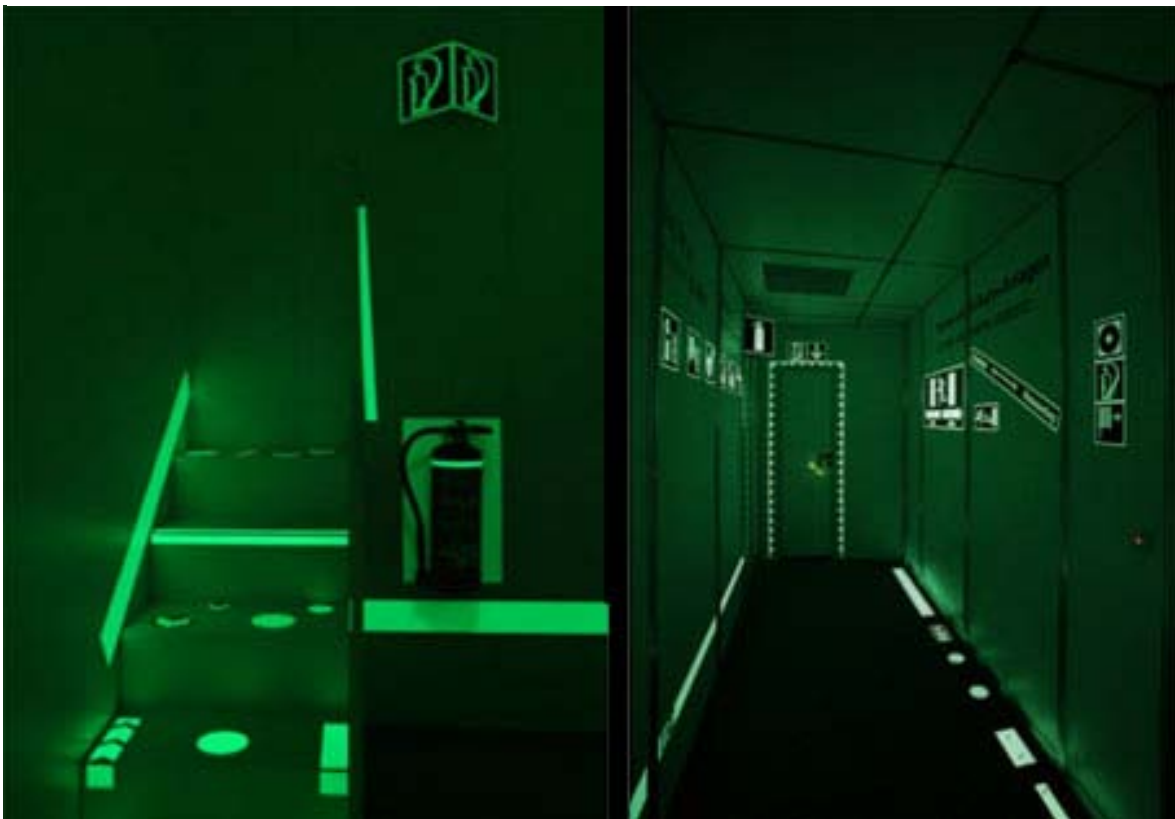


Ilustración 399, Aplicación de señalización fotoluminiscente a ruta de escape

La iluminación de las rutas de escape horizontal, se debe de hacer de acuerdo a códigos que establecen la máxima cantidad lumínica que debe de aplicarse en estos casos. (Ver tabla en pagina 183). La iluminación no debe de ser tal, que produzca un efecto encefecedor en el usuario que intenta salir, sino más bien, dentro de los límites y del

espaciamiento necesario para que alumbre y permita visibilidad, sin llegar a ser deslumbrante.

Existen 3 posibilidades de iluminación para rutas de escape horizontal:

- Uso de lámparas de emergencia
- Uso de lámparas comunes como iluminación de emergencia
- Uso combinado de lámparas comunes y lámparas de emergencia

Es posible hacer uso de cualquiera de las 3 posibilidades, aunque cada una de ellas, tiene un comportamiento diferente al momento de ser necesaria la iluminación de emergencia. Si se utilizan lámparas de emergencia, el espaciamiento entre estas de acuerdo a estándares internacionales puede ser de hasta 13.8 metros (45 pies), si se utilizan lámparas comunes como iluminación de emergencia, estas deben de ser gobernadas por un sistema que apague algunas lámparas intermedias, de tal manera que la distancia entre lámparas encendidas sea de 8 metros (26 pies), y si se usa la combinación entre lámparas de emergencia y lámparas comunes, el espaciamiento entre lámparas deberá ser de 11.2 metros (37 pies).

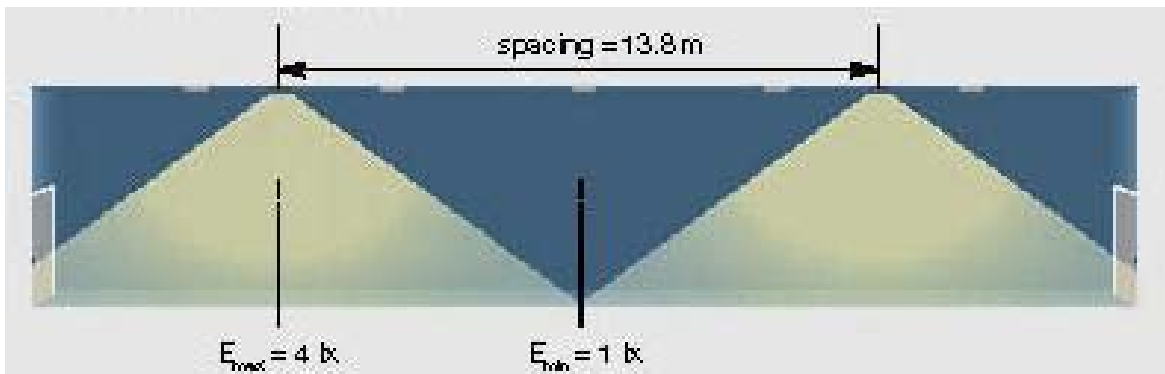


Ilustración 401, espaciamiento entre lámparas de emergencia

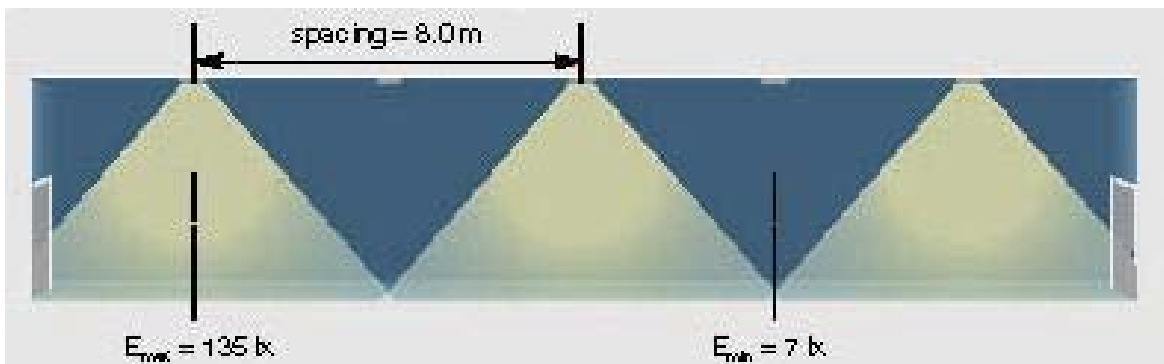


Ilustración 402, espaciamiento entre lámparas comunes, usadas como iluminación de emergencia

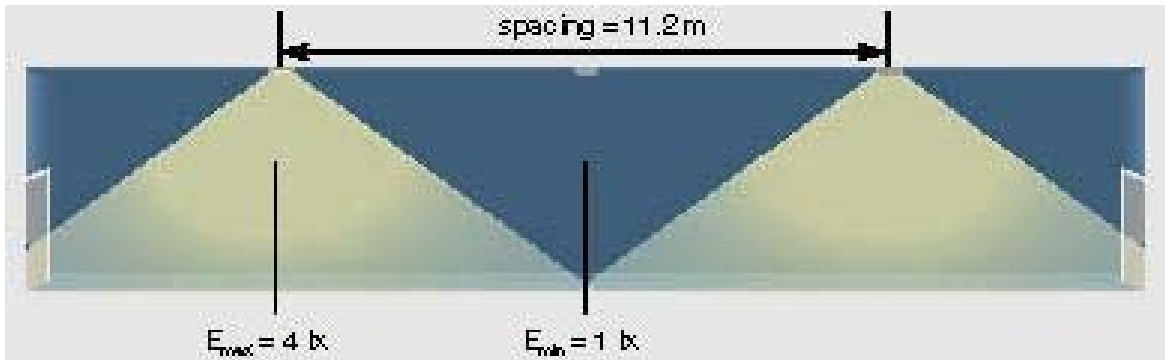


Ilustración 403, espaciamiento entre combinación de lámparas, de emergencia y de uso común



Ilustración 404, Prueba de iluminación de emergencia en corredor de edificio habitacional, Frankfurt, Alemania, obsérvese la distancia entre elementos de iluminación

Para rutas de escape vertical

Las rutas de escape vertical, deben de integrar como mínimo, las siguientes características:

- Resistencia al fuego para el periodo de tiempo proyectado
- Señalización que indique las puertas de acceso vistas desde dentro del modulo de gradas, por nivel
- Pasamanos de seguridad, posicionado al centro de las gradas, dividiendo el flujo en 2 partes, cuando el ancho de las gradas supera 2 metros
- Sistema de presurización por aire para mantener el humo fuera del modulo de gradas.
- Iluminación de emergencia, de acuerdo a códigos vigentes
- Señalización que indique el correcto trayecto de las gradas en el camino ascendente o descendente
- Puertas a prueba de fuego y de humo, por cada nivel, y en el último tramo de salida hacia el exterior, las cuales deben de permanecer cerradas en todo momento, y contar con mecanismo de fácil apertura al momento de la evacuación
- Dimensiones calculadas para proponer anchos que permitan una evacuación eficiente en momento de emergencia.
- La altura entre la última de las gradas y el descanso superior inmediato, no deberá ser en ningún caso menor a 2 metros.
- El acabado de las gradas, deberá ser tal que evite que los usuarios se resbalen, por lo que se deberá de considerar un acabado rugoso o rustico, no pulido.
- La mínima huella aceptada para gradas de emergencia será de 28 centímetros, y la mínima contrahuella aceptada para gradas de emergencia será de 16 centímetros.
- La iluminación a colocarse en gradas, deberá ser tal que ilumine de forma perpendicular el desarrollo de las gradas, sin provocar sobras sobre las huellas o contrahuellas.
- Las puertas de los módulos de gradas de emergencia, deberán de estar dotadas de mecanismos de cierre automático, de tal manera que cuando el usuario trasponga las puertas y olvide cerrarlas, estas puedan cerrarse de manera automática cetras de él, de forma que no se pierda el sello que garantice un ambiente libre de humo o de gases dentro del modulo de gradas, y que no escape el aire presurizado en caso de existir equipo de inyección de aire a contrapresión.
- Si por alguna razón existen ventanas en los módulos de gradas de emergencia, estas deberán de estar dotadas de resistencia al fuego de por lo menos 30 minutos.

Protección contra fuego

Al igual que el diseño de las rutas de escape horizontal, las rutas de escape vertical deben de contar con la suficiente protección al fuego, por temperatura, gases y humo. La protección de los módulos de gradas de emergencia, debe de contar con especificaciones a cerca de

- Grado de resistencia de mampostería que conforma el ducto de gradas
- Grado de resistencia al fuego en muros alrededor del modulo de gradas, 1.80 metros en todos los sentidos alrededor del modulo de gradas
- Puertas de ingreso a los módulos de gradas, que necesariamente deberán ser a prueba de humo y de fuego, por un periodo determinado de tiempo igual al de evacuación más un porcentaje adicional.
- Sistema de sello de penetración eficiente, que impida el paso de humo y por consiguiente la inutilización de la ruta de evacuación
- Sistema de presurización diferencial, para garantizar una ruta de evacuación libre de humo y de cualquier tipo de gas toxico producto de emanaciones

La resistencia al fuego de los elementos de mampostería que envuelven las gradas de emergencia, puede determinarse, y asignarse el tiempo de protección al fuego, luego de calcular el tiempo de evacuación necesario para salir del edificio. Esta protección al fuego por medio de la mampostería, puede calcularse de acuerdo con ACI 216 (ver pagina 349 a 353)

Los módulos de gradas de emergencia, desde el punto de vista protección contra incendios, deben de estar siempre sellados, de tal manera que pueda evitarse la penetración de humo o gases tóxicos a través de ellos. Con la medida de tener los módulos cerrados, se busca evitar la aparición del efecto chimenea, y de esta manera cumplir con 2 objetivos:

- Mantener las rutas de escape vertical libres y limpias de contaminación en todo momento, para hacer su uso en condiciones donde no existan agentes que produzcan irritación visual o sofocación al momento de descender o de ascender
- Eliminar el riesgo de que por efecto chimenea, los gases se propaguen a todo el edificio por medio de los módulos de gradas, y de esta forma mantener el humo, las llamas y los gases confinados en sectores de incendio específicos

En un estudio efectuado en Inglaterra, por el departamento de comunidades y gobierno local, (estudio BD 2569, Fire Performance of Escape Stairs, Resistencia al fuego de gradas de escape), se procedió a poner a prueba la manera en la que actúa el fuego en recintos que contienen gradas, demostrándose el poder destructivo y la capacidad de anular el movimiento a través de las gradas, cuando no se proporciona puertas para sellar el espacio.

Desde un punto de vista estructural, es válida la opinión de que al momento de ocurrir sismos, los marcos de puertas pueden deformarse y de esta manera impedir que las puertas se abran para permitir el paso de las personas en evacuación. Si bien es un punto de vista valido, se debe de tener en cuenta, que en el proceso de diseño estructural, deberán integrarse todas las cargas, incluida la carga por fuego, para lograr que el modulo de gradas tenga la rigidez necesaria que garantice que no existirán deformaciones que obstruyan la maniobra de abrir y cerrar puertas.

. Cuando se efectúa el análisis desde el punto de vista protección contra incendios, resulta un grave error el no proveer de puertas de confinamiento a los módulos de gradas de emergencia. El código IBC establece que para gradas de emergencia, se debe de estimar la carga viva a razón de 90 kilogramos por pie cuadrado, de tal forma que se vuelvan lo suficientemente rígidas para resistir carga sísmica, y que los marcos de las puertas no sufran deformaciones que los inutilicen. Las fotografías mostradas a continuación demuestran el comportamiento del fuego en gradas que no tienen puertas resistentes al fuego



Ilustración 405, comportamiento de las llamas en un modulo de gradas no confinado por puertas, imagen obtenida de BD 2569, Fire Performance of Escape Stairs, Inglaterra, octubre 2009

Como se puede observar en las ilustraciones 405 y 406, debido al efecto de arrastre, el fuego tiende a subir, de la misma manera como lo hacen los gases calientes y el humo, de tal forma que bastara con un nivel que no esté protegido por puertas resistentes al fuego, para que este se propague de una manera descontrolada. El humo, como se recordara, contiene combustibles que no han sido consumidos en su totalidad, al alcanzarse determinado punto de concentración, el humo se vuelve inflamable, incendiando en llamas todo lo que encuentra a su paso, y saturando de gases tóxicos o calientes el interior de cualquier modulo de gradas no protegido.



Ilustración 406, comportamiento de llamas en un modulo de gradas no confinado por puertas, imagen obtenida de BD 2569, Fire Performance of Escape Stairs, Inglaterra, octubre 2009

Las puertas resistentes al fuego, están catalogadas dependiendo del fabricante, en periodos de tiempo que esta comprendidos en intervalos de 30 minutos, desde 30 minutos hasta 240 minutos. Se debe de especificar en planos las características y especificaciones técnicas de dichos elementos.

Puertas cortafuegos

Las gradas de emergencia deben de contar con puertas, como ya se ha dicho, resistente al fuego. Como se puede observar en las



ilustraciones 405 y 406, cuando un modulo de gradas no cuenta

Ilustración 407, el uso de puertas resistentes al fuego, garantiza que los módulos de gradas no se convertirán en puntos vulnerables de propagación de humo y gases

con puertas, se convierte en un punto vulnerable en el sistema de incendios.

Las puertas resistentes al fuego, de acuerdo a sus características, existen de 2 tipos:

- Puertas resistentes al fuego, las cuales cumplen con requerimientos internacionales de capacidad portante, integridad, aislamiento térmico y estanqueidad contra humos
- Puertas parallamas, las cuales cumplen con los requerimientos internacionales de capacidad portante e integridad



Ilustración 408, las puertas a prueba de fuego son elementos que han sido ensayados bajo diferentes normativas para garantizar su resistencia al fuego, su capacidad portante, su integridad y su estanqueidad ante humo

Cuando se especifican puertas cortafuegos, se debe de especificar el tipo de resistencia que deben de tener estas, en intervalos de la siguiente manera:

- 30 minutos
- 60 minutos
- 90 minutos
- 120 minutos
- 240 minutos

Es necesario saber bajo que ensayos o normas han sido construidos las mismas, para saber de acuerdo a normativas el tipo de resistencia que pueden tener a determinados factores.

Señalización e iluminación

Cuando se habla de señalización e iluminación de rutas de escape verticales, son aplicables los mismos parámetros que para rutas de escape horizontales, dado que las señales de evacuación se encuentran estandarizadas para ser iguales. Cuando se coloca la señalización de evacuación en rutas de escape verticales, se debe de recordar que esta debe de especificar el sentido hacia donde el usuario encontrara la salida al final del recorrido, así como el nivel en el que el usuario se encuentra.

En el caso de estas, el alcance visual no estará separado por grandes espacios, dado que el espacio visual que se deberá de calcular será solamente el necesario para poder las señales a una distancia equivalente a la de la longitud del modulo de gradas.

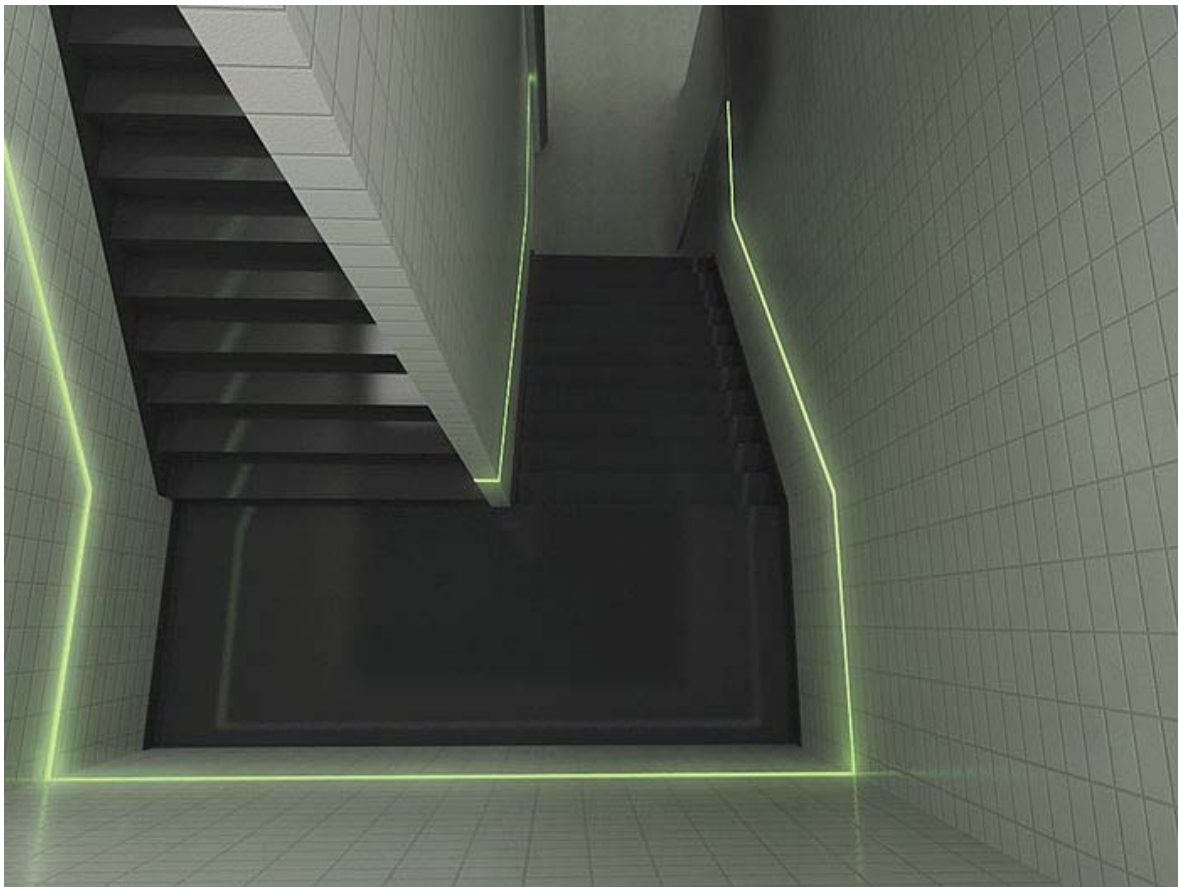


Ilustración 409, señalización fotoluminiscente de recorrido de gradas

La iluminación de las gradas de emergencia, obedece también a parámetros normados de manera internacional, de tal forma que el efecto de la iluminación no sea enceguedor ni deslumbrante cuando el usuario ingresa a las gradas. (Ver pagina 183).



Ilustración 410, iluminación por leds para contrahuellas

Existen algunos tipos de lámparas que pueden ser aplicados puntualmente en cada una de las contrahuellas de las gradas de emergencia, de manera que proveen iluminación puntual para cada grada, a la vez que establecen una línea visual a seguir en el camino hacia afuera.

Cuando son colocadas lámparas individuales de iluminación, se debe de tener el cuidado de colocarlas de tal manera que la luz se distribuya desde una pantalla focal hacia las gradas sin dejar espacios que proyecten sombras o penumbras sobre cada una de las huellas o contrahuellas, de la manera que se

ejemplifica en la figura ilustración 410



Ilustración 412 iluminación empotrable para contrahuellas en grada de emergencia



Ilustración 411, Colocación de lámparas focales en gradas de emergencia

Protección de vías de escape por medio de presurización de aire

Los módulos de gradas, deben de estar correctamente protegidos por muros con resistencia al fuego por periodos de tiempo calculados, así como por puertas cortafuegos que garanticen que no existirá paso de humos hacia las rutas de escape vertical. De otra forma, estas se vuelve ineficaces, y contribuyen a la propagación de gases y de humos por efecto de aspiración o efecto chimenea (véase pagina 395)

Para evitar esta contaminación, es esencial lograr que los módulos de gradas de emergencia sean ambientes que tengan un sello especial de estanqueidad ante humos y gases tóxicos.

Esto se logra por medio de la aplicación de los sellos de penetración donde estos sean necesarios (véase página 372) y el suministro de puertas contra fuego que garanticen en todo momento el hermetismo del ambiente contra el humo y gases.

Cuando se lleva a cabo una evacuación, de una manera inevitable, las puertas permanecerán abiertas durante un periodo de tiempo conocido como flujo calculado de evacuación (véase página 434). En esta fracción de tiempo que las puertas permanecen abiertas, se debe de asumir que de las rutas de escape horizontales, puede existir contaminación por humos o por gases.

Para contrarrestar el posible efecto de contaminación del módulo de gradas, se debe de proveer una presión diferencial que empuje hacia afuera del módulo los posibles agentes contaminantes que puedan existir, y adicionalmente, cuando las puertas estén cerradas, garantizar que por efecto de empuje, el humo y los gases permanezcan afuera del módulo de gradas proporcionando de esta manera un ambiente libre de humos irritantes y sofocantes, y dando un suministro de aire fresco a las personas que van descendiendo o ascendiendo hacia la salida y al punto de reunión exterior final.

NFPA 92A, Manual de Prácticas Recomendadas para Control de Humos, es el reglamento que contiene información y parámetros del cálculo para los sistemas de control de humos en las edificaciones en condiciones de incendios.

El sistema de control de humo por medio de presurización de escaleras funciona de la siguiente manera:

- Inicia el incendio, generando humo que empieza a propagarse por el ambiente donde empezó el fuego
- Los detectores de humo dan una señal de alarma,

la cual es captada por una central de incendios, que

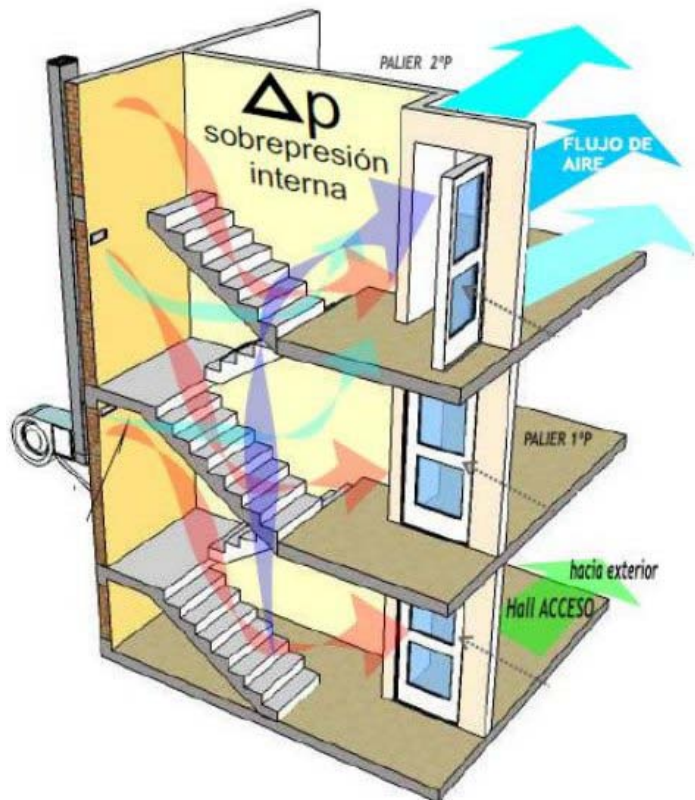


Ilustración 413, diagrama de funcionamiento de un sistema de presurización de gradas de emergencia

dispara señales auditivas para que inicie la evacuación

- Al mismo tiempo, entra en funcionamiento un equipo ventilador o equipo compresor que inyecta aire por un sistema de ductos, hacia el módulo de gradas únicamente, o bien hacia el módulo de gradas y hacia las rutas de escape horizontal, si el diseño así lo tiene contemplado
- El usuario puede descender de manera segura, sin que el humo o los gases puedan penetrar por ninguna parte, debido a la diferencia de presiones.

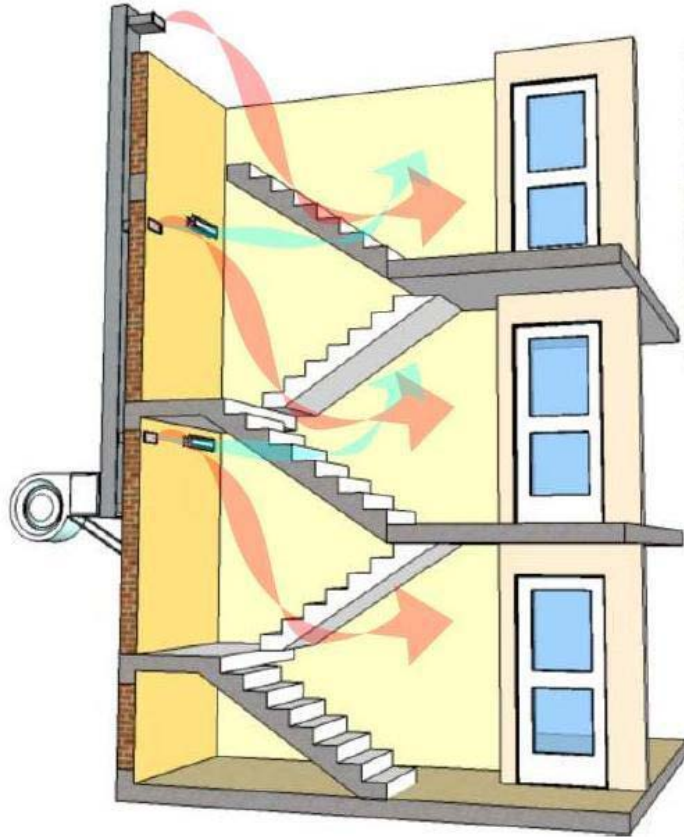


Ilustración 414, el flujo de aire inyectado, mantiene la presión dentro del módulo de gradas, evitando el ingreso de humos o de gases tóxicos

Por medio de un sistema de control de humos por presurización, se logran 2 efectos colaterales, al impulsa aire a presión dentro de los módulos de gradas o en las rutas de escape horizontal, se logra crear una presión diferencial, que empuja hacia afuera de estos espacios, cualquier vestigio de humo o de gas que pudiera amenazar con entrar a los medios de escape. Por otro lado, el aire presurizado que pudiera escapar por puertas o por cualquier otra abertura no sellada, impulsa el humo y los gases de tal manera, que los obliga a salir del edificio de una forma forzada, por lo que se lograra el control de humo en otros ambientes, sea planificado o por efecto de escape.

De acuerdo con lo establecido por NFPA 92A, la presión que exista por aire impulsado dentro de ductos o por módulos de gradas, no debe de ser mayor que la que se necesita para abrir puertas, de tal manera que se evite la apertura de las mismas de manera accidental, ni debería de ser menor de tal forma que el humo pudiera penetrar en los ambientes que se desea aislar, por efecto chimenea, por efecto de flotabilidad de gases, o por diferencia de densidades. Es posible entonces saber cuánta presión se necesita para mantener fuera el humo, a través de las puertas que estarán en comunicación con los módulos de gradas. Como parámetro de referencia, los valores establecidos por NFPA 92.A como máximos y mínimos son 0.21 y 0.45 pulgadas de agua, la presión atmosférica en la Ciudad de Guatemala está alrededor de 1.015 milibares, la conversión entre milibares y pulgadas de agua es

1 milibar \approx 0.4 pulgadas de agua

De esta relación, se puede saber que realmente no es una presión como si se tratara de aire comprimido, sino más bien solo lo necesario para mantener el humo alejado de los ambientes que se está presurizando.

NFPA 92.A establece algunas configuraciones en las cuales pueden proponerse los equipos de inyección de aire, los cuales pueden ser:

- Sistema de presurización de aire con bypass
- Sistema de presurización de aire con ventilación al exterior
- Sistema de presurización de aire por ventilador cenital
- Sistema de presurización de aire por inyección superior
- Sistema de presurización de aire por inyección múltiple
- Sistema de presurización de aire por inyección múltiple con ventilador centrífugo superior

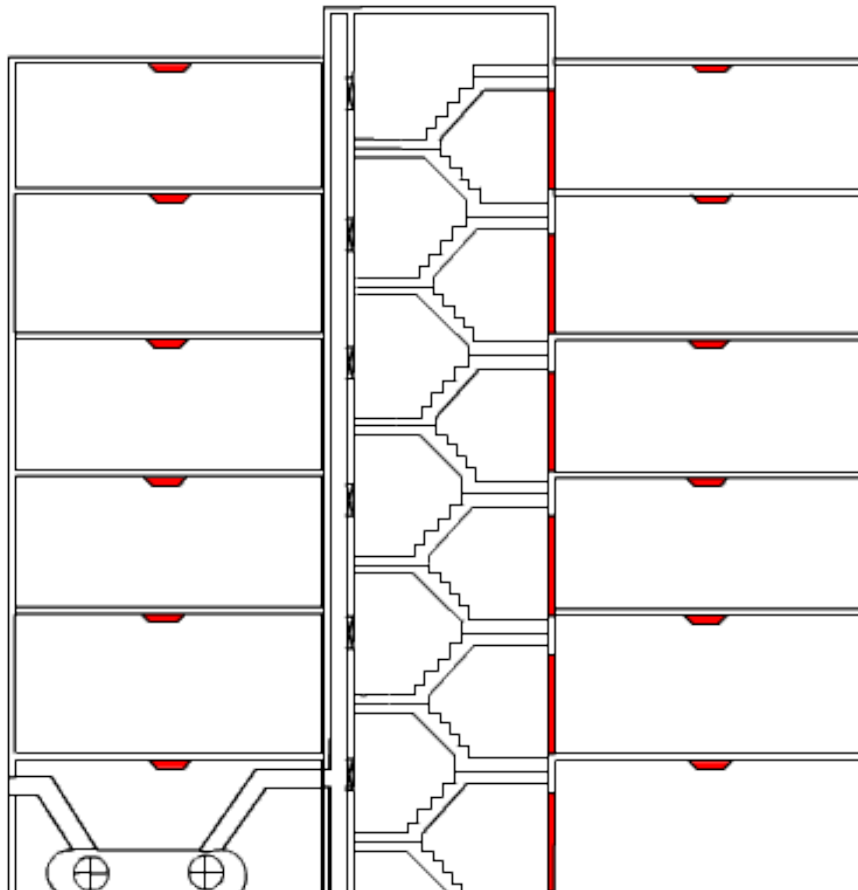


Ilustración 415, esquema de funcionamiento de un sistema presurizador

Sistema de presurización de aire con bypass

En este sistema, la presurización de aire se efectúa por medio de un equipo ventilador centrífugo, que está montado de forma lateral al ducto de gradas que se desea presurizar. Este tipo de montaje es un sistema auto regulable, que toma en cuenta la demanda de aire que se hace necesaria, en función de la cantidad de puertas que se encuentren abiertas al momento de estar en funcionamiento. Por medio del bypass, pueden regularse una serie de válvulas, que regulan la abertura del sistema de bypass, compensando la cantidad de aire que sea necesaria inyectar. El sistema funciona por medio de una serie de ductos que corren de manera paralela al ducto de las gradas de emergencia, y tiene una rejilla de salida en cada descanso del módulo de gradas. En este tipo de sistema, la inyección de aire es lateral, e inicia desde abajo hacia arriba, hasta la última de las rejillas que deba de ser surtida con presión de aire. Puede tener una salida de aire lateral, si es necesario, o puede estar cerrado completamente hermético. Este sistema puede ser aplicable cuando por las necesidades espaciales del proyecto, no exista posibilidad de montar equipos en niveles superiores, de tal forma que ofrece la facilidad de poder ubicarlo en un nivel inferior cercano al suelo, donde la ubicación del mismo puede facilitar los procesos de mantenimiento o reparaciones necesarias.

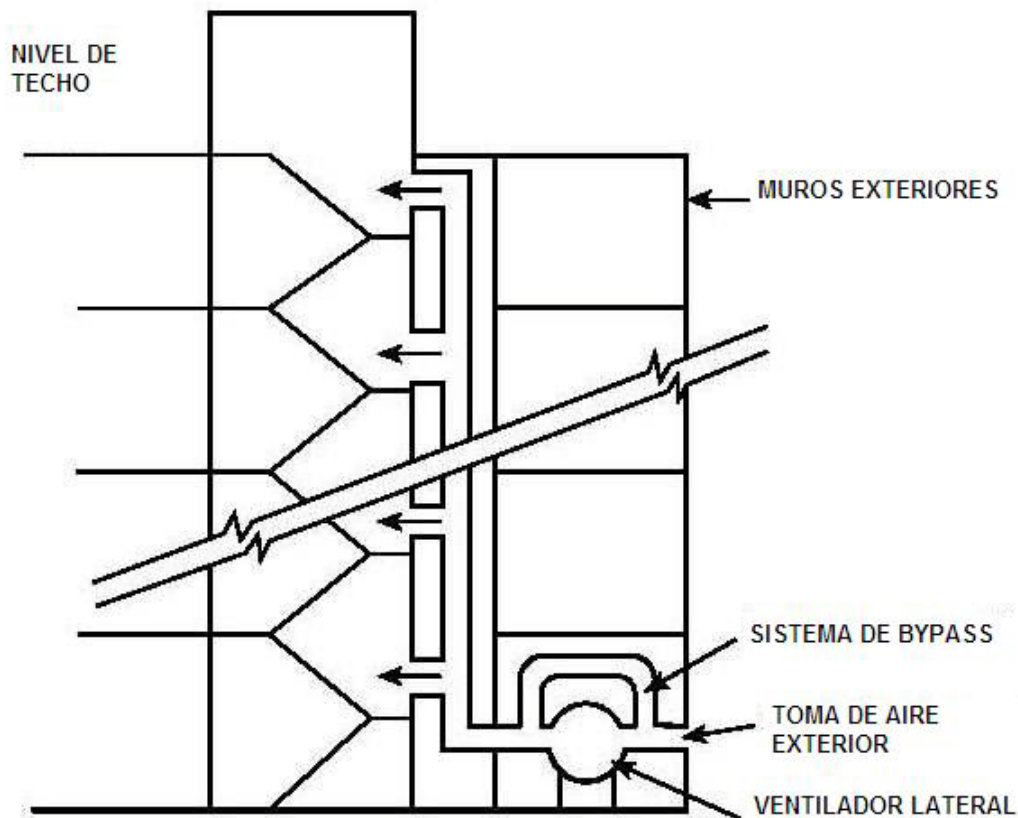


Ilustración 416, sistema de presurización por medio de bypass, imagen obtenida de NFPA 92.A versión en inglés.

Sistema de presurización de aire con ventilación al exterior

En este tipo de sistemas, el ventilador propulsor de aire, puede ir montado de forma lateral también, sin importar su altura de instalación. Este sistema está compensado de tal manera que reemplaza el aire sin hacerlo recircular, dado que la característica de este es que tiene una toma hacia el exterior, con lo cual ventila o evacua la atmósfera hacia afuera, proporcionando una renovación de aire constante.

Las aberturas y el circuito de ductos, corren de manera lateral al ducto de gradas, de tal forma que existen aberturas que son las conductoras del aire hacia los descansos de las gradas, haciendo que el módulo mantenga una presión constante en todo su cuerpo.

El aire es impulsado en este sistema, y de una manera forzada, se ve expulsado hacia afuera por medio de una serie de ventanas tipo sifón que son colocadas en la parte alta del módulo de gradas, de tal manera que se hace posible que salga el aire y que exista un flujo constante de aire fresco que es inyectado hacia el módulo de gradas constantemente.

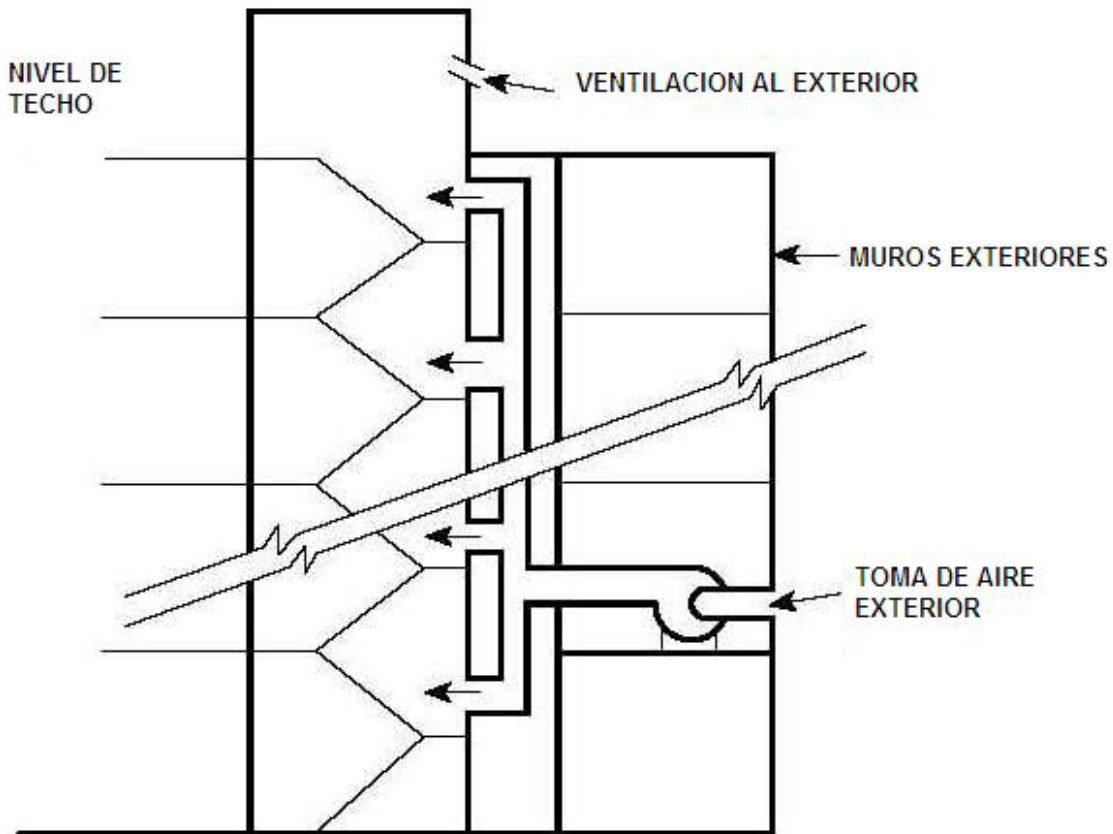


Ilustración 417, Sistema de presurización con ventilación al exterior, imagen obtenida de NFPA 92.A, versión en inglés

Sistema de presurización por medio de ventilador cenital

En este tipo de sistema, se provee el flujo de aire para presurizar el módulo de gradas de emergencia por medio de un equipo ventilador que esta posicionado en la parte superior del módulo de gradas.

Este ventilador, toma el aire del exterior, y lo impulsa a presión hacia dentro del modulo de gradas de emergencia, desde la parte superior hacia abajo, inyectándolo de tal manera creando una turbulencia controlada, mientras que hace circular el aire dentro del modulo de gradas.

Cuando se aplica un sistema de presurización por medio de ventilador cenital, estos sistemas carecen de circuito de ductos, por lo que su instalación puede darse independientemente de si en el diseño original estuvo contemplado un ducto para presurización de aire hacia gradas. Estos sistemas, son ideales para edificaciones donde no existió un diseño previo contra incendios, y se desea presurizar los módulos de gradas, ya que no necesita de ningún otro tipo de obra adicional.

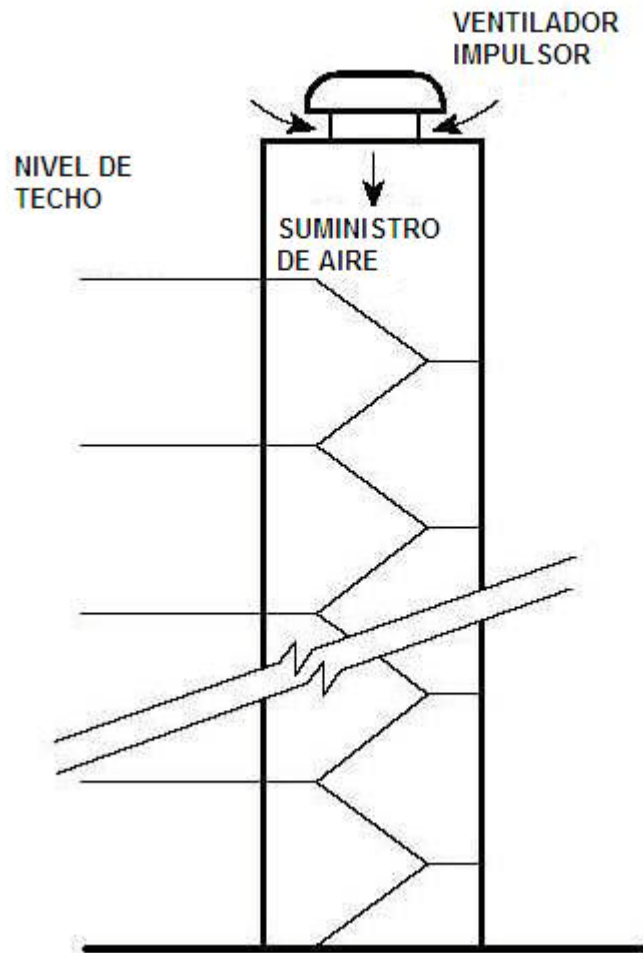


Ilustración 418, Sistema de presurización de aire por medio de ventilador cenital, imagen obtenida de NFPA 92.A, versión en inglés

Sistema de presurización de aire por medio de inyección superior

En este tipo de sistemas, la inyección de aire se hace por medio de un equipo que se localiza en la parte superior del edificio.

Este sistema de inyección de aire es uno de los más sencillos, dado que la presión de aire es impulsada por un ventilador centrífugo montado de forma lateral, que impulsa el aire hacia abajo, desde su posición horizontal. Es un sistema que igual que el sistema de ventilador cenital, carece de circuito de ductos, por lo cual es de fácil instalación en proyectos donde no se considero en el diseño inicial los ductos para inyección de aire.

Tiene la desventaja que por ser un sistema de inyección directa no compensado, la presión de aire se pierde cada vez que una de las puertas se abre, y es mayor la pérdida de aire conforme la puerta se acerca más al nivel de instalación del equipo ventilador.

Esta condición de pérdida de aire se hace especialmente severa cuando la altura de instalación e impulsión de aire supera los 30 metros, cuando esta altura es superada, se debe de hacer un ajuste específico para proveer aire de reemplazo al equipo que impulsara el aire dentro del modulo de gradas.

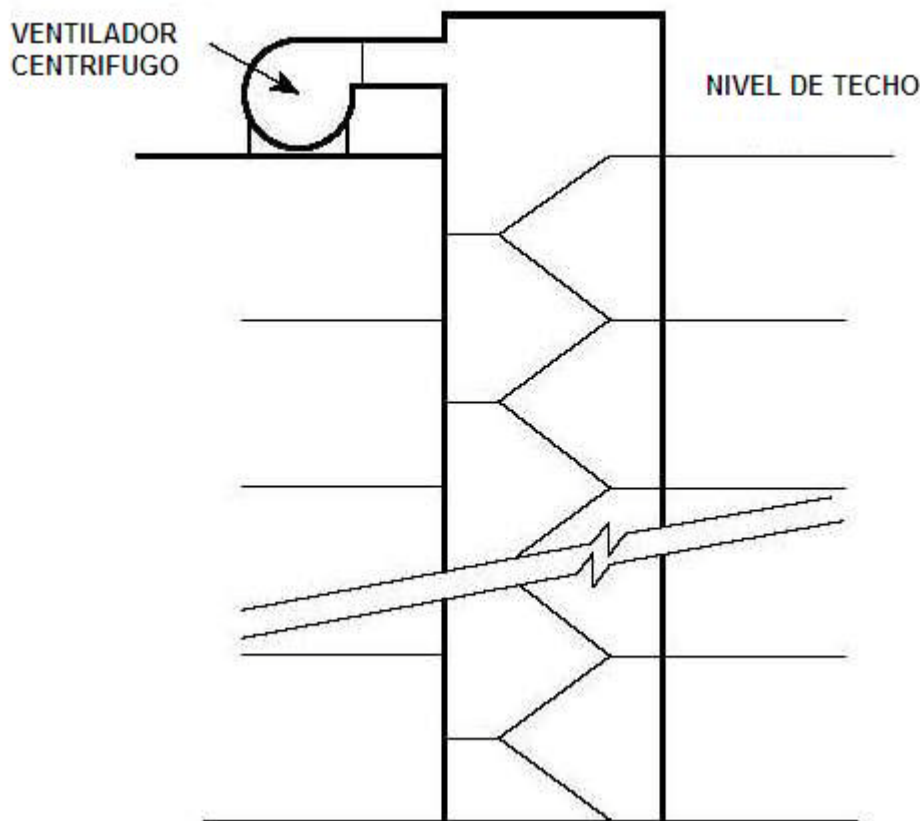


Ilustración 419, Sistema de presurización de aire por inyección superior, imagen obtenida de NFPA 92.A, versión en inglés

Sistema de presurización por inyección múltiple, e inyección múltiple con ventilador centrífugo superior

En los sistemas por inyección múltiple, existe una serie de ductos que pueden ser o no parte del diseño original. Cuando estos son parte del diseño original, son ductos laterales que suben paralelo al modulo de gradas, con rejillas que inyectan aire a lo largo del trayecto, ya sea por los descansos, o en mas altura.

Cuando los ductos no son parte del diseño original, se efectúan perforaciones a la altura que sea necesaria, para posicionar los ductos, que serán sostenidos por una estructura portante independiente a la estructura del edificio original.

En estos sistemas, la inyección de aire es lateral, y se da por multiples salidas en los sistemas de ductos, pudiendo estar estas a alturas variables.

La localización del equipo impulsor de aire, puede estar a nivel de suelo, o a nivel de los pisos iniciales.

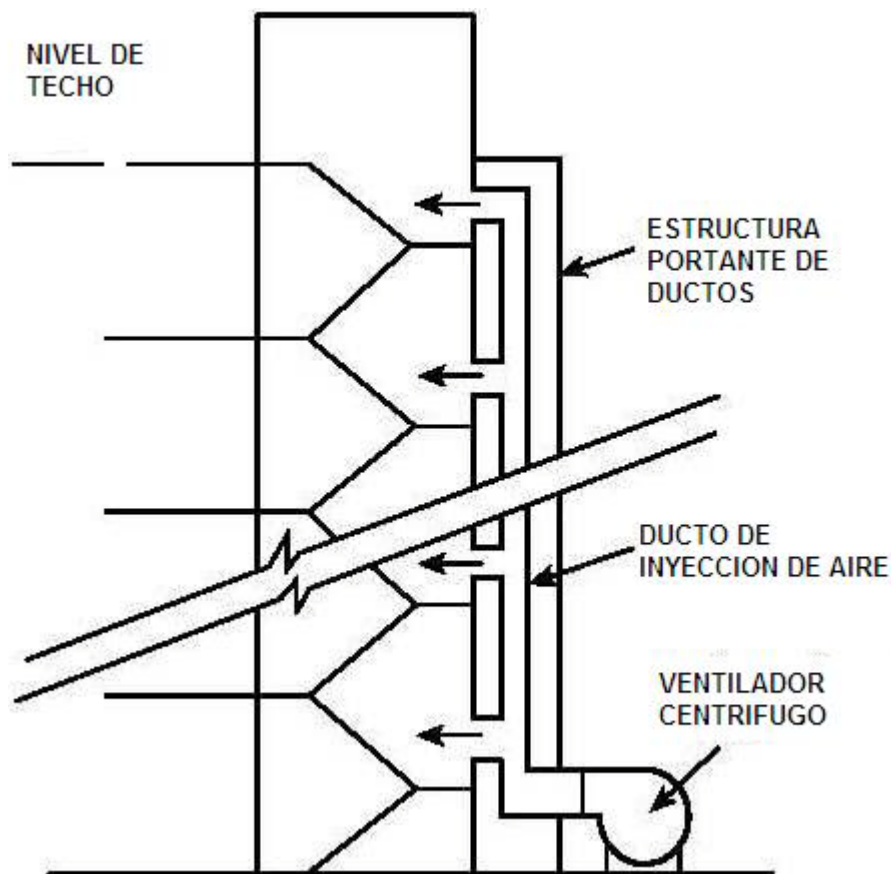


Ilustración 420, sistema de presurización de aire por inyección múltiple, imagen obtenida de NFPA 92.A, versión en Inglés

En el caso de los equipos de inyección múltiple con equipo ventilador superior, el sistema básicamente es el mismo, pero la diferencia es que la inyección del aire se hace desde una posición superior, y el montaje del equipo impulsor es a nivel de techo de la edificación.

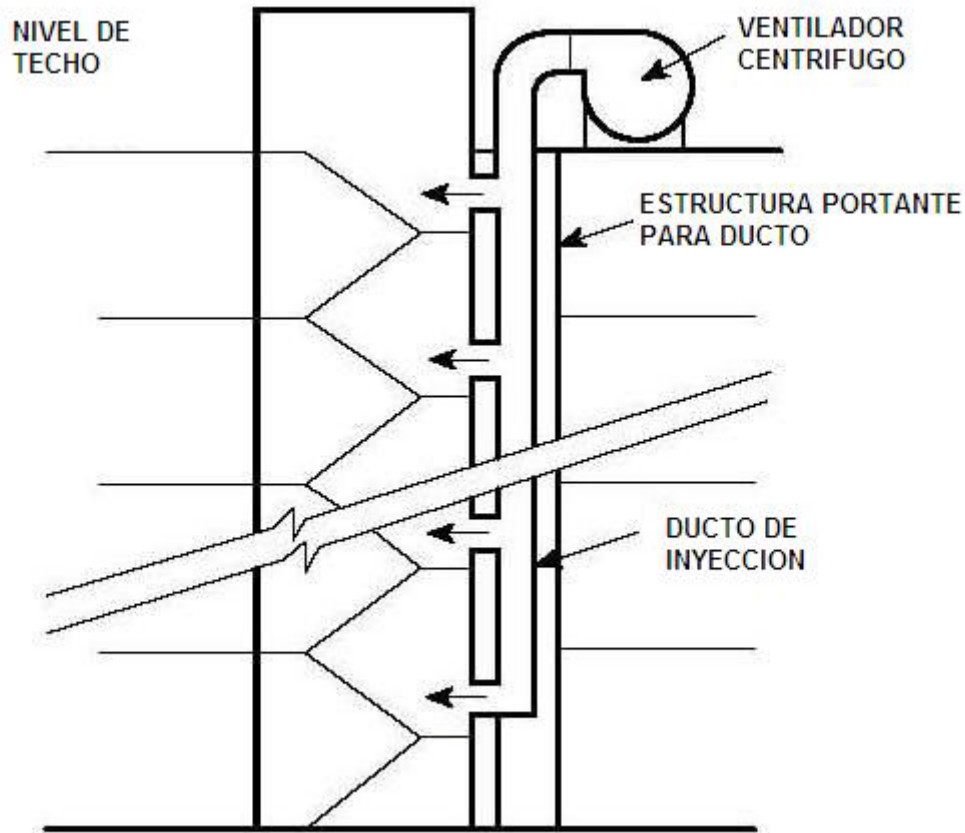


Ilustración 421, sistema de presurización de aire por inyección múltiple con ventilador superior, imagen obtenida de NFPA 92.A, versión en inglés.

Calculo de caudal de aire para sistemas de presurización de vías de escape

Cuando se procede a calcular el caudal de aire a dotar, se necesitara de los siguientes datos:

Si es un sistema con circuito de ductos:

- Area de la sección transversal del ducto, en metros cuadrados.
- Area de la sección transversal de las puertas que se encuentren en el modulo de gradas
- Paso de aire por puertas abiertas, que de acuerdo a la norma UNE 100040, debe de estar entre 0.75 y 0.5 m³ por segundo.

Si es un sistema sin ductos:

- Área de la sección transversal de las puertas que se encuentren en el modulo de gradas
- Paso de aire por puertas abiertas, que de acuerdo a la norma UNE 100040, debe de estar entre 0.75 y 0.5 m³ por segundo.

Partiendo de estos datos, el caudal de aire necesario se puede calcular de la siguiente manera:

$$Q = S_p * C_{ap} * 3600$$

Donde

Q = caudal de aire, en metros cúbicos por hora

S_p = área de puertas, en metros cuadrados

C_{ap} = caudal de aire necesario a través de las puertas, con limites de 0.5 a 0.75 m³/hora

Esto proporcionara el caudal de aire en metros cúbicos por hora que será necesario impulsar, por cada puerta que pueda estar abierta o cerrada.

Se debe de comparar este caudal, con la velocidad máxima en metros por segundo permitida para ductos de ventilación, que no debe de superar 10 metros por segundo. Esta comparación se efectuara por medio de dividir el caudal resultante dentro de 3600, esto nos dará el caudal en metros cúbicos por segundo. Posterior a esto, se procederá a dividir el caudal en metros cúbicos por segundo dentro del área de la sección transversal del sistema de ductos, que estará expresada en metros cuadrados. La resultante de esa división, nos dará la velocidad en metros por segundo, que no debe de superar 10, en caso de que sea superada, podrá hacerse el ajuste necesario reduciendo el valor del caudal de aire de 0.75 a 0.5 que son los limites que establece la norma.

La presión generada por el aire en la puerta, no debe de sobrepasar límites establecidos de acuerdo a NFPA 92.A, valores que pueden estar comprendidos en los siguientes rangos

Máximas diferencias de presión a través de puertas					
fuerza de cierre de puerta (Lbf)	Ancho de puerta / presión necesaria (pulgadas de Agua)				
	32	36	40	44	48
6	0.45	0.4	0.37	0.34	0.31
8	0.41	0.37	0.34	0.31	0.28
10	0.37	0.34	0.3	0.28	0.26
12	0.34	0.3	0.27	0.25	0.23
14	0.3	0.27	0.24	0.22	0.21

Tabla 49, máximas diferencias de presión de aire a través de puertas, tabla de elaboración propia, datos obtenidos de NFPA 92.A, versión en ingles.

Existen algunos equipos ventiladores que pueden proveer el caudal que sea necesario dotar, aunque la mejor opción será siempre consultar al fabricante, se presentan a continuación algunos datos de equipos, para tener una referencia rápida en cuanto a potencia y peso, que son parámetros que para efectos del diseño arquitectónico, se deben de tener como referencia rápida

caudales nominales de algunos equipos en función de su potencia y revoluciones						
potencia de motor		revoluciones ventilador		caudales a revolución		peso neto del equipo (kg)
mínima (kW)	Máxima (kW)	Mínima (r.p.m)	Máxima (r.p.m)	mínima (m ³ /h)	máxima (m ³ /h)	
0.18	0.75	800.00	1800.00	400.00	2800.00	43.00
0.18	1.10	800.00	1500.00	1100.00	4250.00	52.00
0.37	1.50	600.00	1300.00	1500.00	6200.00	66.00
0.37	2.20	500.00	1300.00	1000.00	9800.00	88.00
0.55	4.00	300.00	1000.00	2000.00	12800.00	108.00
1.10	5.50	400.00	900.00	3000.00	21000.00	147.00
1.50	7.50	300.00	800.00	4000.00	23800.00	270.00
2.20	11.00	300.00	800.00	4000.00	32000.00	309.00
2.20	11.00	250.00	650.00	5000.00	39800.00	350.00
2.20	15.00	200.00	550.00	6000.00	55000.00	472.00

Tabla 50, caudales nominales de equipos de ventilación forzada, en función de su potencia, tabla de elaboración propia, datos obtenidos de Soler y Palau, catalogo electrónico de equipos de 4 polos trifásicos.

Los niveles sonoros de los equipos contenidos en la tabla anterior, son de 46 a 49 decibelios, a 2/3 de la potencia máxima, aunque estos niveles sonoros varían de acuerdo al fabricante.



CAPITULO 6

PROCESO DE DISEÑO DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS PARA PROYECTOS DE ARQUITECTURA



En palabras de Marco Vitruvio, “La arquitectura es una ciencia adornada de muchas otras disciplinas y conocimientos”.⁶² Con esta definición en mente, el arquitecto debe de estar en condiciones de valerse de todos y cada uno de los recursos existentes en cuanto a conocimientos, para que el diseño de la arquitectura como tal sea un producto terminado que no solamente cumpla con los requerimientos de confort, comodidad, ergonometría, proporción y forma, sino que también sea seguro ante muchas variables a las cuales se debe de tener en cuenta al momento de tomar las decisiones de diseño.

En la actualidad en Guatemala, se carece de un código específico que regule el diseño de arquitectura y la construcción desde el punto de vista protección contra incendios, lo cual hace que muchas veces este enfoque quede relegado al último lugar, ignorando la importancia que este tema involucra para la seguridad de los usuarios en determinadas condiciones. Como profesionales de la arquitectura debemos de tener en cuenta que las decisiones de diseño que se tomen, deben de ser pensadas y analizadas desde todos los puntos de vista que la arquitectura demanda, incluyendo la protección contra incendios.

A lo largo de este documento, se ha estudiado la patología del fuego, el comportamiento de algunos materiales de construcción, la carga por fuego y el tiempo de exposición equivalente, los sistemas de protección activa y pasiva, y finalmente, la compartimentación, control de humos y rutas de evacuación, todos estos temas han sido estudiados con la finalidad de tener una perspectiva amplia para el diseño del sistema contra incendios como parte de las instalaciones especiales a dotarse en un proyecto de arquitectura.

Una vez analizados los sistemas de control y supresión de incendios existentes localmente, se tiene la herramienta principal, El conocimiento, para poder diseñar la protección necesaria para el proyecto que se esté planificando.

Al momento de la planificación, es necesario que después de haber estudiado cada uno de los diferentes sistemas, se haga la elección del sistema adecuado para el tipo de diseño de arquitectura que corresponda, dado que existen diferentes agentes de supresión de incendios y cada uno de ellos tiene características que lo hacen idóneo para determinado tipo de aplicaciones.

La incorrecta elección del agente supresor inutilizaría totalmente la finalidad del sistema, haciéndolo ineficaz, e igualmente dañino que las llamas, al reaccionar de una manera destructiva al tipo de mobiliario, bienes o contenido que sea necesario proteger de la acción del fuego.

Es en este punto donde después del estudio de cada sistema por separado, se llega a las siguientes preguntas:

- ¿Qué factores de debe de tomar en cuenta al diseñar el sistema contra incendios?
- ¿Cómo diseñar el sistema contra incendios?
- ¿Cómo elegir el agente supresor adecuado?

⁶² De Architectura, I a C. Traducción de Ortiz y Sanz, 1787, Libro I, Capítulo III

Los códigos y normativas internacionales contra incendios (NFPA, IRAM, BS, UNE, Etc.) ofrecen parámetros bajo los cuales las construcciones pueden planificarse de manera segura, de tal forma que cumplan con requisitos mínimos que las ubiquen dentro de los márgenes de seguridad para el usuario internacionalmente reconocidos. Es necesario que el profesional de la arquitectura se valga de la consulta de estas herramientas a su disposición, de tal manera que al momento de tomar una decisión de diseño, esta cumpla no solamente con los requerimientos arquitectónicos, sino también con los estándares de seguridad que necesariamente deben de cumplirse al momento de planificar.

Criterios de análisis de Protección contra incendios en función del diseño Arquitectónico

Cuando se diseña un proyecto de arquitectura, se hace uso de los conocimientos en cuanto a relaciones espaciales, ergonometría, forma, función, manejo del espacio, jerarquías, materiales, sistemas constructivos, y es en esta fase donde el Arquitecto, como diseñador del espacio, debe de analizar cada decisión de diseño tomada, y posicionarla en un escenario de riesgo de incendio, para analizar cómo se comportara la configuración espacial frente a la posibilidad de llamas, calor, humo y evacuación.

Si el diseño arquitectónico desde sus fases de anteproyecto se posiciona en un escenario de riesgo de incendio, es muy posible que el arquitecto descubra donde podrían estar algunos puntos débiles y potencialmente peligrosos dentro del espacio propuesto, y es por esto que cuando se diseña un proyecto de arquitectura, se debe de tener en consideración la posibilidad de que el siniestro ocurra, y dotar de los sistemas necesarios para detectar y suprimir la amenaza del fuego, desde sus fases más tempranas.

Factores a tomar en consideración

Al momento de diseñar el sistema contra incendios, debe de tenerse en consideración los siguientes factores:

- Uso del diseño propuesto
- Evaluación del riesgo de incendio
- Dimensiones y configuración espacial de las áreas a proteger
- Materiales y sistemas constructivos
- Mobiliario, mercaderías, mercancías y objetos delicados resguardados dentro del recinto diseñado
- Lugares puntuales de posible ignición
- Posible toxicidad del agente supresor

Uso del diseño propuesto

El uso del proyecto de arquitectura a proteger es, junto con la evaluación del riesgo de incendio, uno de los principales factores a tener en cuenta al momento de diseñar el sistema contra incendios.

Los agentes supresores, así como los sistemas a utilizar, serán elegidos en función del uso del diseño propuesto, ya que de acuerdo a este, se podrá definir cual o cuales serán los sistemas de supresión adecuados a aplicar y especificar en los planos.

Al momento de planificar el sistema contra incendios, y de acuerdo al uso del diseño propuesto, se podrá evaluar la necesidad de hacer uso de más de un sistema y agente supresor, así como de las modalidades que algunos de ellos ofrecen, tales como la aplicación local en posibles fuentes de ignición directa, o la inundación total, en condiciones en las cuales se desee proteger un ambiente completo.

Evaluación del riesgo de incendio

Al momento de planificar el sistema de protección contra incendio, se debe de analizar el proyecto de arquitectura asumiendo que este se encuentra en funcionamiento, contemplando todo lo que este pudiera contener:

- Usuarios al momento del incendio
- Mobiliario y equipo
- Mercaderías y productos almacenados
- Bienes resguardados (en caso de que existan)
- Maquinaria y equipo electromecánico
- Combustibles (minerales, fósiles, sólidos, líquidos o gaseosos)

La evaluación del riesgo de incendio que exista, nos proveerá un parámetro en cuanto a que tan vulnerable al incendio puede ser el proyecto analizado.

Dimensiones y configuración espacial de las áreas a proteger

Al momento de planificar el sistema contra incendios, el arquitecto debe de hacer un análisis meticuloso de las dimensiones y la configuración espacial de las áreas que se planean proteger.

Este análisis es necesario, dado que algunos sistemas se basan en áreas mínimas de cobertura para ser eficientes (sistemas de rociadores automáticos) otros deben de responder a configuraciones espaciales donde se logre un sello casi hermético cuando funcionen por inundación total de tal modo que se alcance la concentración de diseño necesaria para sofocar y suprimir el proceso de combustión (Bromotrifluorometano, halón 1301, dióxido de carbono) y otros son ideales para la aplicación local (Polvos Químicos Secos)

Partiendo de esta perspectiva, en función de la configuración espacial y de la arquitectura, se podrá establecer el agente supresor que más se acople al espacio a proteger, y se podrá decidir si es necesario dotar al ambiente de un sistema de supresión portátil, o si debe de contarse con un sistema de supresión fijo, independientemente del tipo de agente supresor que se elija.

Para hacer este análisis, es necesario que se tenga definido en planta y en sección la arquitectura de los ambientes, ya que de esta manera puede tenerse una visión integral del espacio final que se estará protegiendo por medio de los sistemas, y tomar en consideración cada una de las características espaciales que existan en la arquitectura del proyecto.

Es en esta parte donde el arquitecto deberá tener en cuenta la manera en la cual puede comportarse tanto las llamas como el humo en determinado espacio, suponiendo que por motivos de jerarquía espacial se planifique un vestíbulo de múltiples alturas, se debe de tomar la decisión de donde posicionar los sistemas para extracción de humos, así como decidir si el agente supresor a elegirse deba de usarse por medio de inundación total, o de aplicación local.

Materiales y sistemas constructivos

Al momento de diseñar el sistema de protección contra incendios, se debe de tener en cuenta que los materiales de construcción, así como los sistemas constructivos, también serán parte determinante del grado de protección que deberá de proveerse al proyecto.

Cada uno de los materiales de construcción tiene un comportamiento característico y peculiar ante los efectos del fuego y de la temperatura, (véase Capítulo 2, página 29) y se degradarán de diferente manera al momento de ser expuestos a las llamas, o al calor.

Un sistema de protección contra incendios no se circunscribe únicamente al diseño de los sistemas activos, sino que debe de contemplar también las medidas de protección pasivas aplicadas como protección estructural.

Para poder diseñar el sistema de protección de una manera eficiente, el arquitecto debe de estar totalmente consciente que los materiales de construcción utilizados en el proyecto de arquitectura responden de maneras diferentes ante los efectos de fuego, y en la medida que se tenga un conocimiento más exacto sobre las tensiones admisibles y los puntos de fatiga del material, se estará en capacidad de poder especificar la protección necesaria, en función del periodo de tiempo para el cual se planificarán los recubrimientos adicionales para poder dar protección a la estructura.

Si se omite este factor, se puede comprometer seriamente la integridad estructural del proyecto, y esto puede ser un error potencialmente peligroso para el usuario que deba de evacuar el edificio en condiciones de incendio.

Adicionalmente, existen materiales de construcción que al momento de entrar en proceso de combustión, aparte de generar calor, pueden también generar grandes cantidades de humo, el cual puede obstruir la visibilidad de usuario y de esta manera imposibilitar el proceso de evacuación, ya sea por oscurecimiento de la visión, por irritación ocular, por asfixia, o todos estos factores combinados.

Se debe de contar con un plano de acabados, planos estructurales (Planta de cimentación y columnas, Planta de columnas y vigas, detalles estructurales) para de esta manera poder verificar si existen sistemas de acero y de concreto o madera, y aplicar la protección estructural necesaria en estos puntos.

Existen múltiples alternativas al alcance del diseñador para poder aplicar la protección pasiva de una manera eficiente y arquitectónicamente agradable, de tal manera que a pesar de que la finalidad del sistema es proteger la estructura y sobrellevar el daño, la

perspectiva arquitectónica y visual del proyecto no se vea afectada o minimizada por efectos de protección.

Mobiliario y Equipo

Un proyecto de arquitectura no se diseña como un ente vacío, y como tal, se debe de tener en consideración el arreglo espacial propuesto, así como la naturaleza del mobiliario y equipo que estará contenido dentro de los ambientes.

El mobiliario juega un papel importante, puesto que al momento de iniciar el proceso de combustión este se convertirá en una fuente de aporte calórico, y arderá hasta consumirse totalmente, generando carga combustible. Por ello, se debe de tomar en cuenta el tipo de mobiliario que existirá en el proyecto, y la naturaleza del material del que estará fabricado. Actualmente, en los proyectos de arquitectura puede encontrarse mobiliario fabricado a partir de diversos tipos de materiales, siendo los más comunes:

- Madera (natural)
- Paneles contrachapados (Durpanel, Plywood, MDF)
- Plásticos y resinas poliolefinicas
- PVC
- Cuero
- Tapicería sintética sobre esponja
- Aluminio con recubrimientos vinílicos
- Metal (Hierro, Aluminio, Antimonio, Magnesio, Acero inoxidable)

Cuando se está diseñando el sistema de protección contra incendios, debe de hacerse posicionando cada uno de estos materiales en condiciones de combustión, y como contribuirá al incendio, o cuanta cantidad de humo producirá.

Al momento de hablar de equipo, se debe de recordar que los proyectos de arquitectura, están generalmente dotados de instalaciones electromecánicas, y de equipo electrónico, y el costo de este equipo es en la mayoría de los casos elevado. Se debe de hacer un análisis meticuloso en cuanto a los sistemas de protección que se propondrán, y que estos estén escogidos de tal manera que sus características los hagan compatibles con el uso del ambiente al cual estarán cubriendo.

Los proyectos de arquitectura donde generalmente se encontrara equipo electrónico de gran valor y delicado ante determinados agentes extintores son:

- Hospitales
- Agencias Bancarias
- Estudios de televisión
- Salas de Computo
- Estudios de Televisión
- Estudios de Radiodifusión
- Estudios de Grabación
- Talleres de Impresión (litografía e imprenta)

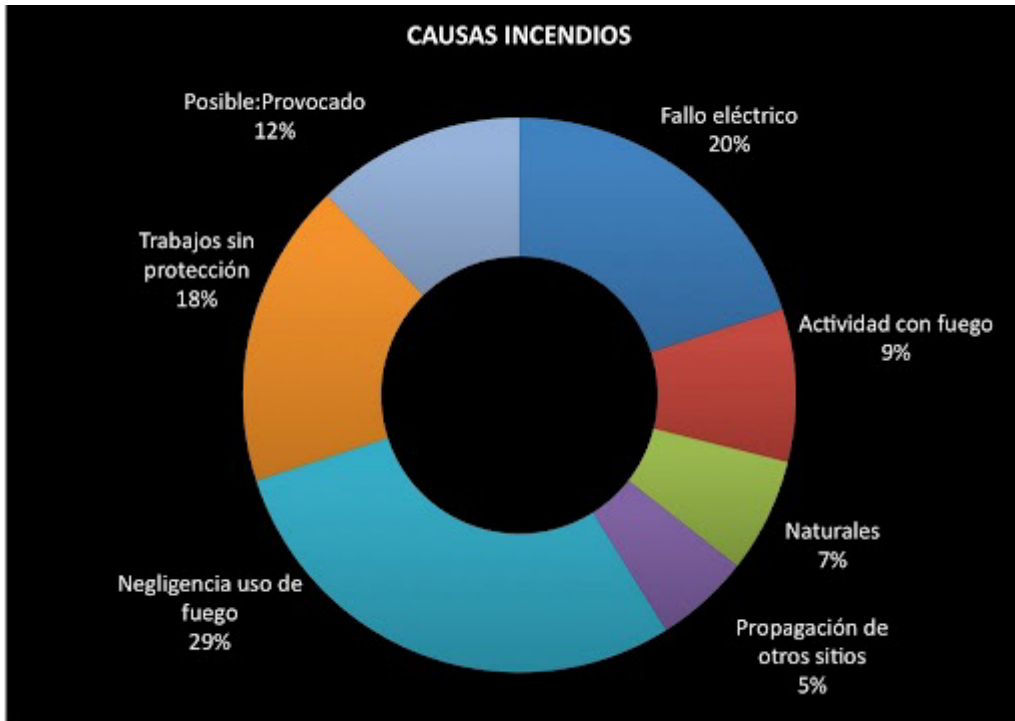


Ilustración 422, causas mas probables de incendios

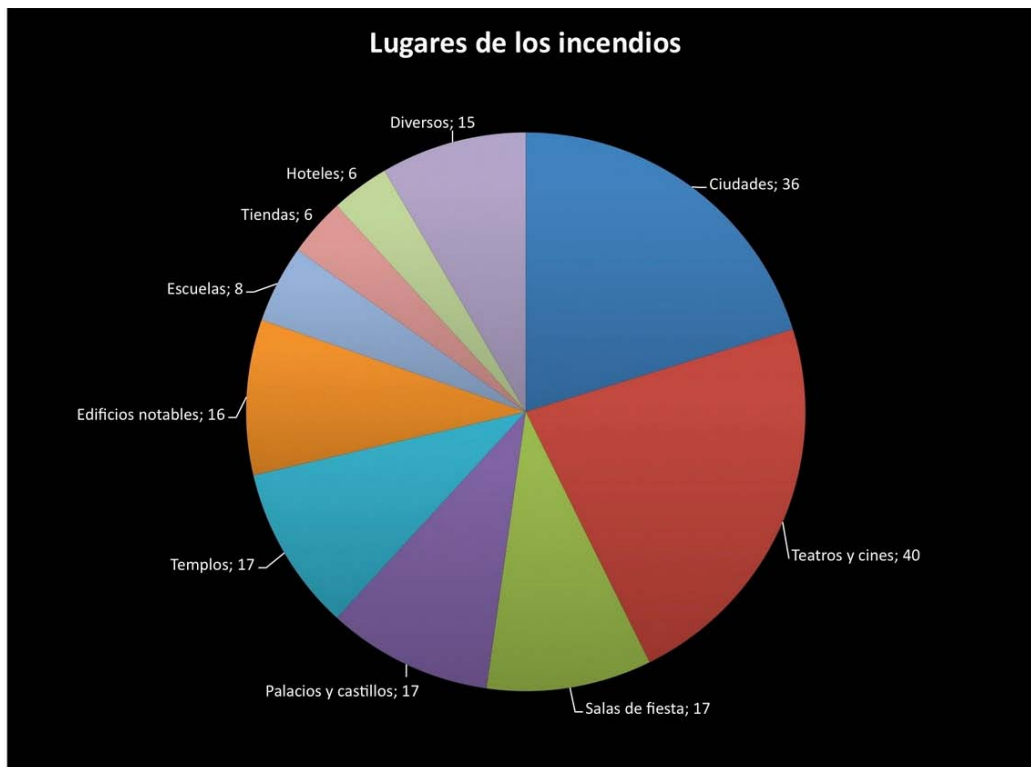


Ilustración 423, Edificaciones donde comúnmente ocurren los incendios

Este criterio también es aplicable cuando se trata de la protección de proyectos en los que su contenido resguardado implica valores que deben de ser protegidos tanto de la acción del calor como de humedad o cualquier factor que pueda poner en peligro la existencia de estos contenidos, dentro de este tipo de proyectos se puede enumerar:

- Museos
- Archivos
- Galerías de Arte
- Bibliotecas
- Hemerotecas

Lugares puntuales de posible ignición

En un proyecto de arquitectura, existen lugares en los cuales debido a la naturaleza y características de materiales, mercaderías, combustibles o equipo mecánico almacenado, son especialmente vulnerables a igniciones puntuales, y es precisamente en estos lugares donde puede tener inicio el incendio que puede propagarse de una forma descontrolada si los sistemas de supresión no son diseñados de tal forma que puedan atender una descarga local puntual sobre el foco de ignición, antes de efectuar una descarga general que pudiera no ser necesaria si el fuego se controla con una descarga local.

Todos los agentes supresores estudiados pueden ser aplicados como descargas locales cuando así se considere necesario, esto, tomando en consideración la naturaleza del incendio que pueda darse, así como el tipo de combustible que este en riesgo de ignición.

En determinados proyectos tales como hospitales, hoteles, aeropuertos, instalaciones portuarias, mercados, estaciones de buses, panificadoras, molinos, hangares, comúnmente como parte de integral del proyecto se pueden encontrar:

- Cuartos de maquinas
- Cuartos de calderas
- Tanques de almacenaje de combustibles
- Bombas de despacho de combustibles
- Cocinas industriales
- Lavanderías industriales
- Bodegas de limpieza
- Alacenas

Se debe de considerar que para este tipo de instalaciones, puede proveerse de sistemas de aplicación local, que serán los encargados de suprimir la ignición, y de esta manera evitar que un sistema de inundación local se active en un área donde no sea necesario.

Se han realizado estudios estadísticos para determinar con cierto grado de precisión (y la correspondiente incerteza) los principales lugares donde por lo regular, ocurre la ignición

que desencadena el fuego descontrolado, estas proporciones, se estiman como lo indica la ilustración No.

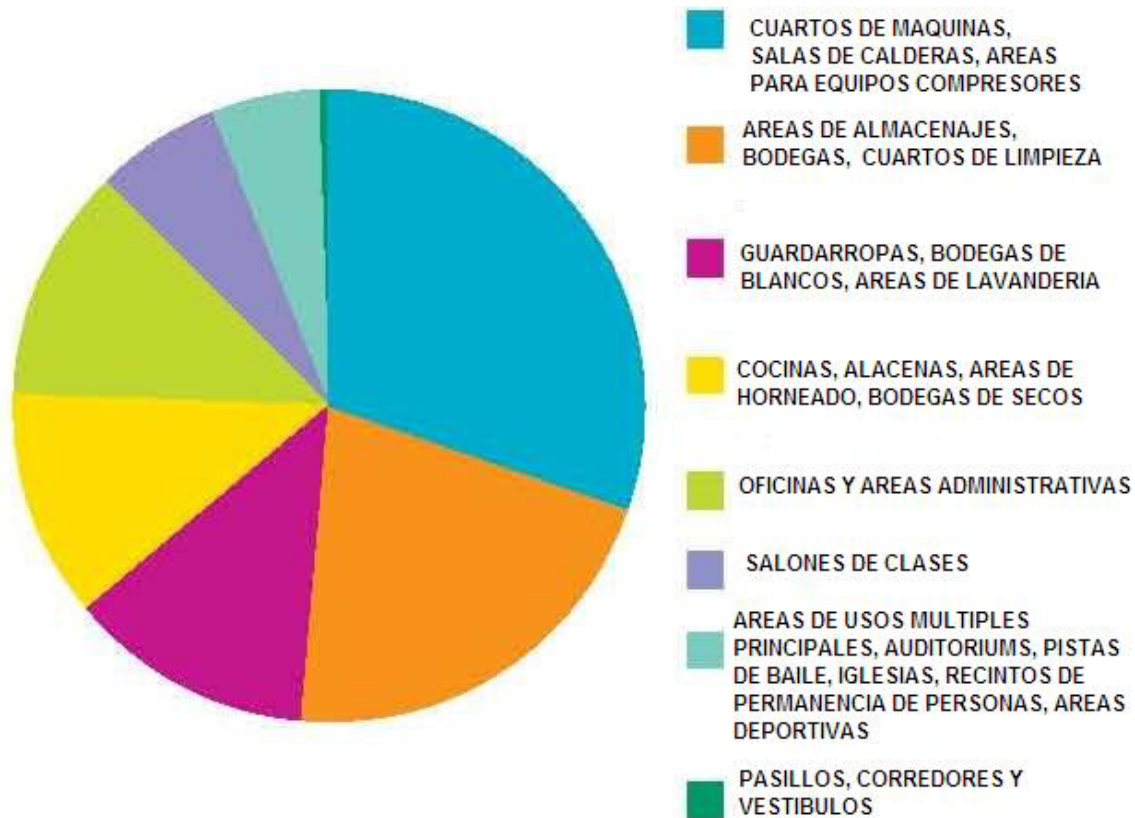


Ilustración 424, áreas donde por lo regular ocurre la ignición del fuego. Ilustración obtenida de Design for Fire Safety, Departamento de Estado, Estados Unidos de Norteamérica, edición 2009, página 5

Possible toxicidad del agente supresor

Al momento de diseñar el sistema de protección contra incendios, debe de recordarse que existe la posibilidad de que el incendio ocurra en un momento en que el proyecto de arquitectura este siendo utilizado. Por consiguiente, es necesario que el arquitecto este consciente de la posible toxicidad del agente supresor utilizado, y que las concentraciones de diseño que se utilicen no resulten tóxicas para el usuario que aun se encuentre ya sea dentro del edificio, o en las rutas de evacuación en camino hacia afuera.

Se han conducido estudios de tal manera que pueda saberse con cierta incerteza el grado de posible toxicidad de algunos agentes supresores, que es necesario que el arquitecto conozca y tome en cuenta al momento de diseñar el sistema de protección contra incendios.

Dióxido de Carbono

El dióxido de carbono está normalmente en la atmósfera a una concentración aproximada del 0,03 por ciento. En los seres humanos y los animales es un subproducto de la respiración celular. En el cuerpo humano, el dióxido de carbono actúa como regulador de

la respiración, asegurando una cantidad de oxígeno adecuada al sistema. Hasta cierto punto, un aumento en el dióxido de carbono en la sangre aumenta la velocidad de la respiración, aumento que llega al máximo a una concentración del 6 al 7 % de dióxido de carbono en el aire. A mayores concentraciones, el ritmo de respiración disminuye, hasta llegar al 25-30 % de dióxido en el aire, que tiene un efecto narcótico que hace que la respiración cese inmediatamente, incluso aunque haya oxígeno suficiente. Una menor cantidad de oxígeno hace que esa concentración narcótica sea mucho mayor y pueda llegar a causar la muerte por asfixia.

Se considera que el umbral de dióxido de carbono en el aire cuyos efectos dañinos resultan evidentes, es del 6-7 por ciento. Por encima del 9 %, la mayoría de las personas quedan inconscientes en poco tiempo. Como la concentración mínima del dióxido de carbono en el aire para extinguir un fuego es muy superior al 9 %, hay que prever las adecuadas medidas de seguridad con todos los sistemas de extinción de dióxido de carbono.

El hielo seco que se produce durante la descarga de dióxido de carbono puede producir quemaduras dada su baja temperatura. Hay que avisar al personal de que no debe tocar en ningún caso el hielo seco, residual después de una descarga.

Polvos Químicos Secos

Los ingredientes que se emplean actualmente en los polvos secos no son tóxicos. Sin embargo, la descarga de grandes cantidades puede causar algunas dificultades temporales de la respiración durante e inmediatamente después de la descarga y puede interferir gravemente con la visibilidad.

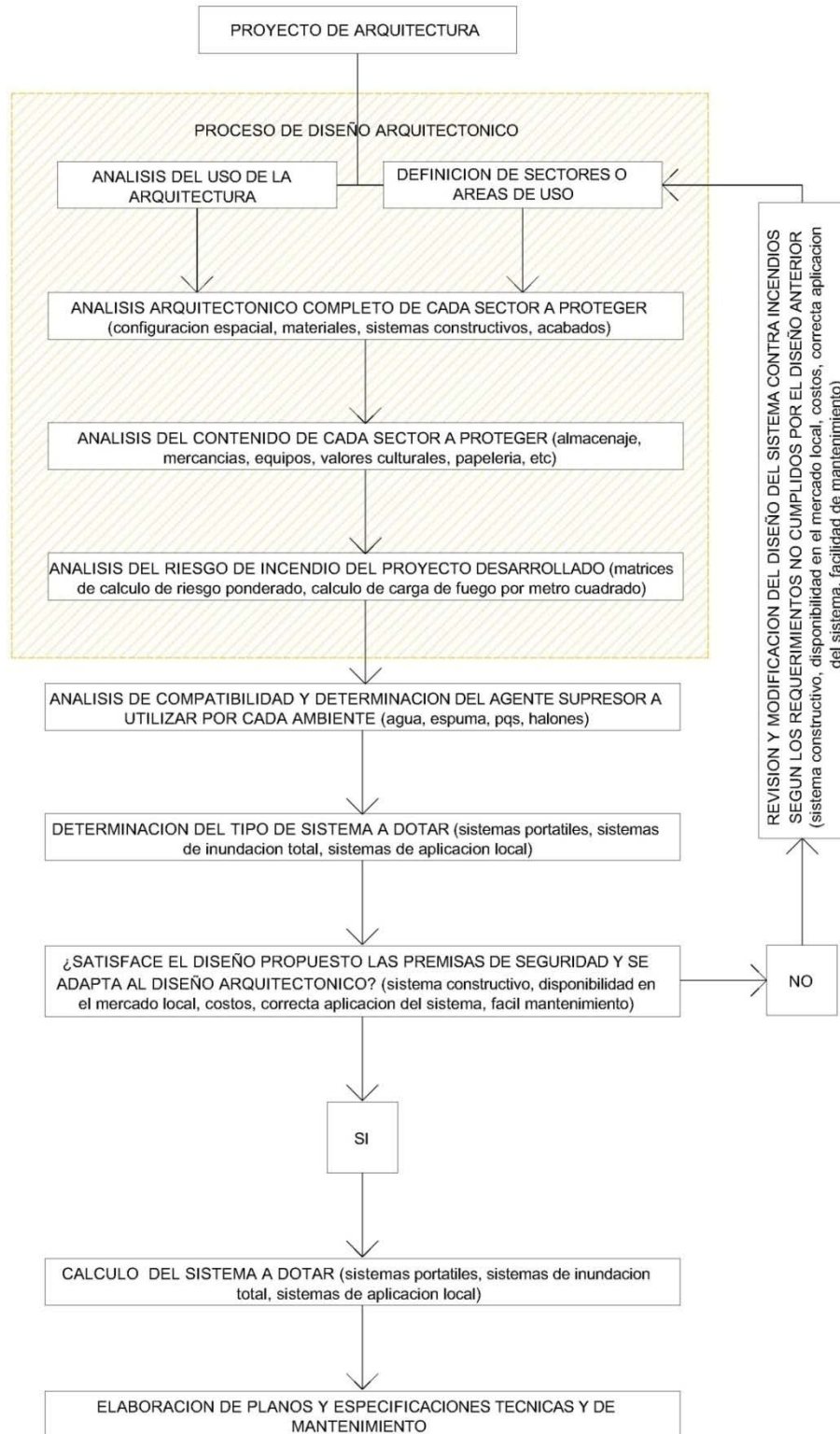
Nunca debe aplicarse polvo químico seco a una quemadura o sofocar a una persona que se encuentre afectada por el fuego, ya que estos extintores están compuestos básicamente por bicarbonato (sodio – potasio). Una parte de ellos el CO_3 ion carbonato es una molécula que en medio acuoso, hidroliza hasta formar ácido carbónico. Este es un ácido débil pero al contacto con una piel dañada por efecto de quemaduras adiciona una quemadura química.

Proceso de Diseño de un Sistema Contra Incendios

Para diseñar un sistema de protección contra incendios, existen muchas metodologías que son motivo de estudio por parte de diversas entidades dedicadas al desarrollo de estándares, algunos con validez local, y otros con validez internacional.

Como todo proceso de diseño, cuando se está planificando un sistema contra incendios, se debe de tener una metodología con pasos a seguir, mismos que deben de estar ordenados en una secuencia lógica y coherente, de tal manera que cuando se llegue al resultado final, todos y cada uno de los enfoques que debieran de tomarse en cuenta, estén incluidos dentro del análisis que debe de efectuarse para hacer la propuesta de la protección contra incendios.

Para un proyecto de arquitectura desarrollado en nuestro Guatemala, sea un caso académico o un caso real, se sugiere que los pasos a seguir para determinar el sistema más apropiado, sean de acuerdo al siguiente diagrama:



Una vez consultados los códigos necesarios, el proceso de diseño de un sistema contra incendios para un sistema de arquitectura, puede desarrollarse analizando detenidamente los siguientes factores y criterios:

Para sistemas de protección Activa

1. Análisis del uso del proyecto de arquitectura
2. Definición de sectores o áreas específicas de uso dentro del proyecto
3. Análisis arquitectónico completo de cada sector a proteger
4. Determinación de la naturaleza de los objetos contenidos en el ambiente a proteger
5. Análisis del riesgo de incendio del proyecto desarrollado
6. Determinación de el o los agentes supresores a utilizar
7. Determinación del tipo de sistema a dotar
8. Calculo del sistema a dotar
9. Elaboración de planos y especificaciones

Análisis del uso de la arquitectura

Cuando se haga el análisis del uso de la arquitectura, se debe de plantear y responder a las siguientes preguntas:

- **¿Cuál es el uso principal de la arquitectura?** Educativo, experimental, industrial, salud, gestión, educación, almacenaje, cultura, deportes, ventas, alojamiento, en este análisis, se debe de establecer a qué necesidad responde concretamente el proyecto desarrollado.
- **¿Existen distintos usos del espacio dentro del mismo proyecto planificado?** Este análisis permitirá tener una perspectiva global de las diferencias de uso dentro de un mismo proyecto, y de esta manera se podrá proponer las posibles alternativas para escoger el mejor agente en cuanto al sistema de supresión.

Definición de sectores o áreas específicas de uso dentro del proyecto

Partiendo del programa de necesidades del proyecto de arquitectura, se puede tener una idea sobre el distinto tipo de áreas que existan en el mismo proyecto. Esto se debe de analizar detenidamente, dado que existen áreas de alto riesgo de ignición, que pueden estar ligadas a áreas con bajo riesgo, pero con alta concentración de usuarios, y a este tipo de espacios deberá de dotárseles de todas las medidas tanto de mitigación como de evacuación eficiente al momento de hacerse necesario.

Un claro ejemplo de este tipo de áreas de uso, serian las cocinas de los hoteles, que pueden tener una relación indirecta, pero cercana, con el área de mesas.

Análisis Arquitectónico Completo de cada sector a proteger

Se debe de hacer un análisis completo de la arquitectura de cada sector a proteger, donde se debe de tomar en cuenta:

- Forma del ambiente
- Dimensiones en planta
- Altura de piso a cielo
- Volumen de cada ambiente
- Materiales
- Tipo de acabados
- Aberturas en paramentos de muros (vanos de puertas y ventanas)
- Sistemas de climatización
- Cielos falsos
- Hermeticidad de ambientes

La finalidad de hacer este análisis es conocer a fondo las características de los ambientes a proteger, porque al proponer un agente de supresión pueden existir determinadas condiciones que deben de cumplirse, por ejemplo concentraciones de diseño para inertización de atmosferas, y esta condición podrá cumplirse únicamente si el ambiente a proteger es hermético, de lo contrario se deberá de hacer un ajuste de compensación por posibles fugas.

Cuando se hace este análisis arquitectónico, se podrá descubrir si uno o varios de los ambientes que se desea proteger, deberán ser protegidos todos juntos, por motivos de arquitectura, cuando las configuraciones espaciales no permitan que el sistema sea aplicado únicamente a un recinto específico, sino más bien al área completa donde este se localiza.

Análisis del riesgo de incendio del proyecto desarrollado

Una vez establecida y diseñada la arquitectura, lo siguiente debe de ser evaluar y analizar el riesgo de incendio al que estará expuesto el proyecto resultante. Existen varias metodologías para analizar y evaluar el riesgo de incendio, una de las más sencillas y precisas, es el método MESERI (siglas de Método Simplificado de Evaluación del Riesgo de Incendio), el cual contempla dos bloques diferenciados de factores, de la siguiente manera:

1. Factores propios de las instalaciones
2. Factores de protección

En los factores propios de las instalaciones, se consideran:

- Construcción
- Situación
- Procesos
- Concentración

- Propagabilidad
- Destructividad

En los factores de protección, se consideran:

- Extintores
- Bocas de incendio equipadas
- Columnas de hidrantes exteriores
- Detectores automáticos de incendios
- Rociadores automáticos
- Instalaciones fijas especiales

1. Factores propios de las instalaciones

1.1. Construcción

1.1.1. **Altura del edificio.** Se entiende por altura del edificio la diferencia de cotas entre el piso de la planta baja, o el último sótano, y la losa o estructura de acero final que sirven de cubiertas. Entre el coeficiente correspondiente al número de pisos y el de la altura del edificio, se tomara el menor. Si el edificio tiene distintas alturas y la parte más alta ocupa más del 25% de la superficie en planta de todo el conjunto, se tomara el coeficiente a esta altura. Si es inferior al 25% se tomara el del resto del edificio.

FACTORES PROPIOS DE LAS INSTALACIONES, ALTURA DE EDIFICIO		
NUMERO DE PLANTAS	ALTURAS TOTALES	COEFICIENTE
1 ó 2	menor a 6 metros	3
3 a 5	entre 6 y 12 metros	2
6 a 9	entre 15 y 20 metros	1
10 ó mas	mayor a 30 metros	0

Tabla 51, Factores propios de las instalaciones, coeficientes para alturas de edificio, tabla de elaboración propia, parámetros obtenidos de Red Proteger, Argentina, Manual MESERI

1.1.2. Mayor sector de incendio. Se entenderá por sector de incendio la zona del edificio limitada por elementos resistentes al fuego, 120 minutos como mínimo. En caso de que sea un edificio aislado, se tomara su superficie total, sin importar que los cerramientos tengan una resistencia inferior.

FACTORES PROPIOS DE LAS INSTALACIONES, SECTOR DE INCENDIO	
SUPERFICIE DE MAYOR SECTOR DE INCENDIO	COEFICIENTE
DE 0 A 500 M ²	5
DE 501 A 1500 M ²	4
DE 1501 A 2500 M ²	3
DE 2501 A 3500 M ²	2
DE 3501 A 4500 M ²	1
MAYOR A 4500 M ²	0

1.1.3. Resistencia al fuego. Se refiere a la estructura del edificio, se entiende como resistente al fuego una estructura de concreto, una estructura de acero será considerada como una estructura no combustible, y se considerará combustible si es distinta de las 2 anteriores. Si la estructura es mixta, se tomará un coeficiente intermedio entre los coeficientes dados en la tabla a continuación

FACTORES PROPIOS DE LAS INSTALACIONES, RESISTENCIA AL FUEGO	
RESISTENCIA AL FUEGO	COEFICIENTE
Resistente al fuego (Concreto)	10
No combustible (Acero estructural)	5
Combustible (otros materiales)	0

Tabla 52, Factores propios de las instalaciones, resistencia al fuego, tabla de elaboración propia, parámetros obtenidos de Red Proteger, Argentina, Manual MESERI

1.1.4. Cielos falsos. Se entiende como tales, los recubrimientos a la parte superior de la estructura, especialmente cuando se trate de naves industriales, colocados como aislantes térmicos, acústicos, o decorativos. Se consideraran incombustibles los clasificados como M.0 y M.1 y con clasificación superior se consideraran combustibles

FACTORES PROPIOS DE LAS INSTALACIONES, CIELOS FALSOS	
CIELOS FALSOS	COEFICIENTE
Sin Cielo Falso	5
Con Cielo Falso Incombustible	3
Con Cielo Falso Combustible	0

Tabla 53, Factores propios de las instalaciones, cielos falsos, tabla de elaboración propia, parámetros obtenidos de Red Proteger, Argentina, Manual MESERI

1.2. Factores de situación. Son los factores que dependen directamente de la ubicación del edificio en determinado contexto, y distancias con respecto de determinados elementos. Se consideran 2:

1.2.1. Distancia a los cuerpos de bomberos, esta distancia se tomara preferentemente el tiempo estimado de respuesta de los bomberos, utilizándose la distancia a la estación más cercana, únicamente como parámetro de ubicación, de la siguiente manera:

DISTANCIA A LOS CUERPOS DE BOMBEROS		
DISTANCIA	TIEMPO	COEFICIENTE
Menor A 5 km	5 min	10
Entre 5 y 10 km	5 y 10 min	8
Entre 10 y 15 km	10 y 15 min	6
Entre 15 y 25 km	15 y 25 min	2
más de 25 km	mayor a 25 min	0

Tabla 54, Factores de situación, distancia a los cuerpos de bomberos, tabla de elaboración propia, parámetros obtenidos de Red Proteger, Argentina, Manual MESERI

1.2.2. Accesibilidad al edificio. Se clasificara de acuerdo con la anchura de la via de acceso, siempre que cumpla con una de las otras 2 condiciones de la misma fila, o superior. En caso de que esta condición no se cumpla, se rebajara al inmediato inferior

FACTORES DE SITUACION, ACCESIBILIDAD AL EDIFICIO				
ACCESIBILIDAD	ANCHO DE VIA DE ACCESO	FACHADAS	DISTANCIA ENTRE PUERTAS	COEFICIENTE
Buena	Mayor a 4 metros	3	Menor a 25 metros	5
Media	Entre 2 y 4 metros	2	Menor a 25 metros	3
Mala	Menor a 2 metros	1	Mayor a 25 metros	1
Muy mala	Menor o igual a 1 metro	1	Mayor a 25 metros	0

Tabla 55, Factores de siitucion, accesibilidad al edificio, tabla de elaboracion propia, parametros obtenidos de Red Proteger, Argentina, Manual MESERI

1.3. Procesos

1.3.1. Peligro de activación. En este parámetro se recogerá la posibilidad del inicio de un incendio. Hay que considerar fundamentalmente el factor humano, que por negligencia, imprudencia, o de una manera accidental pueda activar la combustión de algunos productos. Otros factores relativos a las fuentes de energía del riesgo son:

- Instalaciones eléctricas
- Calderas de vapor y de agua caliente
- Puntos específicos con operaciones a llama abierta, procesos de soldadura, y secciones de barnizado o pintura

1.3.2. Orden y limpieza. El criterio para la aplicación de este coeficiente es bastante subjetivo. Se entenderá alto cuando existan y se respeten las zonas delimitadas para almacenamiento, los productos estén apilados correctamente en el lugar adecuado, no exista suciedad ni desperdicios o recortes de materiales repartidos indiscriminadamente en sectores o en todo el suelo de la nave o edificación analizada.

FACTORES DE SITUACION, ORDEN Y LIMPIEZA	
ORDEN Y LIMPIEZA	COEFICIENTE
BAJO	0
MEDIO	5
ALTO	10

Tabla 56, Factores de Situación, orden y limpieza, tabla de elaboración propia, parámetros obtenidos de Red Proteger, Argentina, Manual MESERI

1.3.3. Almacenamiento en altura. Se considerara únicamente la altura, por entenderse que una mala distribución en superficie puede asumirse como falta de orden y limpieza.

FACTORES DE SITUACION, ALMACENAMIENTO EN ALTURA	
ALTURA DE ALMACENAMIENTO	COEFICIENTE
Menor a 2 metros	3
Entre 2 y 4 metros	2
Mayor a 4 metros	0

Tabla 57, Factores de situación, altura de almacenamientos, tabla de elaboración propia, parámetros obtenidos de Red Proteger, Argentina, Manual MESERI

1.4. Factor de concentración. Este representa el valor monetario o económico por metro cuadrado del contenido de las instalaciones a evaluar. Es necesario tenerlo en cuenta ya que las protecciones deben ser superiores en caso de altas concentraciones de capital por metro cuadrado. Se recomienda que los rangos de análisis estén comprendidos de la manera siguiente

FACTOR DE CONCENTRACION DE CAPITAL	
FACTOR DE CONCENTRACION	COEFICIENTE
Menor a Q. 50,000.00 /M ²	3
Entre Q. 50,000.00 y Q. 200,000.00 /M ²	2
Mayor a Q. 200,000.00 /M ²	0

Tabla 58, Factores de concentración de capital, tabla de elaboración propia, parámetros obtenidos de Red Proteger, Argentina, Manual MESERI, cifras monetarias en Quetzales, Moneda nacional, adaptación hecha para efectos de cálculo, parámetros originales en pesos argentinos

1.5. Propagabilidad. Se entenderá como tal la facilidad para propagarse el fuego dentro del sector de incendio. Es necesario tener en cuenta la disposición de los productos y existencias, la forma de almacenamiento y los espacios libres de productos combustibles

1.5.1. En vertical. Se reflejara la posible transmisión del fuego entre pisos, atendiendo a una adecuada separación y distribución, de la siguiente manera:

FACTOR DE PROPAGACION DE FUEGO	
PROPAGABILIDAD	COEFICIENTE
Baja	5
Media	3
Alta	0

Tabla 59, Factores de propagación de Fuego, tabla de elaboración propia, parámetros obtenidos de Red Proteger, Argentina, Manual MESERI

1.5.2. En horizontal, se medirá la propagación del fuego en horizontal atendiendo a la calidad y distribución de los materiales

FACTOR DE PROPAGACION DE FUEGO	
PROPAGABILIDAD	COEFICIENTE
Baja	5
Media	3
Alta	0

Tabla 60, Factores de propagación de fuego, tabla de elaboración propia, parámetros obtenidos de Red Proteger, Argentina, Manual MESERI

1.6. Destructibilidad, se estudiara la influencia de los efectos producidos en un incendio, sobre las mercancías y maquinarias existentes. Si se estima que el efecto sera negativo y bastante destructivo para el equipo, se aplica el coeficiente minimo, si no afecta al contenido, se aplicara el coeficiente máximo

1.6.1. Calor, se reflejara la influencia del aumento de temperatura en la maquinaria y existencias. Este coeficiente difícilmente sera 10, ya que el calor afecta generalmente al contenido de las instalaciones, de la siguiente manera

FACTOR DE DESTRUCTIBILIDAD, CALOR		
CALOR	DESCRIPCION	COEFICIENTE
Bajo	Cuando las existencias no se destruyan por el calor y no exista maquinaria de presion que pueda dañarse por dilataciones	10
Media	cuando las existencias se degradan por el calor sin destruirse y la maquinaria es escasa.	5
Alta	cuando los productos se destruyan en su totalidad por efectos del calor	0

Tabla 61, Factor de destructibilidad, daños por calor, tabla de elaboración propia, parámetros obtenidos de Red Proteger, Argentina, Manual MESERI

1.6.2. Humo, se estimaran los daños por humo a la maquinaria, y a la existencia de mercaderías, mercancías o equipos contenidos, de la siguiente manera

FACTOR DE DESTRUCTIBILIDAD, HUMO		
HUMO	DESCRIPCION	COEFICIENTE
Bajo	Cuando el humo afecta poco a los productos, ya sea porque no se prevé su producción o porque la recuperación posterior será fácil	10
Medio	cuando el humo afecta parcialmente a los productos, o se prevé escasa formación de humo	5
Alto	cuando el humo destruye o inutiliza totalmente los productos, bienes o equipos almacenados	0

Tabla 62, Factores de Destructibilidad, Humo, tabla de elaboración propia, parámetros obtenidos de Red Proteger, Argentina, Manual MESERI

1.6.3. Corrosión, se tiene en cuenta la destrucción del edificio, maquinaria, equipo, mercancía y bienes a consecuencia de gases oxidantes desprendidos en la combustión. Un producto que debe tenerse especialmente en cuenta son los gases corrosivos producidos por la combustión del PVC, de la siguiente manera

FACTOR DE DESTRUCTIBILIDAD, CORROSION		
CORROSIVIDAD	DESCRIPCION	COEFICIENTE
Baja	Cuando no se prevé la formación de gases corrosivos o los productos no se destruyen por oxidación.	10
Media	Cuando se prevé la formación de gases de combustión oxidantes, que no afectaran a las existencias ni en forma importante la estructura del edificio	5
Alto	cuando se prevé la formación de gases oxidantes que afectaran la integridad estructural del edificio, así como los equipos y maquinaria contenidos	0

Tabla 63, Factores de destructibilidad, corrosion por gases de incendio, tabla de elaboracion propia, parametros obtenidos de Red Proteger, Argentina, Manual MESERI

1.6.4. Agua, es importante considerar la destructividad ocasionada por el agua como agente supresor, ya que será el elemento fundamental para conseguir la extinción del incendio, cuando sea el agente seleccionado, de la siguiente manera

FACTOR DE DESTRUCTIBILIDAD, AGUA COMO AGENTE SUPRESOR		
DAÑO	DESCRIPCION	COEFICIENTE
Bajo	Cuando el agua como agente supresor, no daña los equipos, ni altere la naturaleza de los productos almacenados	10
Medio	cuando el agua como agente supresor, provoque daños irreparables en algunos equipos y en otros no, o dañe parcialmente productos almacenados	5
Alto	Cuando los equipos, maquinaria y productos almacenados se dañen totalmente por efectos del agua	0

Tabla 64, Factores de destructibilidad, daños ocasionados por el Agua como agente supresor, tabla de elaboración propia, parámetros obtenidos de Red Proteger, Argentina, Manual MESERI

2. Factores de protección

Los coeficientes a aplicar se han calculado de acuerdo con las medidas de protección que puedan estar existentes en las instalaciones y atendiendo a la existencia o no de vigilancia permanente. Se entiende como vigilancia la operativa permanente de una persona durante los siete días de la semana, a lo largo de todo el año. Este vigilante debe estar convenientemente adiestrado en el manejo del material de extinción y disponer de un plan de alarma previamente diseñado.

Se consideran también, la existencia o no de medios tan importantes como la protección parcial de puntos peligrosos, con instalaciones fijas, sistemas de dióxido de carbono, halón (bromotrifluorometano o agentes limpios) y polvos químicos secos, y la disponibilidad de brigadas contra incendios.

FACTORES DE PROTECCION		
ELEMENTOS Y SISTEMAS DE PROTECCION CONTRA INCENDIOS	SIN VIGILANCIA	CON VIGILANCIA
Extintores portátiles	1	2
Bocas de Incendio Equipadas	2	4
Columnas secas e hidrantes exteriores	2	4
Sistemas de detección automática	0	4
Rociadores Automáticos	5	8
Extinción por Agentes Gaseosos o espumas	2	4

Tabla 65, Factores de protección, elementos y sistemas de protección contra incendios, tabla de elaboración propia, parámetros obtenidos de Red Proteger, Argentina, Manual MESERI

Una vez terminado el análisis de los factores Propios de las instalaciones, y de los factores de protección a dotar o existentes, se procederá a hacer el cálculo del riesgo de incendio de la siguiente manera:

1. Se debe de tener el Subtotal X, que estará compuesto por la sumatoria de todos los coeficientes correspondientes a los factores propios de las instalaciones
2. Se debe de tener el subtotal Y, que estará compuesto por la sumatoria de todos los coeficientes correspondientes a los factores de protección presentes en el proyecto.

El coeficiente de protección frente a incendio P, se calculara aplicando la siguiente fórmula:

$$P = \left(\frac{5X}{120} + \frac{5Y}{22} \right) + 1$$

El riesgo de incendio se considera aceptable, o dentro de límites fácilmente controlables, cuando P es menor o Igual a 5, adimensional. Cuando el valor de P es mayor a 5, el riesgo de incendio es inaceptable, y esta fuera de los límites que lo hacen controlable, por lo que el proyecto se considerara con alto riesgo de incendio.

Al momento de desarrollar el sistema contra incendios, nos podemos valer de un formato de chequeo de factores, como el que se presenta en la página

Determinación de la naturaleza de los objetos contenidos en el ambiente a proteger

Se debe de elaborar una lista o una matriz donde se establezca la naturaleza de los objetos contenidos dentro del área a proteger.

Se debe de determinar exactamente la naturaleza de cada uno de los objetos contenidos dentro del ambiente que se está protegiendo, y de esta forma, se estará en posibilidad de escoger el más adecuado de los agentes supresores, en función de la naturaleza de los objetos contenidos dentro de los recintos.

En este análisis, se debe de conocer y detallar tanto como sea posible, el material, funcionamiento, valor económico, valor histórico o cultural de cara uno de los objetos contenidos, para poder fundamentar en este análisis la elección del agente supresor.

Determinación de él o los agentes supresores a utilizar

Habiendo detallado la naturaleza de los objetos contenidos en cada ambiente, se debe proceder a hacer la elección de él o los agentes supresores a utilizar.

El sistema de protección contra incendios, no necesariamente debe de diseñarse únicamente con un tipo de agente supresor. Al momento de hacer la elección del agente supresor, es fundamental comprender que en un proyecto de arquitectura, existirán diferentes áreas, que estarán ocupadas por objetos de diversa índole, debido a esto, se pueden hacer combinaciones de diferentes tipos de agentes supresores, y en esta parte

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE INCENDIO					
Proyecto			Situación:		
Concepto	Coeficiente	Puntos	Concepto	Coeficiente	Puntos
CONSTRUCCIÓN			PROPAGABILIDAD		
Nº de pisos	Altura		Vertical		
1 o 2	menor de 6 m	3	Baja	5	
3, 4 o 5	entre 6 y 15 m	2	Media	3	
6, 7, 8 o 9	entre 15 y 27	1	Alta	0	
10 o más	más de 30 m	0			
Superficie mayor sector Incendios de			Horizontal		
0 a 500 m ²		5	Baja	5	
de 501 a 1.500 m ²		4	Media	3	
de 1.501 a 2.500 m ²		3	Alta	0	
de 2.501 a 3.500 m ²		2			
de 3.501 a 4.500 m ²		1			
más de 4.500 m ²		0			
Resistencia al fuego			DESTRUCTIBILIDAD		
Resistente al fuego (hormigón)		10	Por calor		
No combustible		5	Baja	10	
Combustible		0	Media	5	
Falsos techos			Alta	0	
sin falsos techos		5	Por humo		
con falsos techos incombustibles		3	Baja	10	
con falsos techos combustibles		0	Media	5	
			Alta	0	
FACTORES DE SITUACIÓN			Por corrosión		
Distancia de los bomberos			Baja	10	
menor de 5 km	5 minutos	10	Media	5	
entre 5 y 10 km	5 y 10 min.	8	Alta	0	
entre 10 y 15 km	10 y 15 min.	6			
entre 15 y 25 km	15 y 25 min.	2			
más de 25 km	25 min.	0			
Accesibilidad de edificios			Por agua		
Buena		5	Baja	10	
Media		3	Media	5	
Mala		1	Alta	0	
Muy mala		0			
PROCESOS			SUBTOTAL (X)		
Peligro de activación			Concepto	SV	CV
Bajo		10	Extintores portátiles (EXT)	1	2
Medio		5	Bocas de incendio equipadas (BIE)	2	4
Alto		0	Columnas hidrantes exteriores (CHE)	2	4
Carga térmica			Detección automática (DET)	0	4
Baja (Q < 100 Mcal/m ²)		10	Rociadores automáticos (ROC)	5	8
Media (100 < Q < 200 Mcal/m ²)		5	Extinción por agentes gaseosos (IFE)	2	4
Alta (Q > 200 Mcal/m ²)		0			
Combustibilidad			SUBTOTAL (Y)		
Baja (M.0 y M.1)		5	CONCLUSIÓN (Indicar en el Informe de Inspección)		
Media (M.2 y M.3)		3	$P = \frac{5X}{120} + \frac{5Y}{22} + 1 \text{ (BCI)}$		
Alta (M.4 y M.5)		0			
Orden y limpieza					
Bajo		0			
Medio		5			
Alto		10			
Almacenamiento en altura					
menor de 2 m		3			
entre 2 y 4 m		2			
más de 6 m		0			
FACTOR DE CONCENTRACIÓN			OBSERVACIONES		
Factor de concentración					
menor de 50.000 q /m ²		3			
entre 50 y 200.000 q /m ²		2			
más de 200.000 q /m ²		0			

Ilustración 425, Lista de chequeo de factores para establecer el riesgo de incendio, tomada de Manual de método MESERI, Red Proteger, Argentina

del diseño, es donde la palabra “COMPATIBILIDAD” cobra sentido, porque el agente supresor debe de ser compatible con:

- El tipo de incendio que pueda desarrollarse
- El tipo de protección que deba de proveerse

Cuando se habla del tipo de incendio que pueda desarrollarse, esto se refiere puntualmente a la clasificación internacional de los extintores de incendios, los cuales están categorizados por el tipo de agente supresor, y el tipo de fuego al cual pueden extinguir (véase pagina 178 y 179)

Al hablar de el tipo de protección que deba de proveerse, esto se refiere a que existen recintos donde no solo debe de protegerse de la acción destructiva del fuego, sino también del potencial daño que el agente supresor puede ocasionar como efecto colateral, si fuera incompatible con el tipo de protección a proveerse. Por ejemplo, cuando se planifica la protección contra incendios de un museo o de un hospital, debe de recordarse que las piezas de colección de un museo pueden dañarse si se plantea un sistema de supresión por medio de rociadores de agua, lo mismo puede suceder en el caso de un hospital, donde existen equipos electrónicos que pueden dañarse con el agua, y es en ese punto donde la selección adecuada del agente supresor juega un papel importante en la planificación.

CLASES DE FUEGOS Y COMPATIBILIDAD DE AGENTES EXTINTORES							
CLASES DE FUEGOS	sistemas de agua	Sistemas de espumas	Dióxido de carbono	SISTEMAS DE POLVOS QUIMICOS SECOS		HALONES	POLVOS QUIMICOS ESPECIALES
				Polvo ABC	Polvo BC		
SOLIDOS	SI	SI	NO	SI	NO	SI	NO
LIQUIDOS	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO
ELECTRICOS	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO
METALES	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI

Tabla 66, Compatibilidad de tipos de fuego y agentes supresores, tabla de elaboración propia

Determinación del tipo de sistema a dotar

Una vez escogido por criterio de compatibilidad el agente supresor, se debe de proceder a determinar el tipo de sistema que puede dotarse.

Esto se refiere a hacer la elección entre un sistema portátil (Extintores portátiles, bocas de incendio equipadas, sistemas de espuma portátiles) un sistema de aplicación local (sistemas de descarga directa sobre puntos de posible ignición) o un sistema de inundación total.

Esta selección, debe de hacerse tomando en consideración la posibilidad de que el fuego pueda propagarse rápidamente por el contenido de los ambientes o si puede ser combatido y suprimido de una manera puntual, si se tienen identificados los más probables puntos de ignición, en donde puede ser más conveniente y económico el elegir un sistema de aplicación local.

Calculo del sistema a dotar

Se deberá de proceder a hacer el cálculo del sistema a dotar, teniendo como base de referencia los códigos y reglamentos específicos que han sido redactados para el efecto,

Como Normativas NFPA, UNE, BS, IRAM.

En este proceso, deberá de calcularse:

- Volumen necesario de agente supresor
- Volumen de reserva de agente supresor
- Diámetros de tuberías de conducción de agente supresor
- Juntas de dilatación en tuberías
- Puntos de sujeción de tuberías
- Distancia entre boquillas o rociadores, según sea el caso
- Potencia de equipos de impulsión, cuando sea necesario
- Tipo de sistema de conducción

Todos los cálculos efectuados, deberán ser parte de una memoria de diseño del sistema, por cada área del proyecto que se esté protegiendo, y por cada tipo de agente supresor que se esté proponiendo.

Elaboración de planos y especificaciones

Posterior a esto, se debe de elaborar los planos y las especificaciones para cada sistema de supresión.

Los planos, deberán de ser tan detallados como lo requiera el tipo de agente supresor a especificar, de tal manera que pueda quedar plasmadas todos y cada uno de los requerimientos constructivos del sistema a aplicar.

Las especificaciones, deberán de ser desarrolladas de acuerdo a reglamentos, respetando para ello todos y cada uno de los ensayos de materiales llevados a cabo de acuerdo a ASTM, cuando así aplique, debido a que la selección de cada uno de los materiales para el sistema debe de ser la correcta, de no ser así, puede comprometerse de una forma seria la integridad del sistema completo, y hacer que su funcionamiento no sea el optimo cuando sea requerido. Se debe de recordar, que el sistema entrara en funcionamiento al momento de iniciar el incendio y que probablemente sea necesario que funcione en condiciones de altas temperaturas, por lo que si no se respetan las especificaciones en cuanto a la resistencia de cada material, puede existir una falla que no permita que este funcione de manera correcta, o que lo inutilice totalmente.

DIAGRAMA DE PLANIFICACION DE UN SISTEMA DE PROTECCION ACTIVA CONTRA INCENDIOS A BASE DE ESPUMAS

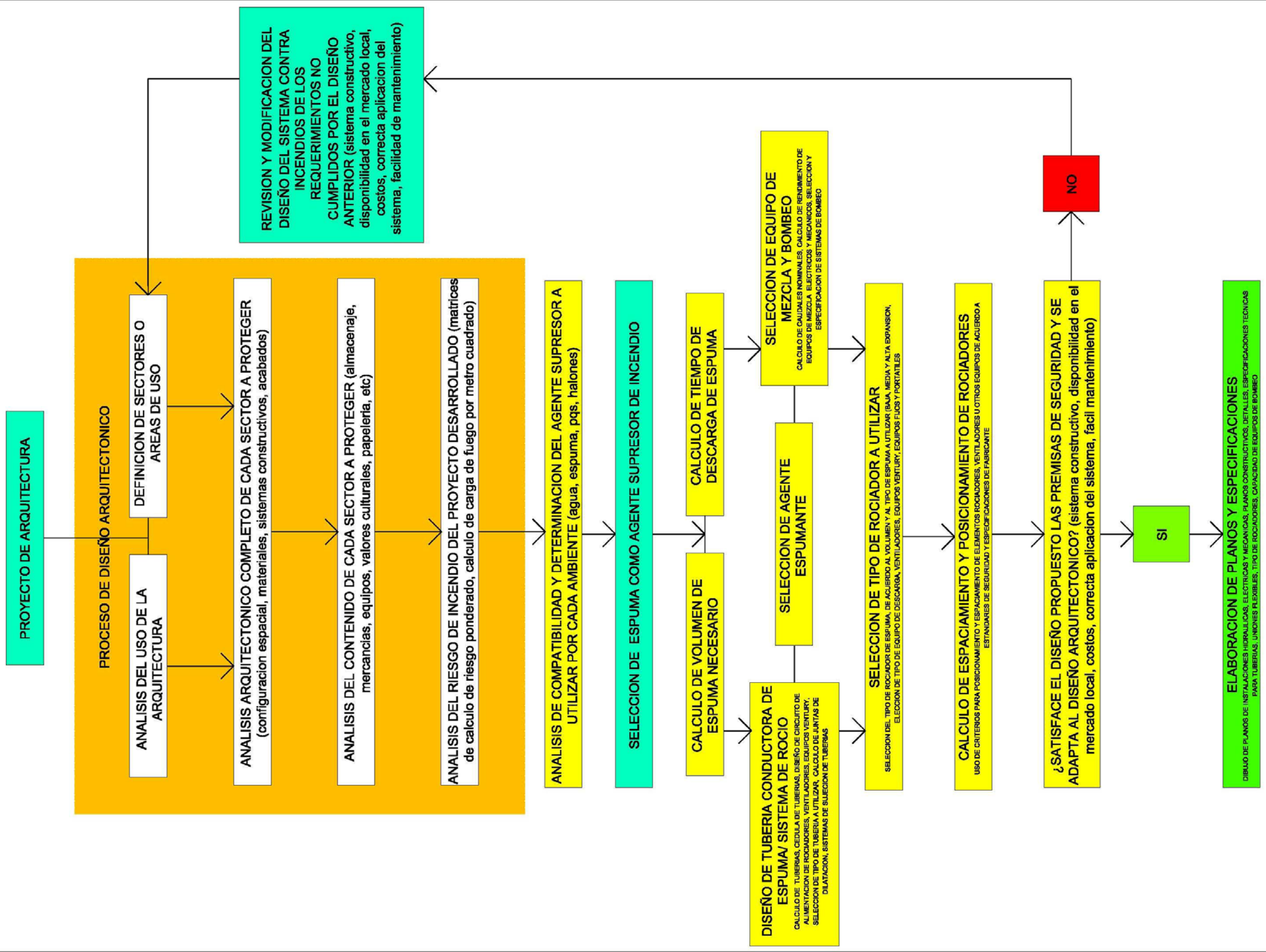


DIAGRAMA DE PLANIFICACION DE UN SISTEMA DE PROTECCION ACTIVA CONTRA INCENDIOS A BASE DE ROCIADORES DE AGUA

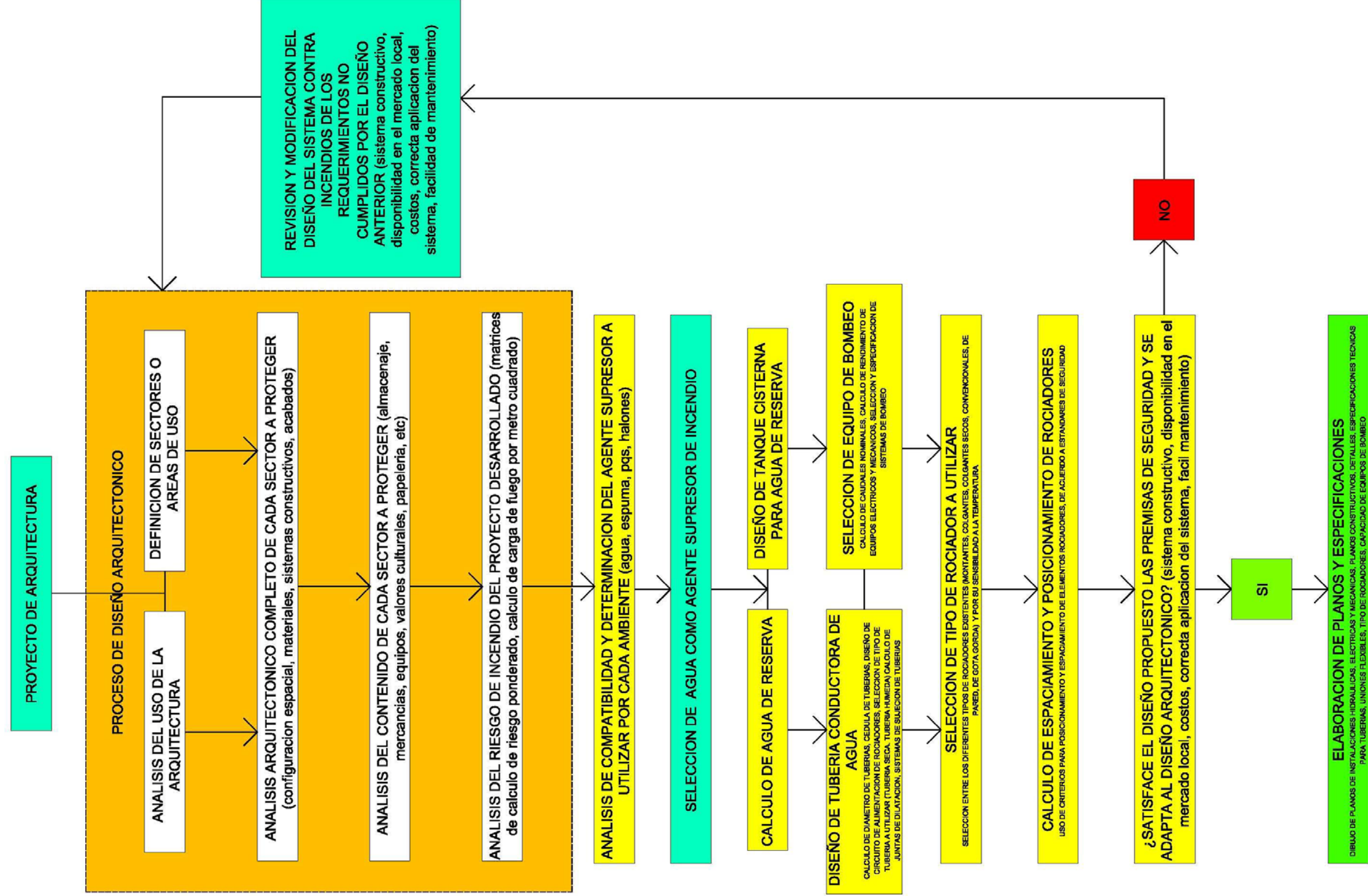


DIAGRAMA DE PLANIFICACION DE UN SISTEMA DE PROTECCION ACTIVA CONTRA INCENDIOS A BASE DE DIOXIDO DE CARBONO

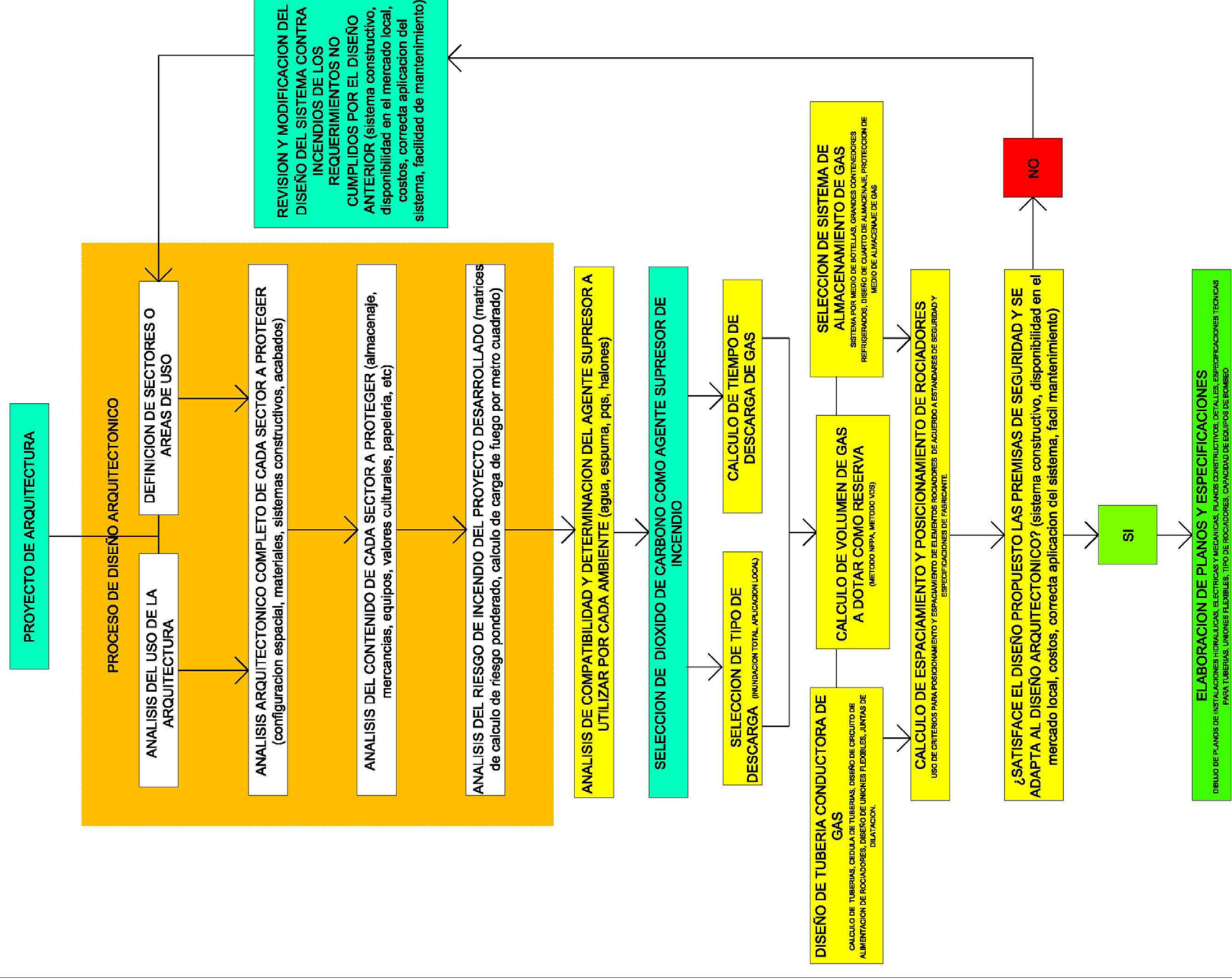


DIAGRAMA DE PLANIFICACION DE UN SISTEMA DE PROTECCION ACTIVA CONTRA INCENDIOS A BASE DE BROMOTRIFLUOROMETANO

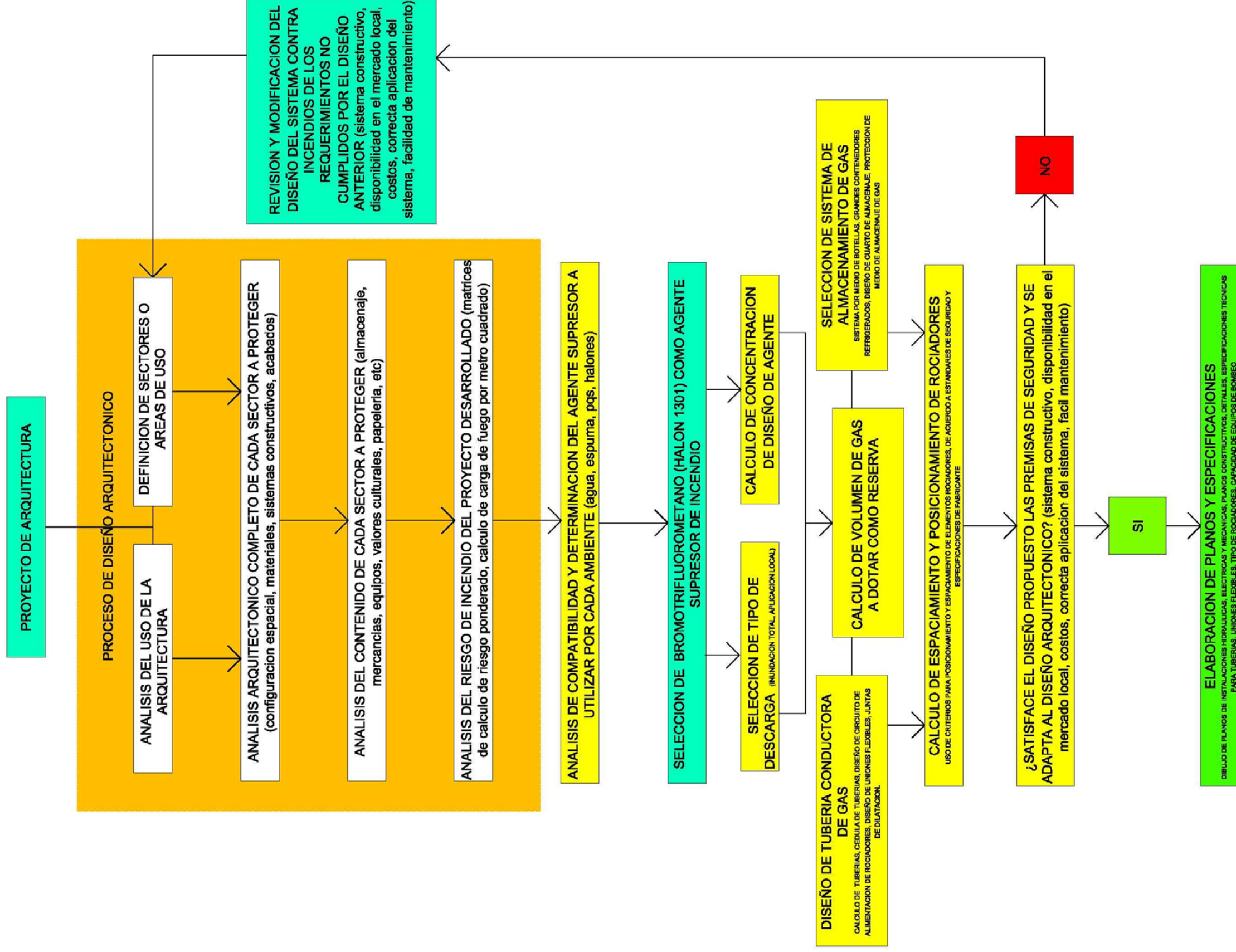
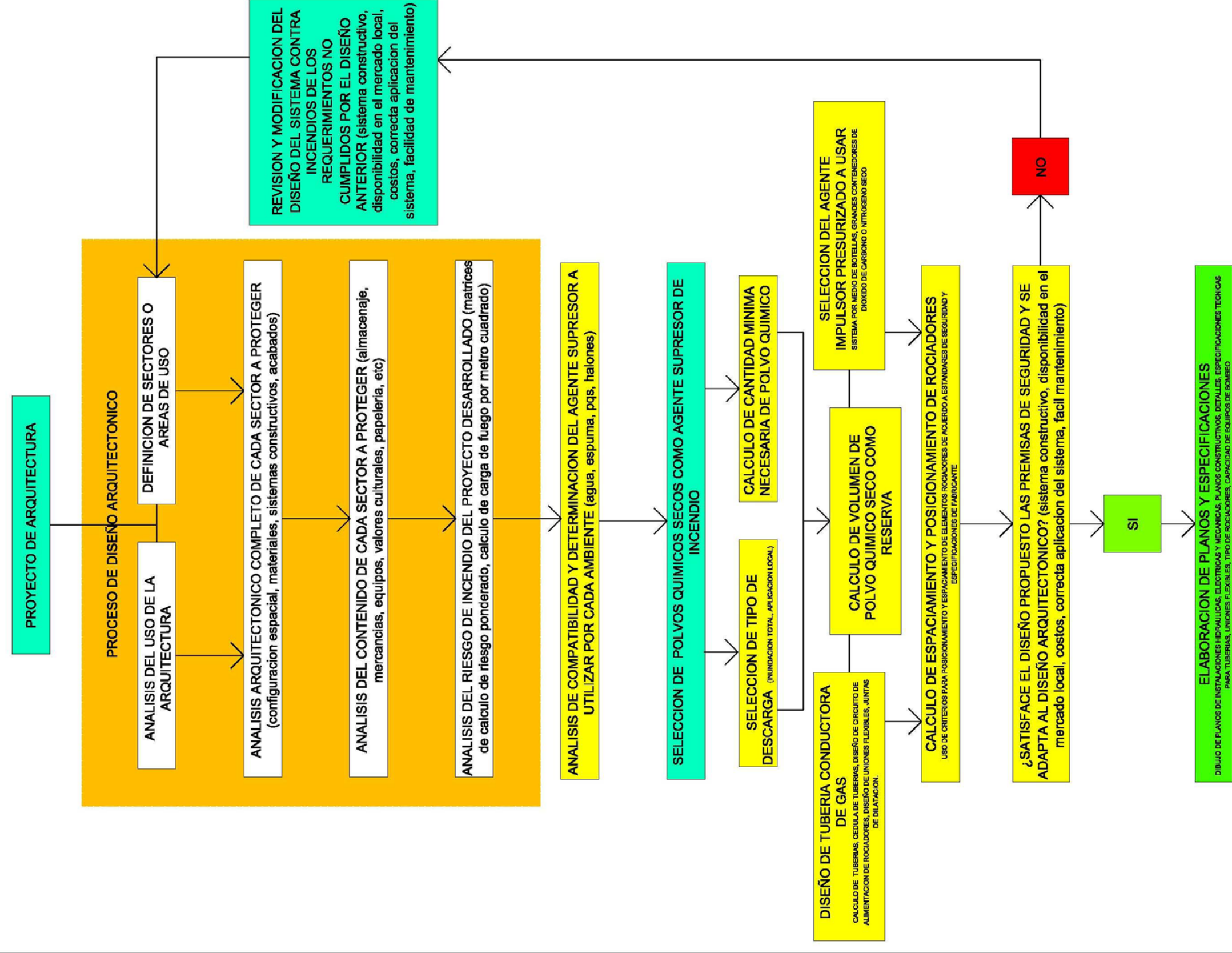


DIAGRAMA DE PLANIFICACION DE UN SISTEMA DE PROTECCION ACTIVA CONTRA INCENDIOS A BASE DE POLVOS QUIMICOS SECOS



Para Sistemas de protección Pasiva

Para diseñar un sistema de protección pasiva, se debe tener en mente que este tipo de protección estará presente en todo momento, y que su principal función, será la de proteger la integridad estructural de la edificación, de tal manera que la evacuación pueda realizarse de una manera eficaz, y que posterior a la supresión del incendio, aun sea posible rehabilitar y poner en funcionamiento nuevamente la edificación.

Debido a esto, al momento de diseñar el sistema de protección pasiva, se deberá de seguir los siguientes pasos:

1. Verificación del tipo de material y sistema estructural que se debe proteger
2. Determinación del tiempo de protección a proveer
3. Determinación del tipo de protección estructural a proveer
4. Análisis arquitectónico de la protección pasiva
5. Calculo de la protección pasiva
6. Dibujo de planos y especificaciones técnicas

Verificación del tipo de material y sistema estructural que se debe proteger

Cuando se inicia a proponer la protección pasiva para los sistemas estructurales de cualquier proyecto de arquitectura, esta primero debe de analizarse desde los puntos de vista

- Tipo de material base en el sistema estructural
- Tipo de sistema estructural utilizado en el proyecto

El análisis del material base en el sistema estructural, es de vital importancia, porque los materiales tienen distinta manera de reaccionar ante el calor, distinta tolerancia ante la temperatura, y sus modos de falla o de fatiga son diferentes para cada uno. En nuestro medio los materiales estructurales más ampliamente utilizados son:

- Acero estructural
- Concreto armado

En el caso del acero estructural, presenta una serie de debilitaciones, que van desde su módulo de elasticidad, hasta la relación de Poisson, fallando la mayor parte del tiempo por aplastamiento o por desgarramiento laminar. (Véase página 58)

Por su parte, el concreto armado, tiende a fallar cuando se hace presente el efecto Spalling, o descascaramiento, dejando expuestas armaduras, y haciendo que se debilite el acero de refuerzo por efectos del calor. (Véase páginas 34 y 35)

En cuanto al tipo de sistema estructural utilizado en el proyecto, debemos recordar que existen varios tipos de sistemas utilizados en Guatemala, dentro de los cuales podemos enumerar:

- Marcos rígidos
- Sistemas reticulares celulados

- Contraventeo o estabilización lateral por embreisado
- muros de corte

En el caso de los cerramientos verticales, los cuales juegan un papel muy importante en la definición de la arquitectura del proyecto, tanto a nivel formal como a nivel funcional, y estos también pueden protegerse pasivamente para proveer determinado grado de resistencia al fuego.

Se debe de hacer un análisis meticuloso y cuidadoso del funcionamiento de los sistemas estructurales, teniendo el cuidado que al momento de aplicar la protección pasiva, por ejemplo en el caso de mampostería (Arcilla o concreto) o recubrimientos a base de morteros, no se debe de volver monolítica una estructura con un muro tipo diafragma, o rigidizar juntas de dilatación que puedan alterar el movimiento de las estructuras, y hacerlas fallar por alterar la inercia de los elementos estructurales.

Debido a esto, es de especial importancia que este primer análisis se haga de una manera detenida, combinando el análisis del tipo de material con el análisis del sistema estructural y de esta manera, escoger la mejor de las alternativas, la que más se adapte a la arquitectura del proyecto, a la estructura, y que sea más versátil de aplicar, dependiendo del sistema estructural del que se trate.

Determinación del tiempo de protección a proveer

En los sistemas de protección pasiva, el parámetro que determinara el espesor de la protección, la densidad y por ende el peso del recubrimiento, (para los sistemas de pinturas, espumas, morteros y tableros) es el tiempo de protección a proveer.

Dependiendo del tipo de proyecto que se esté planificando, la protección podrá variar, esto, por las condiciones de uso, las posibilidades de evacuación, la altura de evacuación y el tiempo de evacuación.

Este ultimo parámetro, el tiempo de evacuación, debería de ser uno de las directrices fundamentales al momento de determinar el tiempo de protección a proveer, dado que la estructura debe de ser capaz de soportar por lo menos 30 minutos de exposición al fuego después de terminada la evacuación, por lo que para tener una idea bastante aproximada del valor de la protección pasiva a especificar en planos, debe idealmente de calcularse el tiempo de evacuación, por cualquier modelo valido. (Consultar pagina 415)

Los modelos de cálculo estudiados por ACI, AISC, ASTM, UL, BS y UNE, han estandarizado los tiempos de resistencia frente al fuego de la protección pasiva, de la siguiente manera:

- RF 30 (resistente al fuego 30 minutos)
- RF 60 (resistente al fuego 60 minutos)
- RF 90 (resistente al fuego 90 minutos)
- RF 120 (resistente al fuego 120 minutos)
- RF 180 (resistente al fuego 180 minutos)

- RF 240 (resistente al fuego 240 minutos)

Determinación del tipo de protección estructural a proveer

Una vez determinado el tiempo de protección a proveer, y teniendo en cuenta tanto el material que se desea proteger, y el sistema estructural que estará protegiendo, se está en condiciones de determinar el tipo de protección estructural más apropiado a aplicar.

Los sistemas de protección pasiva previamente descritos y estudiados, pueden aplicarse a columnas de concreto armado, columnas de acero (perfiles de alma llena o perfiles huecos tipo HSS) losas prefabricadas, y muros a prueba de fuego.

Existen varios tipos de protección que pueden ser aplicados, siendo estos:

Para acero estructural

- Pinturas y espumas intumescentes
- Morteros proyectados
- Encajuelados o forros con paneles
- Mampostería de arcilla o concreto

Para concreto

- Espesores adicionales de concreto
- Recubrimiento por medio de paneles
- Recubrimiento con mampostería de arcilla o de concreto

En cuanto a la selección del tipo de protección estructural a proveer, todos y cada uno de los sistemas anteriormente descritos, tienen en común que el parámetro que determinara la resistencia al fuego de cada uno de ellos, será el espesor equivalente de la capa de recubrimiento.

El espesor de la capa a dotar, es el principal parámetro que dará una indicación sobre cuál será el mejor sistema a aplicar dependiendo de los siguientes criterios:

- Posición (vertical, horizontal)
- Posibilidad constructiva (dificultad de fabricación o aplicación, mano de obra disponible)
- Peso
- Arquitectura (estética visual y proporción)
- Costo
- Disponibilidad de materiales a usar

De tal manera, que la opción a escoger, sea la que mejor se adapte a las condicionantes anteriormente descritas, permitiendo de una manera que sea constructivamente posible y arquitectónicamente congruente, que cumpla con los parámetros de resistencia al fuego especificados, o en su defecto, solicitados.

Análisis arquitectónico de la protección pasiva

Los sistemas de protección pasiva, son una barrera de protección que estará presente en todo momento desde la creación del proyecto de arquitectura, hasta que sea necesario que protejan contra el fuego y debido a esto resulten dañados.

Es decir, estos sistemas, permanecerán todo el tiempo visibles al usuario, y contrario a los materiales usados en la protección activa que algunos ya cuentan con acabados de fábrica, en la protección pasiva, se debe de hacer el análisis arquitectónico respectivo, para que por efectos de protección no se vea afectada la arquitectura y los acabados del proyecto.

Cuando se ha tomado la decisión del tipo de protección estructural a proveer, de acuerdo a los criterios mencionados en el inciso anterior, se debe de someter a otro análisis, desde el punto de vista arquitectura, para que los acabados de la protección pasiva a especificar, sean arquitectónicamente adecuados, para el recinto donde se encuentren aplicados, y que no se sacrifique la estética por la protección, ya que aunque la protección es la finalidad de estos sistemas, la labor del arquitecto es el diseño de los espacios, y esto incluye la belleza de los acabados de la arquitectura del diseño.

Se debe entonces de tener especial cuidado de hacer que la protección pasiva sea parte del diseño de arquitectura, como acabados de tal manera que la aplicación de cualquiera de los sistemas disponibles resulte visualmente agradable, y de esta manera no entren en conflicto con la arquitectura.

Calculo de la protección pasiva

Una vez satisfechos todos los análisis anteriores, se procederá a hacer el cálculo de cualquiera de los sistemas propuestos, es necesario mencionar acá que tal como sucede para los sistemas activos, para un sistema pasivo también puede haber más de un sistema siendo propuesto en el mismo proyecto.

Por ejemplo, para un proyecto “X” puede ser el caso que la estructura sea de acero y se especifique un recubrimiento a base de pintura intumescente en determinados sectores, mientras en otros donde exista mayor carga por fuego, sea necesario proponer un sistema por mampostería, o incluso hacer combinaciones de los mismos. En el caso de los pasillos cortafuego, o rutas seguras, se hará necesario especificar los tipos de recubrimientos que estos tendrán.

Se recomienda que el cálculo de la protección pasiva se efectúe hasta este punto, porque si se omite alguno de los pasos anteriores, es posible que habiendo calculado el sistema de protección pasiva, se descubra posteriormente que no satisface las necesidades de arquitectura, o de tipo de sistema estructural.

Dibujo de planos y especificaciones técnicas

Una vez concluidos cada uno de los pasos anteriores, y después de chequear que efectivamente el diseño del sistema propuesto satisface cada uno de los criterios anteriormente descritos, se procederá a dibujar los planos y las especificaciones técnicas.

En los planos de protección pasiva, es necesario especificar de una manera clara, con la nomenclatura y simbología necesarias, donde se aplicara cada uno de los sistemas pasivos que sean necesarios. Un plano de protección pasiva, tendrá un aspecto muy similar a una planta de acabados, indicando en planta donde se localizara un sistema, y en donde sea necesario, secciones o detalles que indiquen espesores, disposiciones de capas (para muros cortafuegos), numero de hiladas en levantados, emplantillado donde corresponda.

Las especificaciones técnicas en cuanto a los sistemas, deben de ser perfectamente definidas de acuerdo a cada sistema de protección que se vaya a especificar, de la siguiente manera:

Para pinturas y espumas intumescentes, se debe de especificar marca, color, Norma ASTM bajo la cual debe de estar producida, cantidad de capas de pintura a aplicar, y espesor final de la capa de pintura a especificar. Donde sea necesario, puede recomendarse efectuar pruebas ultrasónicas para verificar espesores de capa aplicados.

Para morteros proyectados, se debe de especificar la naturaleza del agregado a utilizar, la densidad del mortero, el espesor de capa así como la dosificación del diseño de la mezcla del mortero a aplicar, y la cantidad de capas a aplicar para lograr el espesor de diseño necesario o requerido. Se debe de especificar también el máximo peso por metro lineal que puede ser aplicado.

Para encajuelados con tableros, se debe de especificar la marca del tablero, la composición del tablero, la norma ASTM bajo la cual debe estar producida la plancha de tablero, el espesor equivalente de forro a aplicar, las capas de tablero para lograr el forro adecuado, así como los sistemas de sujeción, aplicación de acabados, y color de la textura final a aplicar en el encajuelado.

Para los sistemas de mampostería ya sea de concreto o de arcilla, se debe de especificar el espesor equivalente de la mampostería a utilizar, la densidad de la mampostería, las características del mortero de junta de mampuestos, la resistencia del mortero, si el mortero será adicionado con fibras, o si será efectuado únicamente a base de cemento, especificar el tipo de cemento a utilizar para la fabricación del mortero, así como el relleno de los huecos de la mampostería, donde sea necesario.

Para losas y sistemas prefabricados de concreto, deberá especificarse el espesor de la capa de concreto adicional calculada para proveer el tiempo de resistencia al fuego, así como si también este concreto estará reforzado por medio de aditivos, porcentaje de aire, si será adicionado con fibras de polietileno, puzolanas o cualquier otra adición al cemento a utilizar.

DIAGRAMA DE PLANIFICACION DE UN SISTEMA DE PROTECCION PASIVA CONTRA INCENDIOS A BASE DE PINTURAS O ESPUMAS INTUMESCENTES

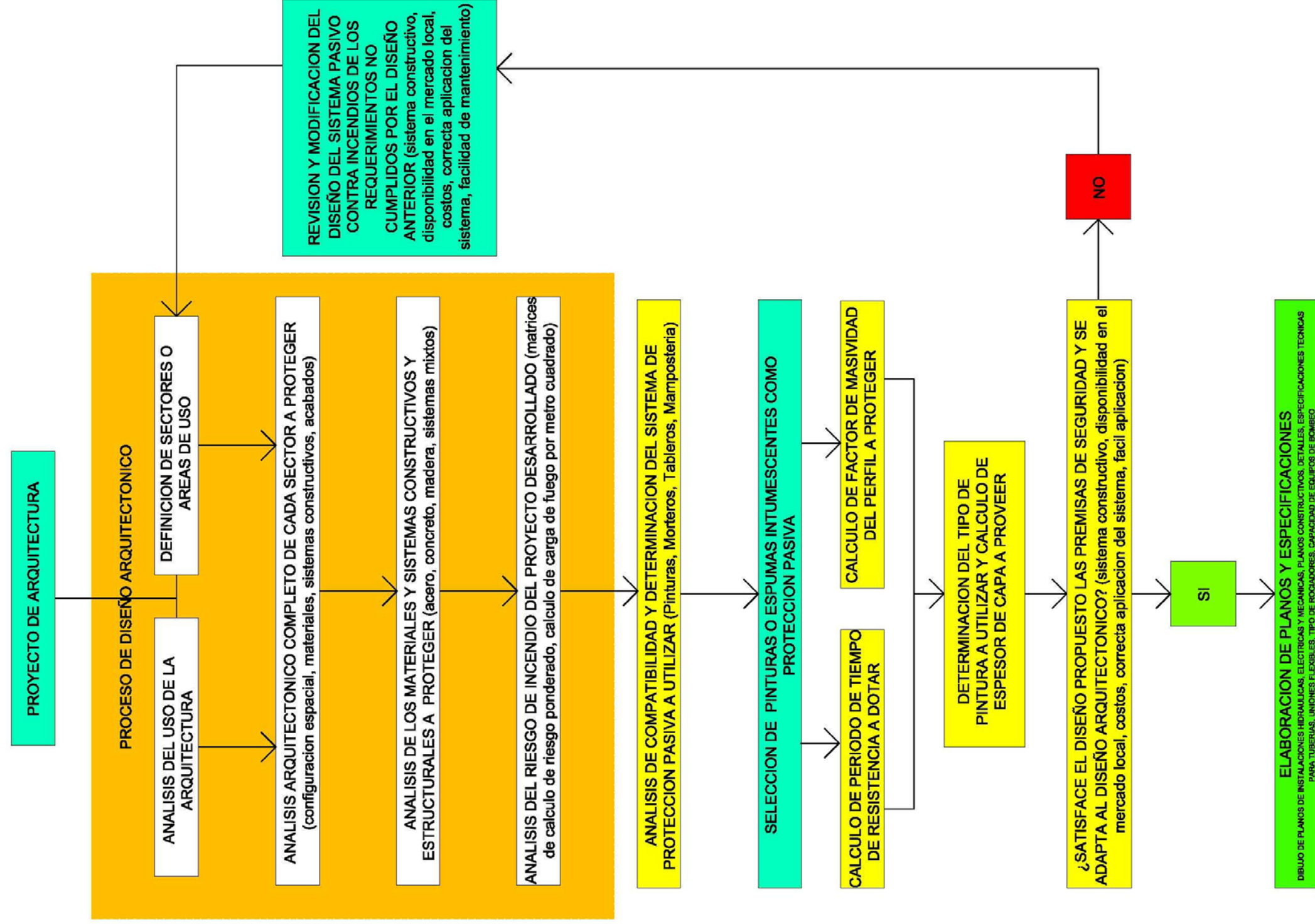


DIAGRAMA DE PLANIFICACION DE UN SISTEMA DE PROTECCION PASIVA CONTRA INCENDIOS A BASE DE MORTEROS PROYECTADOS

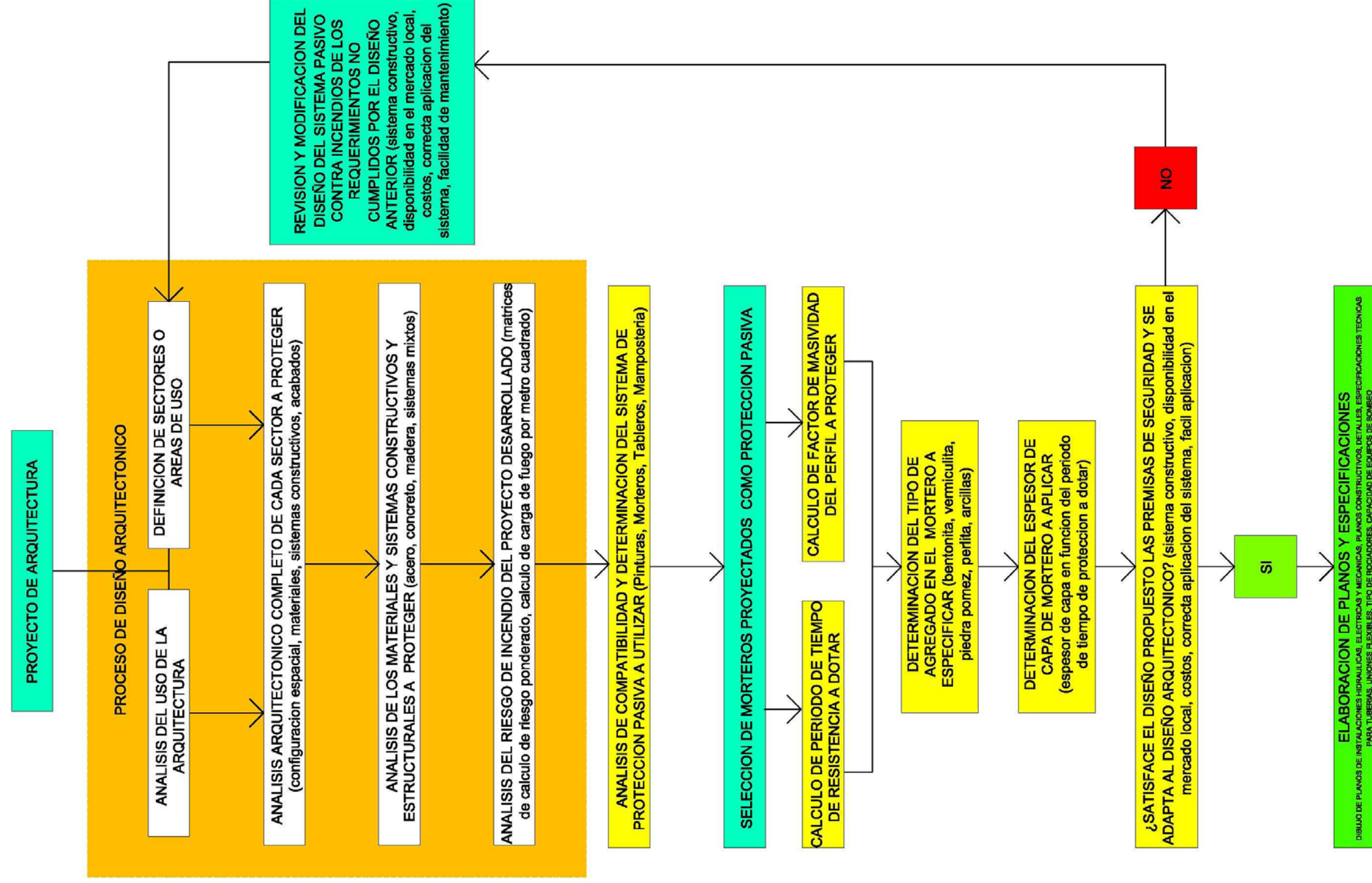


DIAGRAMA DE PLANIFICACION DE UN SISTEMA DE PROTECCION PASIVA CONTRA INCENDIOS A BASE ENCAJUELADO DE PANELES RESISTENTES AL FUEGO

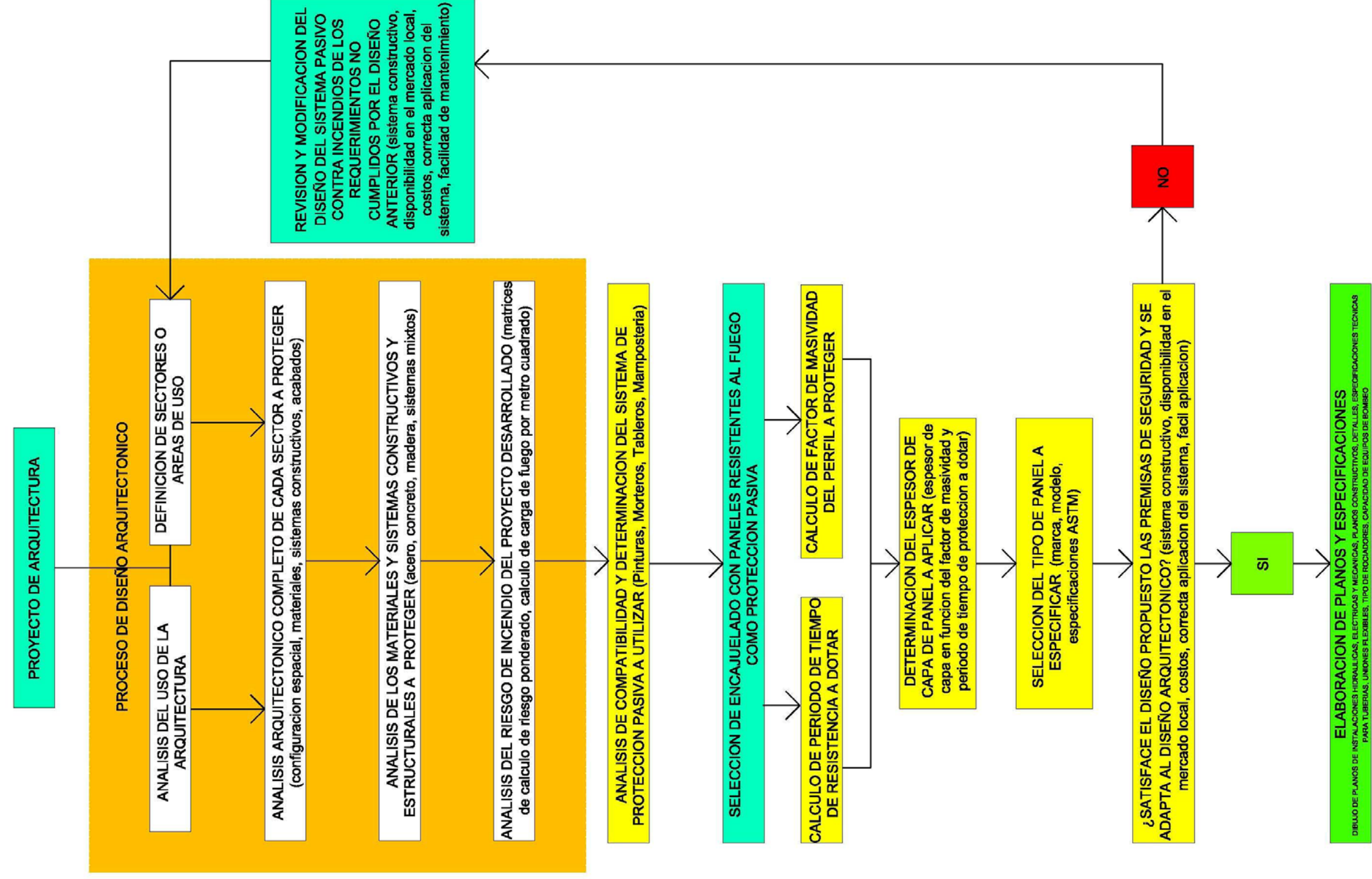
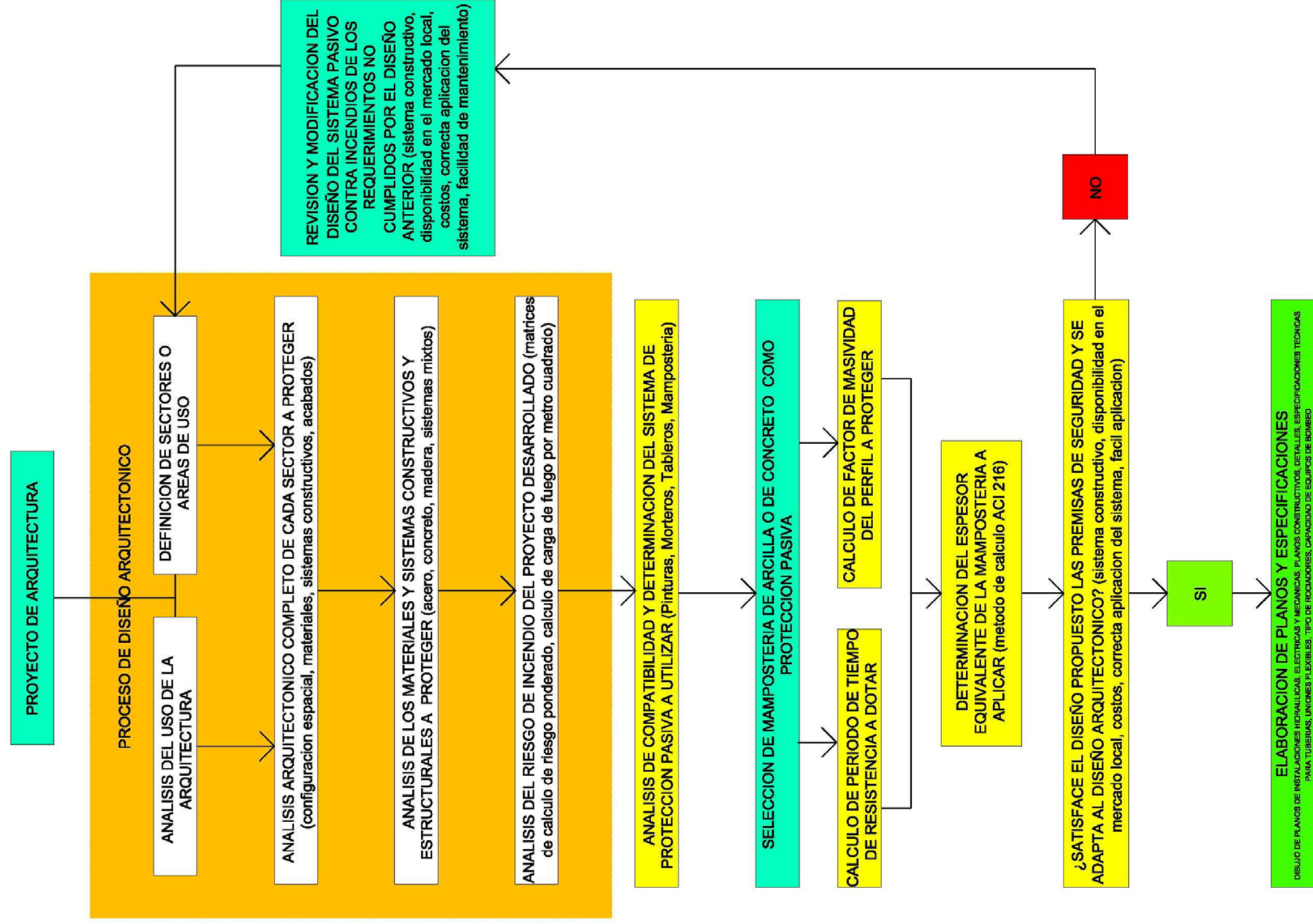


DIAGRAMA DE PLANIFICACION DE UN SISTEMA DE PROTECCION PASIVA CONTRA INCENDIOS A BASE DE MAMPOSTERIA DE CONCRETO O ARCILLA



Conclusiones

El diseño de las instalaciones especiales de protección contra incendios, solicitados como parte de las fases presentadas en el curso Practica Integrada 2, tiene como finalidad que el futuro arquitecto este en las posibilidades de planificar y diseñar un sistema contra incendios que se adapte a las necesidades y requerimientos de un proyecto específico, por lo que cada sistema que se diseña, se planifica “sobre medida”, de tal manera que es único, y responde específicamente a determinados factores, que pueden ser similares para algún otro proyecto, pero que jamás permitirán que sean aplicados como copia exacta, porque dependen de muchas variables que van desde la configuración espacial del proyecto de arquitectura, materiales, elevación en metros sobre el nivel del mar, y estos factores hacen que el diseño del sistema funcione solamente para las condiciones para las que fue creado.

Durante el desarrollo de este documento, los titulares de prensa de diversos medios impresos publicaron una serie de noticias sobre incendios ocurridos en diferentes lugares del país. Llama la atención al respecto, que 4 siniestros ocurrieron en instalaciones de fabricas donde las pérdidas ascendieron a varios millones de quetzales.

Esto pone de manifiesto la falta de atención dada al asunto, tanto por parte de las autoridades, como por parte de los profesionales de la arquitectura y de la ingeniería, porque como Arquitectos, debemos de “proponer” las medidas preventivas para los diseños arquitectónicos para los cuales somos contratados, ya sea en el ámbito laboral, o en el ámbito académico, y es precisamente en el proceso de formación profesional, donde se debe de capacitar al futuro arquitecto para que tenga las herramientas necesarias para poder diseñar y proponer soluciones que protejan al usuario.

Esta más que de manifiesto que en Guatemala, se carece de un código contra incendios, por la costumbre que se tiene de pensar en la prevención como un “gasto o costo” y no como una inversión. Estudios conducidos internacionalmente han dado como resultados valederos, que el costo de un sistema contra incendios puede llegar a ser hasta del 10% del valor del proyecto, y esto es una pequeña fracción si se ve como inversión en seguridad, al compararse este “costo” contra lo que representaría una pérdida total no solo de maquinarias, equipos y mercancías, sino de la construcción misma, dado que el fuego y el calor pueden dañar los materiales de construcción de tal manera que es imposible poner en funcionamiento determinados proyectos después de que han sido expuestos a los efectos de un incendio. En países desarrollados, se ha invertido tiempo y recursos en cuanto a la investigación de los sistemas de protección contra incendios, y se han desarrollado normas y reglamentos que demandan que el profesional tome en cuenta la posibilidad de la ocurrencia de un incendio al momento de planificar un diseño de arquitectura.

El diseño arquitectónico es responsabilidad total de un Arquitecto. Nos corresponde entonces la toma de decisiones que serán cruciales cuando los diseños propuestos sean exigidos en condiciones de incendios, y es entonces donde cobra importancia que el

diseño de la arquitectura, contemple la posibilidad de que ocurra un siniestro. Al momento de planificar, es de suma y vital importancia que los diseños se posicionen en un escenario de riesgo, para poder analizar cada una de las decisiones arquitectónicas tomadas, y se debe de recordar que las premisas de diseño a las que obedece la planificación, tomen en consideración el enfoque protección contra incendios. Si bien es cierto que no se planifica un diseño de arquitectura para que se destruya, se debe de recordar que los incendios son casos “fortuitos” y como tal, puede que ocurran o que no ocurran, al final, lo que permitirá que en emergencia pueda darse una evacuación exitosa, es que tanto el diseñador haya contemplado los posibles riesgos y haya tomado las medidas precautorias respectivas para proveer medios de escape seguros, así como medidas de prevención y de protección efectivas para las instalaciones. Mientras menor sea la vulnerabilidad, menores serán las pérdidas y la destrucción que un incendio pueda ocasionar.

Es necesario entonces que el estudiante de arquitectura, preparándose para ejercer la profesión, se auxilie del conocimiento contenido en los códigos internacionales de protección contra incendios. Esto en ocasiones, puede ser motivo de debate, dado que se tiene la creencia que los códigos tienden a volver “cuadrado o tieso” el proceso creativo del diseño de arquitectura. Contrario a lo que se cree, los códigos nos permiten diseñar dentro de rangos seguros, sin limitar las posibilidades del diseño. Claro está, existen parámetros que deben de ser respetados, pero aun así, el arquitecto esta en las posibilidades de hacer múltiples combinaciones de tal manera que respetando los códigos, la arquitectura no pierda la belleza característica que la ubica dentro de las bellas artes.

Si desde las fases tempranas del diseño, es decir, desde el anteproyecto, se toma en consideración que los proyectos de arquitectura están en riesgo de experimentar un incendio, entonces las técnicas de protección contra incendios estarán presentes a la par del diseñador, y el producto final, será un proyecto que esté preparado y que no sea vulnerable al fuego, protegiendo de esta manera al usuario, a los bienes contenidos en él, y finalmente, será posible que la arquitectura pueda protegerse ella misma por medio de sistemas eficientemente seleccionados, calculados y planificados para el efecto.

Recomendaciones

El contenido de este trabajo, responde a la necesidad de investigación para desarrollar una fase específica de entrega de proyecto del curso Practica Integrada 2, y está redactado desde el punto de vista “estudiante”, de cuál es la información necesaria con la que se debe de contar para poder diseñar un sistema contra incendios.

Están contenidos los parámetros necesarios para conocer el funcionamiento de los distintos sistemas de supresión de incendios existentes en el mercado nacional. Pero se debe de recordar que el sistema de protección contra incendios no es un ente aislado que se pueda adaptar de maneras forzadas a un proyecto que se desee proteger. La protección contra incendios idealmente debe de iniciar desde las fases tempranas del diseño, el sistema contra incendios más eficaz y seguro es el que nace a la par de la arquitectura, y se adapta a la configuración espacial que esta pueda tomar, variando su capacidad de acuerdo al recinto que se esté protegiendo.

Para poder proponer un diseño de arquitectura que sea seguro contra incendios, es imperativo que se cuente con los conocimientos necesarios a cerca de temas puntuales, los cuales son materia de diferentes cursos contenidos en el pensum de estudios de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Después de haber compilado este documento, tomando como referencia diversos códigos y normativas de vigencia internacional, se recomienda lo siguiente:

- En los cursos de Diseño Arquitectónico, se debe de enseñar al estudiante, la importancia que tienen las decisiones de diseño, y como estas pueden mitigar o incrementar el riesgo de la propagación del fuego dentro de un recinto planificado. Los docentes a cargo de impartir los cursos de Diseño Arquitectónico, deben de ser conscientes de la importancia de conocer a el tema, para poder orientar y asesorar al estudiante de una manera correcta, y motivar la investigación respecto de la protección de los proyectos ante la eventualidad de incendios. La compartimentación, el control de humo, y el diseño de las rutas de evacuación, son temas sobre los cuales los docentes deben de tener un claro conocimiento, para evaluar el diseño arquitectónico no solamente en cuanto a volumetría, forma y función, sino también respecto de que tan seguro puede ser el diseño y como puede influir la configuración espacial de los proyectos en la propagación del fuego, en la propagación del humo, y en la evacuación de las personas cuando esta sea necesaria. Es necesario además, capacitar a los docentes que carezcan de conocimientos, para que la asesoría brindada al estudiante sea lo más completa posible, apoyada en parámetros de validez reconocida, así como de estudios conducidos por instituciones especializadas.
- En el curso Materiales de Construcción, así como en los cursos de construcción, se debe de incluir y reforzar el conocimiento sobre el comportamiento de los materiales de construcción en condiciones de temperatura. Es necesario que tanto el docente como el estudiante sepan hasta donde se le puede exigir a los materiales, cuáles son sus puntos de fatiga y cuáles son los modos de falla de los materiales de construcción, para que de esta manera, al momento de proponer un

diseño de arquitectura, se esté consciente de lo que los materiales pueden soportar, y de cómo pueden fallar, y de esta manera se puedan proponer materiales en determinados puntos del diseño donde sea necesario, para proveer medidas de protección para el usuario, tanto para el que evacua, como para el que debe de permanecer dentro de las instalaciones por motivo de imposibilidad de movimiento, o por confinamiento obligatorio. También debe de recordarse, que sería de gran valor académico efectuar en clase ensayos sobre el comportamiento de materiales de construcción en condiciones de altas temperaturas, mismos que pueden ser gestionados como un proceso con el laboratorio de la facultad de ingeniería, de tal manera que el estudiante pueda ser testigo presencial de cómo un material se degrada en condiciones de altas temperaturas, y tenga un criterio mucho más amplio al momento de la selección de un material, como elemento arquitectónico, o como sistema de protección pasiva. Se recomienda también que para los cursos de construcción, se refuerce el contenido en cuanto a las técnicas constructivas para determinados tipos de materiales, y cual debe de ser la configuración, dosificación, proporción, etc., de los diferentes elementos constructivos, enfocado desde el punto de vista protección contra incendios.

- En los cursos de Calculo Estructural, se recomienda a los docentes Ingenieros y Arquitectos, recordar que en manuales como el IBC, UBC, ACI, AISC, UNE, UL, BS y otros, la carga por fuego es un parámetro que se incluye como una carga de diseño estructural. Por esto, es recomendable que en el contenido del curso, se abarquen contenidos y se propongan ejercicios donde se contemple la carga por fuego, y desarrollarlos, de tal manera que se pueda enseñar al estudiante la forma en la que el fuego debilita las estructuras desde el punto de vista resistencia mecánica, como hace que varíe el modulo de elasticidad, los efectos de la expansión térmica y la deformación hasta la rotura, la relación de Poisson, y demás características que se ven afectadas por el fuego, para de esta manera, poder tener una idea clara de la mejor forma de predimensionar las estructuras de tal manera que sean resistentes al fuego, y tengan la capacidad de ser estables por determinado periodo de tiempo para hacer posible la evacuación y permitir la estabilidad para que en caso de ser necesario, los cuerpos de socorro puedan cumplir sus labores en condiciones seguras y de una manera eficiente.
- En el curso de instalaciones 1, se recomienda incluir en el contenido del curso, el cálculo de bombas tanto eléctricas como diesel, a nivel macro, al momento se contempla el diseño de redes domesticas, pero es necesario hacer un estudio para incluir metodologías de cálculo para redes mayores, de tal manera que se esté en posibilidades de diseñar un sistema de tuberías para una demanda mayor, tomando en consideración el caudal, la perdida por rozamiento, la resistencia y tensión admisible del material de la tubería, así como la correcta selección de los diámetros de tuberías y cedula de tubería, que cumplan con especificaciones ASTM para las presiones y caudales requeridos.
- En el curso de instalaciones 2, se recomienda incluir en el contenido del curso investigación a cerca de conductores y cables con resistencia al fuego, recubrimientos ignífugos o intumescentes, y orientar la investigación en cuanto a

calibres, resistencias, tolerancias, usos, disponibilidad local en el mercado, precios y aplicaciones, de tal manera que sea posible que el estudiante tenga el conocimiento a cerca de la instalación de estos, para ponerlo en práctica al momento de especificar el diseño del sistema contra incendios.

- En el curso de instalaciones 3, se debe de hacer énfasis en la investigación de los diversos sistemas y agentes de supresión contra incendios, y en la medida de lo posible, gestionar exposiciones por parte de distribuidores locales y empresas privadas dedicadas a la venta de este tipo de productos, para relacionar al estudiante con lo disponible en Guatemala, de tal manera que el enfoque pueda ser lo más amplio posible, y se conozcan las herramientas posibles para el diseño de estos sistemas, además, se recomienda que en el contenido del curso, se incluyan prácticas de laboratorio donde se haga uso de extintores para ver su reacción con determinado tipo de agente supresor, para familiarizar al estudiante con la compatibilidad de los agentes versus el combustible que aporta energía al fuego.
- En el curso de Practica Integrada 2, que es el ente integrador de todos los conocimientos adquiridos en los demás cursos, se recomienda a los docentes del área de practica integrada, solicitar a quien corresponda, que los docentes de las áreas de diseño arquitectónico, estructuras, materiales y construcción, cumplan con cubrir los contenidos anteriormente recomendados, para que al momento de que sea solicitado el diseño de la fase de instalaciones especiales, la protección contra incendios tenga un enfoque integral que amalgame los conocimientos adquiridos en los demás cursos, de tal manera, que la carga académica que demanda el proceso de la planificación, no sea motivo o excusa para pasar por alto la investigación de cada uno de los conocimientos requeridos. Por ser un curso de formación profesional específica, es necesario que los docentes sean críticos y evalúen que el estudiante proponga soluciones viables, eficientes y funcionales para cada caso de estudio específico.
- Se recomienda a la secretaria de asuntos estudiantiles, gestionar las instancias necesarias para que el contenido de los cursos anteriormente citados, incluya los temas propuestos, para que el estudiante tenga acceso a la información necesaria que le permita tener un punto de vista más amplio y más completo, y que al momento de proponer diseños arquitectónicos, estos sean soluciones espaciales que contemplen los riesgos por fuego, y que las decisiones tomadas desde ejercicios académicos, vayan creando conciencia en el futuro profesional, sobre la importancia del tema.
- En el desarrollo de este documento, se solicito de una manera independiente, sin apoyo de la Facultad de Arquitectura, información a entidades tales como **NIST** (National Institute of Standards and Technology, Ing. Daniel Madrzykowski), **ACI** (American Concrete Institute), **ICCG** (Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala), **NCMA** (National Concrete Masonry Asociation) la colaboración a cerca de algunos temas puntuales. Fue necesario también consultar a profesionales de universidades de otros países, tales como Dr. Paulo Helene, y Dr. Carlos Britez, ambos de PhD Engenharia Ltda del Brasil, Dr. Richard Kringler,

Texas University, y Arq. Javier Parras Simon, España, para los mismos fines didácticos, entidades y profesionales que de una manera atenta y accesible compartieron conocimientos para el desarrollo de este trabajo. Apoyándose en esta experiencia, se recomienda a la Facultad de Arquitectura, en su papel de Casa de Estudios y productora de profesionales, se hagan las gestiones necesarias a las entidades correspondientes, a nivel nacional e internacional, de tal manera que exista el recurso bibliográfico (tanto escrito como por video) para que el estudiante pueda profundizar en el tema del estudio de la protección contra incendios, y así de esta forma, se pueda proponer soluciones a problemas que al día de hoy, ocurren por desconocimiento, o por falta de conciencia al respecto.

- Al compañero estudiante, se le recomienda profundizar en el tema del estudio, tocar las puertas que sean necesarias, cuando se recurre a las instituciones en busca de ayuda y se sabe lo que se está buscando, las personas son más accesibles a compartir conocimientos, recordando que la educación universitaria es un proceso de formación “autodidacta”, donde los docentes son asesores y están para resolver dudas, pero todos como parte de la USAC, tenemos la obligación de cultivar el espíritu de investigación, de tal manera que los conocimientos que adquiramos, ayuden a que seamos mejores profesionales, y que se eleve el nivel tanto académico como profesional de nuestra casa de estudios. Esto debe de ser así, para todos los temas que la carrera de Arquitectura involucra, debemos de buscar el conocimiento y la excelencia en cada uno de los aspectos técnicos que nuestra labor como Arquitectos demanda, para la producción de conocimiento, así como para ejercer la profesión de la manera más completa posible.
- A la Universidad de San Carlos de Guatemala, como máxima casa de estudios, gestionar ante las instituciones gubernamentales correspondientes, para que se haga conciencia sobre la importancia del tema, y se tomen las medidas necesarias para que en el mediano plazo, se pueda contar con códigos y normas de construcción que incluyan las medidas contra incendios con parámetros para nuestro país, como en el caso de Mexico (NOM) y en el caso de Argentina (IRAM), de tal manera que desarrolle un papel activo en el desarrollo de normativas aplicables a Guatemala.

BIBLIOGRAFIA

Para el desarrollo de este documento, fueron consultadas las siguientes referencias bibliográficas:

NFPA10, **Standard for Portable Fire Extinguishers**, 2007 edition

NFPA11, **Norma para espumas de baja, mediana y alta expansión** edición 2002

NFPA13, **Norma para la instalación de sistemas de rociadores** edición 1996

NFPA15, **Norma para sistemas fijos de aspersores de agua para protección contra incendios**, edición 2001

NFPA20, **Standard for the installation of stationary pumps for fire protection**, 2007 edition

NFPA 25, **Norma para inspección, prueba y mantenimiento de sistemas de protección contra incendios a base de agua**, edición 2002

NFPA30, **código de líquidos inflamables y combustibles** edición 1996

NFPA101, **código de seguridad humana**

NFPA14, **Standard for the installation of standpipe, private hydrant and hose systems**, 2000 edition

NFPA90A **Standard for the installation of Air Conditioning and Ventilating Systems** 1999 edition

NFPA170 **Standard for Fire Safety Symbols**, 2002 edition

NFPA2001, **Standard on clean agent fire extinguishing systems**, 2000 edition

NFPA750, **Standard on water mist fire protection systems**, 2000 edition

NFPA72, **National Fire Alarm Code**

NFPA5000, **Building Construction and Safety code**, 2009 Edition

SFPE **Handbook of fire protection engineering**, Third edition, 2002

SP-255-6, American Concrete Institute, ACI, **Comparison of fire resistance of RC Beams from different codes of practice**, M.B. Dwaikat, V.K.R Kodur,

Assessment of the influence of the type of aggregates and rehydration on concrete submitted to high temperatures, Ibracon Structures and Materials Journal, Volume 3, Number 4, December 2010

ACI 216-1-97/ TMS0216.1-91, **Método normalizado para determinar la Resistencia al fuego de las construcciones de hormigón y mampostería**, edición 1997, American Concrete Institute.

Levesque, Adam, **FIRE PERFORMANCE OF REINFORCED CONCRETE SLABS**, Tesis de Maestría en ciencias de ingeniería Civil, Instituto politécnico de Worcester, Estados Unidos de Norteamérica, Mayo 2006

Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina, **EFFECTO DEL FUEGO SOBRE LOS HORMIGONES, ALTERACIONES SUFRIDAS POR LOS AGREGADOS**, Ing. Geraldine L. Charreau, Lic. Fabio S. Luna.

Revista Obras Urbanas, España, **COMPORTAMIENTO DEL HORMIGON EN CONDICIONES DE INCENDIO**, Abril de 2008, páginas 100 a 108

The Concrete centre, Inglaterra, **CONCRETE AND FIRE, USING CONCRETE TO ACHIEVE SAFE, EFFICIENT BUILDINGS AND STRUCTURES**, revista informativa, año 2004

Castillo Jaquez, Eilin, **EFFECTOS DEL FUEGO EN LAS ESTRUCTURAS DE HORMIGON**, tesis de maestria, master en proyectos de arquitectura y ciudad, materiales de ultima generación y materiales eficientes, Universidad de Alcalá, España.

Bello Vargas, Patricio, **EFFECTO SPALLING Y PROTECCION DEL HORMIGON MEDIANTE COMBINACION DE FIBRAS**, Tesis de Grado, Facultad de Ingenieria, Universidad Austral de Chile.

Venkatesh Kodur, Richard Mcgrath, **FIRE ENDURANCE OF HIGH STRENGTH CONCRETE COLUMNS**, institute for research in construction, National Research Council, Ottawa, Canada.

Cement, Concretes and Agregates Australia, **FIRE SAFETY OF CONCRETE BUILDINGS**, Edicion Julio 2010

Kang, Suk Won, Hong, Sung-gul, Fire Technology, **BEHAVIOR OF CONCRETE MEMBERS AT ELEVATED TEMPERATURES CONSIDERING INELASTIC DEFORMATION**, Kluwer academic publishers, septiembre 2003, Estados Unidos.

Yngve Anderberg, **FIRE ENGINEERING DESIGN OF STRUCTURES BASED ON DESIGN GUIDES**, Fire safety Design, Mayo 1998, Malmö, Suecia.

Seguros y Reaseguros ASEFA, S.A. Fichas de patologia de la construccion, Ficha 48, **EFFECTOS DE INCENDIOS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO**, España, marzo 2002

Mattieu, Jules, **ASEGURAR LA RESISTENCIA AL FUEGO DE LAS ESTRUCTURAS METALICAS**, Arcelor, Luxemburgo, año 2007

Plataforma Europea del Hormigon, **SEGURIDAD Y PROTECCION COMPLETA FRENTE AL FUEGO CON HORMIGON**, folleto informativo, España, Julio 2008, No. 916

Ing. Jose Tomas Riera, Ing. Christian Dingeldein, Ing. Silvio Quiñonez, **PERDIDA DE LA RESISTENCIA MECANICA DEL HORMIGON PARAGUAYO DEBIDO A LA ACCION DEL FUEGO**, Asuncion, Paraguay.

Zhaohui Huang, Ian W. Burgess, Plank, Roger J., **BEHAVIOUR OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN FIRE**, Departamento de ingeniería civil y structural, Escuela de estudios arquitectonicos, Universidad de Sheffield, Reino Unido.

Britez, Carlos Amado, **EVALUATION OF REINFORCED HSCC COLUMNS AT HIGH TEMPERATURE**, Sao Paulo, Tesis Doctoral, Escuela Politecnica de la universidad de Sao Paulo, departamento de ingeniería de construcción civil, año 2011

Faris, Ali, **IS HIGH STRENGTH CONCRETE MORE SUSCEPTIBLE TO EXPLOSIVE SPALLING THAN NORMAL STRENGTH CONCRETE IN FIRE?** Structural Fire engineering, Universidad de Ulster, Jordanstown, Antrim, Reino Unido.

Leonardo Da vinci Pilot Project, **DESIGN OF BUILDINGS FOR THE FIRE SITUATION HANDBOOK 5**, Luxemburgo, Octubre 2005

National Research Council Canada, Kodur, V.K.R **GUIDELINES FOR FIRE RESISTANCE DESIGN OF HIGH STRENGTH CONCRETE COLUMNS**, Canada, mayo 2005,

Federal Emergency Management Agency, **OVERVIEW OF FIRE PROTECTION IN BUILDINGS, STRUCTURAL RESPONSE TO FIRE**

United States Department of Commerce Technology Administration, National Institute of Standards and Technology NIST, **ANALYSIS OF PORE PRESSURE, THERMAL STRESS AND FRACTURE IN RAPIDLY HEATED CONCRETE**, Estados Unidos, febrero de 1997

Alonso, C. **ASSESSMENT OF POST FIRE REINFORCED CONCRETE STRUCTURES. DETERMINATION OF DEPTH OF TEMPERATURES PENETRATION AND ASSOCIATED DAMAGE**, Instituto de la ciencia y construcción Eduardo Torroja, Madrid, España

International Organization for Standardization ISO, **GUIDE FOR DETERMINATION OF NEEDED FIRE FLOW**, edición Mayo 2008

Adetunji, Israel., **CASE STUDY 1: SMOKE PROPAGATION TEST AND THERMOGRAPHY SURVEY**, Corus Research, Development and Technology, Mooregate, South Yorkshire, Reino Unido, edición 2008

Poreh, M., Trebukov S., **WIND EFFECTS ON SMOKE MOTION IN BUILDINGS**, Facultad de Ingeniería Civil, Instituto de Tecnología Haifa, Israel, Edición marzo 2000

Cabrera Rebolledo, Esteban, **VENTILACION EN INCENDIOS EN EDIFICIOS DE ALTURA**, Viña del Mar, Chile

Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, **EUROCODIGO 1, BASES DE PROYECTO Y ACCIONES EN ESTRUCTURAS EXPUESTAS AL FUEGO**, España, 1998

British Standards 5266, **EMERGENCY LIGHTING PART 1, CODE OF PRACTICE FOR THE EMERGENCY LIGHTING OF PREMISES**, Reino Unido edición 2005

U.S. Fire Administration/Technical Report series **NEW YORK CITY BANK BUILDING FIRE, COMPARTMENTATION vs. SPRINKLERS**, Ciudad de New York, Enero 1993

Estrucplan on Line, emergencias, **CALCULO ESTIMATIVO DE VIAS Y TIEMPOS DE EVACUACION**, Argentina, Diciembre 2011

Linares Cervera, Mariana, Macia Torregosa, Maria Eugenia, Arteaga Iriarte, Angel, **CALIBRACION DEL TIEMPO EQUIVALENTE DE EXPOSICION AL FUEGO SEGÚN EL CODIGO TECNICO DE LA EDIFICACION**, Instituto de Ciencias de La Construcción Eduardo Torroja, Madrid, España, Abril 2004

Geren, Ronald L., **EGRESS WIDTH**, RLGA Technical Services, Ejemplar No. 22, Diciembre de 2006

Soler & Palau, Ventilation Group, **MANUAL PRACTICO DE VENTILACION SOLER & PALAU**, Madrid, España.

Alvear, D., Capote, J.A., Rein, G., Torero, J.L., Lazaro, M., Abreu, O.V., **MODELADO Y SIMULACION COMPUTACIONAL DE INCENDIOS EN LA EDIFICACION**, Universidad de Cantabria, Ediciones Diaz de Santos, Madrid, España.

Gaskill, J.R., Veith, C.R., **SMOKE OPACITY FROM CERTAIN WOODS AND PLASTICS**, Lawrence Radiation Laboratory, Universidad de California, Estados Unidos

Klote, John H., Nelson, Harold E., Liescheidt, Steven, **SMOKE MOVEMENT IN BUILDINGS**, National Institute of Standards and Technology, Estados Unidos,

Harrison, Roger, Spearpoint, Michael., **SMOKE MANAGEMENT ISSUES IN BUILDINGS WITH LARGE ENCLOSED SPACES**, Melbourne, Australia, Edición 2006

Fire Alarm System Training, **SESSION 9, SMOKE PROPAGATION PRINCIPLES IN BUILDINGS**

United Spinal Association, **SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS PARA USUARIOS DE SILLAS DE RUEDAS EN EL TRABAJO Y EN EL HOGAR**, Eastern Paralyzed Veterans Association, Estados Unidos, Febrero 1993

Steel Doors Institute, **BASIC FIRE DOOR REQUIREMENTS**, Technical Data Series, Cleveland, Ohio, edición 2005

Bendicho, Santos, **CONTROL Y EVACUACION DE HUMOS Y CALOR EN CASO DE INCENDIO**, serie de documentos Control de Humo y Temperaturas, Oviedo, España, septiembre de 2009

WS Atkins Consultants Ltd., **ASSESSMENT OF BENEFITS OF FIRE COMPARTMENTACION IN CHEMICAL WAREHOUSES**, Norwich, Inglaterra, edicion 2003

Roger, Antonio, **CONTROL DEL HUMO DE INCENDIO PARA LA EVACUACION DE LOS OCUPANTES**, Nucli Consultores, España.

NTP 436, **CALCULO ESTIMATIVO DE VIAS Y TIEMPOS DE EVACUACION**, Ministerio de Trabajo y asuntos sociales, Madrid, España, edicion 2006

Loughedd, G. **NRCC-47060 SMOKE MANAGEMENT RESEARCH AT NATIONAL RESEARCH COUNCIL**, Consejo de Investigacion de Canada, 2006

Tamura, G.T, **STAIR PRESSURIZATION SYSTEMS FOR SMOKE CONTROL: DESIGN CONSIDERATIONS**, National Research Council, Canada, edicion 1989

Peacock, Richard D., Averill, Jason D., Kuligowski, Erica D., **STAIRWELL EVACUATION FROM BUILDINGS: WHAT WE KNOW WE DON'T KNOW** National Institute of Science and Technology, NIST, Estados Unidos, Enero 2009

Asociación de Profesionales de Ingeniería de Protección Contra Incendios, APICI, Revista oficial, ejemplares Febrero 2007, Enero 2009, Julio 2006, Diciembre 2005

Gypsum Association, **FIRE RESISTANCE DESIGN MANUAL**, 19 EDITION, AÑO 2009

Occupational Safety and Health Administration, **FIRE SERVICE FEATURES OF BUILDINGS AND FIRE PROTECTION SYSTEMS**, U.S. Department of Labor, año 2006

Government of Ireland, **BUILDING REGULATIONS 2006, TECHNICAL GUIDANCE DOCUMENT B, FIRE SAFETY**, Dublin, Irlanda, año 2006

National Institute of Standards and Technology, **A GENERAL ROUTINE FOR ANALYSIS OF STACK EFFECT**, U.S. Department of commerce, Julio 1991

Vytenis Babrauskas, Krasny John, **FIRE BEHAVIOR OF UPHOLSTERED FURNITURE**, National Engineering Laboratory, Estados Unidos, Noviembre 1985

Averill, Jason D, Song, Weiguo, Ph.D. **ACCOUNTING FOR EMERGENCY RESPONSE IN BUILDING EVACUATION: MODELING DIFFERENTIAL EGRESS CAPACITY SOLUTIONS**, Estados Unidos, Abril 2007

Emer, Horst A. **EVACUACION DE EDIFICIOS POR MEDIO DE SOBREPRESION EN VIAS DE ESCAPE PROTEGIDAS**, códigos técnicos de edificación e seguridad contra incendios, Madrid, España.

Siikonen Marja Liisa, Dr., Hakonen, Henri, Msc., **EFFICIENT EVACUATION METHODS IN TALL BUILDINGS**, Julio 2003

Mchugh, Bill, **FIRE AND LIFE SAFETY THROUGH EFFECTIVE COMPARTMENTATION AND FIRESTOPPING**, firestop contractors International Association, Estados Unidos

Lennon, Tom, **INTEGRITY OF COMPARTMENTATION IN BUILDING DURING A FIRE**, septiembre 2004

Morgan, H.P., Gardner, J.P., **DESIGN PRINCIPLES FOR SMOKE VENTILATION IN ENCLOSED SHOPPING CENTRES**, Colt International Ltd., primera edicion 1990

British Standards, The Building Regulations 2000, **FIRE SAFETY, B2 MEANS OF WARNING, ESCAPE, INTERNAL FIRE SPREAD, EXTERNAL FIRE SPREAD, ACCESS AND FACILITIES FOR THE FIRE SERVICE**, Inglaterra

Bellido, C., Quiroz, A., Panizo, A., Torero, J.L., **PERFORMANCE ASSESSMENT OF PRESSURIZED STAIRS IN HIGH RISE BUILDINGS**, Edicion 2009

American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers ASHRAE, **AN OVERVIEW TO DESIGNING SMOKE CONTROL SYSTEMS**, Junio 2002

Armijo, Pedro., **CONTROL DE HUMO EN ATRIOS, BALCONES Y GRANDES ESPACIOS ABIERTOS**, Costa Rica, 1999

Pavez, Alejandro., **CONTROL DE HUMOS EN EDIFICIOS DE ALTURA**, revista BIT, ejemplar 76, enero 2011, pagina 86

Vigne, Gabriele, Gutierrez-Montes, Candido, Reind, Guillermo, **CONCEPTOS BASICOS SOBRE CONTROL DE HUMO EN GRANDES RECINTOS**, Revista Prevención de incendios, ejemplar No. 52, Pagina 54

British Standards, **BD 2569, FIRE PERFORMANCE OF ESCAPE STAIRS**, department for communities and local government, octubre 2009

International Code Council, **INTERNATIONAL BUILDING CODE IBC**, Estados Unidos, Edicion 2009

Faller, George, **SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS EN EDIFICIOS CON ATRIOS**, Especialistas en Ingenieria contra incendios, Arup Fire, Madrid, España. Edicion 2003

Montero Homs, Santiago, **TOXICIDAD DE LOS HUMOS DE INCENDIO, REGULACION DE LOS PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN DE MOBILIARIO, GASES DE PIROLISIS**, Barcelona, España, Octubre de 2011

Victaulic, DOCUMENTO 26.02-SPA, **CÁLCULO Y ABSORCION DEL AUMENTO TERMICO EN TUBERIAS**, Julio 1998

Villanueva Muñoz, Jose Luis, **BOCAS E HIDRANTES DE INCENDIO, CONDICIONES DE INSTALACION**, NTP 42, Madrid, España

Romero Castro, Aldo Humberto, López Moreno, Sinhue, **PROTECCION PASIVA CONTRA INCENDIOS: MORTEROS PROYECTADOS Y PRODUCTOS INTUMESCENTES**, Universidad Politécnica de Cataluña

American Society of Mechanical Engineers, **B31 ASME CODE FOR PRESSURE PIPING**, edition 2005

Consultores en Ingeniería de riesgos y valuaciones, **IGNIFUGACION: EL COMPORTAMIENTO DE LAS PINTURAS INTUMESCENTES SOBRE ESTRUCTURAS METALICAS. ALTERNATIVAS**. Buenos Aires, Argentina

Flores Beltetón, Omar Gilberto, **COMPORTAMIENTO DE MIEMBROS DE CONCRETO EXPUESTOS AL FUEGO**, tesis de Grado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil 1989

IMPRIMASE



Arq. Carlos Enrique Valladares Cerezo
Decano



Msc. Arq. Martín Enrique Paniagua García
Asesor



Jorge Luis Arévalo López
Sustentante