



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**DISEÑO MECÁNICO Y PROPUESTA DE PATENTE DE INVENCION O DISEÑO
INDUSTRIAL DE: CÁMARAS DE PINTURA FIJA Y MÓVIL PARA AUTOMÓVILES**

Hugo Fernando Mazariegos Quintanilla

Asesorado por el Ing. Byron Giovanni Palacios Colíndres

Guatemala, junio de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO MECÁNICO Y PROPUESTA DE PATENTE DE INVENCION O DISEÑO
INDUSTRIAL DE: CÁMARAS DE PINTURA FIJA Y MÓVIL PARA AUTOMÓVILES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

HUGO FERNANDO MAZARIEGOS QUINTANILLA
ASESORADO POR EL ING. BYRON GIOVANNI PALACIOS COLÍNDRES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. Walter Guillermo Castellanos Rojas
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de san Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO MECÁNICO Y PROPUESTA DE PATENTE DE INVENCION O DISEÑO INDUSTRIAL DE: CÁMARAS DE PINTURA FIJA Y MÓVIL PARA AUTOMÓVILES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 09 de marzo de 2009.



Hugo Fernando Mazariegos Quintanilla

Guatemala, 27 de febrero de 2012

Ingeniero

Julio Cesar Campos Paiz

Director de Escuela de Ingeniería Mecánica

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala

Presente

Ingeniero Campos:

Luego de un breve saludo, sírvame la presente para informarle que el trabajo de graduación **“DISEÑO MECÁNICO Y PROPUESTA DE PATENTE DE INVENCION O DISEÑO INDUSTRIAL DE: CÁMARAS DE PINTURA FIJA Y MÓVIL PARA AUTOMÓVILES”**, elaborado por el alumno Hugo Fernando Mazariegos Quintanilla, ha sido finalizado a satisfacción y revisado por mi persona.

Sin otro particular me despido.

Atentamente,



Ingeniero Byron Geovanni Palacios Colindres

Colegiado No. 5641

Ing. Byron G. Palacios C.
Colegiado No. 5641

**UNIVERSIDAD SAN CARLOS
DE GUATEMALA**

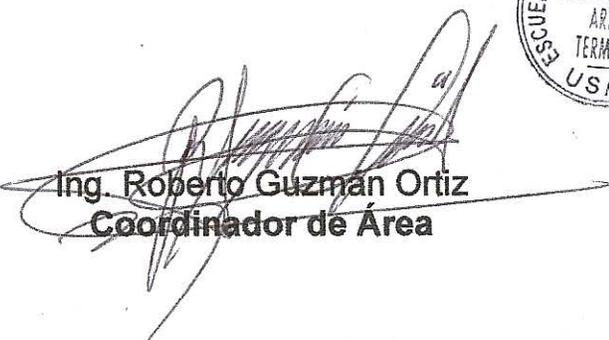


FACULTAD DE INGENIERIA

El coordinador del área Térmica de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado, **DISEÑO MECÁNICO Y PROPUESTA DE PATENTE DE INVENCION O DISEÑO INDUSTRIAL DE: CÁMARAS DE PINTURA FIJA Y MÓVIL PARA AUTOMÓVILES**, del estudiante **Hugo Fernando Mazariegos Quintanilla**, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS




Ing. Roberto Guzmán Ortiz
Coordinador de Área

Guatemala, junio 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Térmica, al Trabajo de Graduación titulado DISEÑO MECÁNICO Y PROPUESTA DE PATENTE DE INVENCION O DISEÑO INDUSTRIAL DE: CÁMARAS DE PINTURA FIJA Y MÓVIL PARA AUTOMÓVILES, del estudiante **Hugo Fernando Mazariegos Quintanilla**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Julio César Campos Paiz'.

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, junio de 2012

JCCP/behdei



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO MECÁNICO Y PROPUESTA DE PATENTE DE INVENCION O DISEÑO INDUSTRIAL DE: CÁMARAS DE PINTURA FIJA Y MÓVIL PARA AUTOMÓVILES**, presentado por el estudiante universitario **Hugo Fernando Mazariegos Quintanilla**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Reinos
Decano



Guatemala, junio de 2012

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Querido Padre, te doy las gracias por darme la oportunidad de vivir y poder lograr esta meta; te pido humildemente que me guíes por el camino de la verdad, virtud, honor y sabiduría, a través de las enseñanzas de Jesús y bendiciones de la Virgen María; te lo pido por la intersección del Espíritu Santo. Amén.
- Mi madre** Carolina Quintanilla Mollinedo, por ser el gran ejemplo de mi vida, por tu fuerza, inteligencia, amor, paciencia, dedicación y virtud.
- Mi esposa** Hellen Durdaneth Paz González, con amor y por compartir la bendición de ser padres.
- Mi hijo** Ignacio Fernando Mazariegos Paz, por ser uno de los principales fundamentos de mi amor y mi fuerza. Le doy gracias a Dios y Virgen de Guadalupe por tenerte en mi vida.
- Las familias** Familia Quintanilla Mollinedo en especial a: Karen González, Ana Karen Valdez, Jorge Mario Valdez hijo, abuela Marta Gloria Quintanilla, Marta Celina Girón, Lucrecia Quintanilla, Carmen Quintanilla e hijos,

Patricia Quintanilla e hija, José Domingo Quintanilla hijo (q.e.p.d.); por tener tanta paciencia, amor y cariño.

Familia González Farfán, en especial a: abuela Lemy Farfán, abuelo Ruperto González (q.e.p.d.), abuela Irma Yolanda González, Gabriel Alexander Paz, Carmen González; por tener un lugar en su corazón

Mis amigos

Por estar en buenos y malos momentos de mi vida en especial a: Erick Cano (q.e.p.d.), Mario Roberto García, Luis Felipe Moran, Jorge Roberto Castellanos, Juan Carlos Morataya, Liova Rivera, Amabilia Oliva, Julia Florián, Francés Recari, Dunia Franco, José Armando Gamarro, Luis Rolando González, Luis Manolo López, José Aníbal Silva, Geovanni Martínez, David Cano, Carlos Alberto García, Ramiro Jicha, Rafael Carlos Ávila, Merwin Ávila, José Guido Vinicio Escobar, Ervin Álvarez, Noé Cano, Walter Castellanos, Julio López, Jorge Mauricio, Juan Francisco Delgado, Ostap Enriquez, Selvin González, Jimmy Velásquez, Kevin Arévalo, etc.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por formarme como estudiante y forjarme como un profesional de la ingeniería.
Escuela de Ingeniería Mecánica	Por ser parte integrante de esta Escuela que nos temple para realizar las transformaciones de la energía térmica, el diseño de maquinaria, materiales y complementarias, para el desarrollo industrial, agrícola, comercial y residencial en la República de Guatemala y Centro América.
Ing. Byron Palacios	Por su asesoría y por creer en el presente trabajo de graduación y que sin él, jamás hubiera sido posible.
Ing. Telma Mirella Lorenzana	Apoyarme, para poder realizar el primer paso de mi vida profesional.
Astrid Xiomara Contreras	Por apoyarme y creer en el presente trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XIII
GLOSARIO.....	XIX
RESUMEN.....	XXIX
OBJETIVOS.....	XXXI
INTRODUCCIÓN.....	XXXIII
1. ANTECEDENTES	
1.1. Legislación nacional aplicable.....	1
1.1.1. Constitución de la República de Guatemala.....	1
1.1.2. Decreto 08 – 80.....	2
1.1.3. Decreto 68 – 86.....	3
1.1.4. Decreto 110 – 97.....	3
1.1.5. Acuerdo Gubernativo 23 – 2003.....	4
1.2. Normas nacionales e internacionales (principales) de calidad aplicable a la fabricación, comercialización y uso de cámaras de pintura.....	4
1.2.1. Normas ISO 9000.....	5
1.2.2. Normas ISO 18000.....	7
1.3. Principales normas nacionales e internacionales protección del ambiente aplicable a la fabricación, comercialización y uso de cámaras de pintura.....	9
1.4. Estadística de empresas y talleres nacionales que posean cámaras de pintura (ciudad capital y principales ciudades departamentales).....	11

1.5.	Estadística de empresas y talleres nacionales que no posean cámaras de pintura (ciudad capital y principales ciudades departamentales).....	12
2.	DISEÑO ESTRUCTURAL	
2.1.	Cargas y fuerzas.....	16
2.2.	Construcción del marco en hierro y acero.....	19
2.2.1.	Especificaciones.....	23
2.2.2.	Materiales.....	26
2.2.3.	Proporción de las distintas partes del marco.....	27
2.2.4.	Resistencia de los miembros de acero estructural.....	28
2.3.	Construcción de muros, puertas, techo y piso.....	30
2.3.1.	Especificaciones.....	32
2.3.2.	Materiales.....	35
2.3.3.	Proporción de las distintas partes de muros, puertas, techo y piso.....	41
2.3.4.	Resistencia de los distintos componentes de muro puertas, techo y piso.....	51
2.4.	Consideraciones para cimentación de la cámara de pintura fija...	56
2.5.	Consideraciones para la construcción del chasis de la cámara de pintura móvil.....	60
2.5.1.	Carga repetida, fatiga.....	60
2.5.2.	Concentración de esfuerzos.....	63
2.5.3.	Teorías sobre la falla o ruptura... ..	66
2.5.3.1.	Teoría del esfuerzo máximo.....	66
2.5.3.2.	Teoría de la deformación máxima.....	67
2.5.3.3.	Teoría del esfuerzo cortante máximo.....	67
2.5.3.4.	Teoría de la cedencia de Von Mises.....	67
2.5.4.	Métodos de la energía.....	68

2.5.4.1.	Carga axial.....	68
2.5.4.2.	Carga de torsión.....	69
2.5.4.3.	Carga de flexión.....	69
2.5.4.4.	Desplazamientos.....	71
2.5.5.	Carga dinámica o de impacto.....	73
2.5.6.	Centro de torsión.....	74
2.5.7.	Flexión asimétrica.....	78
2.6.	Consideraciones para la construcción de la suspensión.....	82
	de la cámara de pintura móvil	
2.6.1.	Resortes de ballesta.....	83
2.6.2.	Suspensiones traseras.....	86
2.6.3.	Suspensiones de las ruedas delanteras.....	86
2.7.	Diseños estructurales de cámaras de pintura fija y móvil.....	89
2.7.1.	Criterios de diseño del marco.....	89
2.7.2.	Criterios de diseño de los muros, puertas techo y piso.....	90
2.7.3.	Criterios de diseño de cimentación.....	91
2.7.4.	Criterios de diseño de chasis y suspensión.....	92
3.	DISEÑO DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y PROTECCIÓN AMBIENTAL	
3.1.	<i>Confort</i>	94
3.2.	Índices de confort ambiental.....	98
3.3.	Condiciones de <i>confort</i>	104
3.4.	Consideraciones de la calidad del aire en el interior de las cámaras de pintura.....	107
3.5.	Contaminantes por el proceso de pintura	108
3.6.	Métodos para el control de contaminantes y protección ambiental.....	111

3.6.1.	Eliminación o modificación de las fuentes de.....	112
	contaminantes	
3.6.2.	Uso de aire exterior.....	113
3.6.3.	Distribución del aire en el espacio.....	115
3.6.4.	Limpieza del aire.....	116
3.6.4.1.	Remoción del gas.....	117
3.6.4.2.	Remoción de partículas.....	120
3.7.	Diseños de acondicionamiento de aire y protección ambiental de cámaras de pintura fija y móvil.....	123
3.7.1.	Criterios de diseño para la calidad del aire en el interior de las cámaras de pintura.....	123
3.7.2.	Criterios de diseño para el control de contaminantes y protección ambiental.....	124
4.	DISEÑO DE INSTALACIÓN MECÁNICA NEUMÁTICA	
4.1.	Caudal de trabajo.....	125
4.2.	Presión de trabajo.....	126
4.3.	Tipo de tuberías y accesorios a utilizar.....	127
4.3.1.	Clases de tuberías.....	130
4.3.2.	Accesorios en la tubería.....	131
4.3.3.	Longitud de la tubería.....	134
4.3.4.	Diámetro de la tubería.....	136
4.3.5.	Instalación de las tuberías y sus accesorios.....	140
4.4.	Cálculo del compresor a utilizar.....	143
4.5.	Tipos de unidad de mantenimiento a utilizar.....	146
4.5.1.	Condensador de humedad.....	147
4.5.2.	Filtro de aire.....	149
4.5.2.1.	Filtro mecánico.....	150
4.5.2.2.	Filtro de rejilla.....	151

4.5.2.3.	Filtro de borde.....	151
4.5.2.4.	Filtros de descarga automática.....	152
4.5.3.	Válvula reguladora de presión.....	153
4.5.3.1.	Válvula reguladora de diafragma.....	153
4.5.3.2.	Válvula reguladora de émbolo.....	155
4.5.4.	Manómetro Bourdon.....	156
4.5.5.	Lubricador.....	158
4.6.	Diseños de instalaciones mecánicas neumáticas para cámaras de pintura fija y móvil.....	160
4.6.1.	Criterios de diseño de tipo de tubería y accesorios a utilizar.....	160
4.6.2.	Criterios de diseño del compresor y unidad de mantenimiento a utilizar.....	161
5.	DISEÑO TERMODINÁMICO	
5.1.	Condiciones exteriores de diseño.....	164
5.2.	Condiciones internas de diseño.....	166
5.3.	Pérdidas de calor por transmisión.....	167
5.4.	Infiltración.....	168
5.4.1.	Método de cambio de aire.....	169
5.4.2.	Método de fisuras.....	170
5.5.	Fuentes de calor.....	172
5.6.	Diseños termodinámicos para cámaras de pintura fija y móvil.....	173
5.6.1.	Criterios de diseño para condiciones internas y externas.....	173
5.6.2.	Criterios de diseño de pérdidas de calor e infiltración.....	173
5.6.3.	Criterios de diseño para fuentes de calor.....	174

6.	PROPUESTA DE PATENTE DE INVENCION O DISEÑO INDUSTRIAL DE CÁMARAS DE PINTURA	
6.1.	Descripción de propuesta de cámaras de pintura fija y móvil.....	176
6.2.	Dibujos y/o diagramas de cámara de pintura móvil.....	177
6.3.	Dibujos y/o diagramas de cámara de pintura estática.....	177
6.4.	Resumen de propuesta de cámaras de pintura fija y móvil.....	177
7.	PROCEDIMIENTO PARA OTORGAR PATENTES DE INVENCION, MODELOS DE UTILIDAD, DISEÑOS INDUSTRIALES, ETC.	
7.1.	Presentar el formulario de solicitud.....	179
7.2.	Fecha de la presentación de la solicitud.....	180
7.2.1.	Unidad de la invención.....	181
7.3.	Examen de forma.....	181
7.4.	Edicto.....	181
7.5.	Publicación.....	182
7.6.	Período de observaciones.....	182
7.6.1.	Comentarios de las observaciones.....	183
7.6.2.	Notificación de la orden de pago.....	183
7.7.	Examen de fondo.....	183
7.7.1.	Requisitos.....	184
7.7.2.	Resolución sobre la solicitud de la patente de Invención.....	185
7.8.	Otorgamiento de Patente o Registro.....	186
7.9.	Vigencia de la protección.....	186
7.10.	Pago de anualidades para mantener vigente la patente ó el registro.....	187

CONCLUSIONES.....	189
RECOMENDACIONES.....	191
BIBLIOGRAFÍA.....	193
APÉNDICE.....	195
ANEXO.....	197

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ciclo de mejoramiento continuo	8
2.	Traslape del trabajo en los pasos del proceso de diseño.....	15
3.	Perlita, acero con el 0,9% de carbono	20
4.	Efecto del calentamiento en la microestructura de un acero.....	21
5.	Porción del diagrama de equilibrio hierro carbono	22
6.	Sección de exploración a-a.....	32
7.	Componentes de los efectos internos en la sección de exploración a-a.....	33
8.	Componentes sección a-a. Sección exploración b-b	35
9.	Varias morfologías de compuestos reforzados con fibras.....	40
10.	Uniones por solape.....	47
11.	Uniones a tope.....	48
12.	Tipos de uniones soldadas.....	50
13.	Resistencia al cortante de la garganta	51
14.	Efecto de las fibras de vidrio orientadas aleatoriamente.....	55
15.	Máquina rotativa del ensayo de fatiga	61
16.	Diagrama $\sigma - N$	62
17.	Efecto de un cambio brusco de sección circular.....	64
18.	Efecto de un cambio brusco de sección elíptica.....	65
19.	Energía almacenada en un elemento diferencial de una viga.....	70
20.	Sólido elástico articulado y apoyado, sometido a varias fuerzas.....	71
21.	Constante del resorte y deformación producida por la masa.....	73
22.	Diagrama de cuerpo libre de un perfil U o canal.....	75

23.	Corte de un perfil U o canal.....	77
24.	Esfuerzo de flexión origina momentos resistentes	79
25.	Flexión asimétrica descompuesta.....	81
26.	Resorte de ballesta sustituido por un trapecio.....	83
27.	Coeficiente K1 para la deformación de un resorte trapecial.....	84
28.	Suspensión de las ruedas delanteras con pivote de dirección Independiente.....	87
29.	Suspensión de las ruedas delanteras con juntas esféricas y sin pivote.....	87
30.	Esquema geométrico de las articulaciones de la suspensión independiente de las ruedas delanteras.....	88
31.	Aislamiento térmico de la ropa para varios niveles de <i>confort</i>	97
32.	Rangos aceptables de temperatura operativa y de humedad.....	106
33.	Entradas y salidas de aire correctas e incorrectas.....	110
34.	Eficiencia gravimétrica de los filtros de alto rendimiento con unidad filtrante seca.....	121
35.	Accesorios en tuberías rígidas.....	133
36.	Instalación de una toma de presión.....	142
37.	Instalación de un condensador con drenaje automático.....	148
38.	Instalación de un condensador con drenaje manual.....	149
39.	Filtro de rejilla plano.....	151
40.	Filtro de borde.....	152
41.	Sección de un regulador de diafragma.....	155
42.	Manómetro Bourdon.....	157

TABLAS

I.	Estadísticas de empresas y talleres que posean cámaras de pintura (ciudad capital y principales ciudades departamentales)....	11
II.	Estadísticas de empresas y talleres que no posean cámaras de pintura (ciudad capital y principales ciudades departamentales)....	12
III.	Números básicos para aceros SAE y ANSI.....	24
IV.	Números básicos para varios aceros muy empleados.....	25
V.	Propiedades mecánicas de aceros característicos bajos en carbono y cementados en caja.....	28
VI.	Propiedades mecánicas de aceros característicos con contenido medio de carbono o endurecimiento directo.....	29
VII.	El proceso de trabajo.....	30
VIII.	Proceso de diseño en ingeniería.....	31
IX.	Efecto de los mecanismos de endurecimiento en el aluminio y en las aleaciones de aluminio.....	36
X.	Sistema de designación para las aleaciones en el aluminio.....	37
XI.	Espesores mínimos en muros.....	46
XII.	Propiedades de algunas aleaciones de aluminio.....	52
XIII.	Designaciones del grado de endurecimiento para aleaciones de aluminio.....	53
XIV.	Propiedades de algunos materiales reforzados con fibras.....	55
XV.	Ejemplos de materiales reforzados con fibras.....	59
XVI.	Apoyo de seguridad sobre suelos.....	57
XVII.	Resistencia a la tracción en Kg/cm ² , de los aceros con tratamiento térmico para resortes formados en caliente.....	85
XVIII.	Generación típica de calor metabólico para diferentes actividades.....	95
XIX.	Evaluación del índice de estrés por calor	103

XX.	Escala de sensación térmica.....	104
XXI.	Principales normas de calidad del aire ambiental.....	114
XXII.	Datos de ingeniería. Filtros de unidad filtrante seca de alto rendimiento.....	122
XXIII.	Para el cálculo de la necesidad de aire.....	125
XXIV.	Presión de herramientas, líneas y accesorios.....	127
XXV.	Tamaños sugeridos para sistemas de tuberías de aire comprimido.....	129
XXVI.	Resistencia de los materiales en las tuberías.....	131
XXVII.	Pérdidas de presión de aire en accesorios de tubería.....	134
XXVIII.	Pérdidas de presión de aire en accesorios de tubería, en términos de codos equivalentes.....	135
XXIX.	Factor de pérdida de presión por fricción en las tuberías de hasta 4 pulgadas de diámetro.....	138
XXX.	Caudal usado para los principales aparatos neumáticos.....	144
XXXI.	Requisitos de aire.....	145
XXXII.	Tamaño y tipo de compresor para óptimo servicio.....	145

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
AA	Aire acondicionado
A	Área sobre la cual actúa la carga
HP	Caballos de poder
IAQ	Calidad del aire interior
qs	Calor sensible requerido
cp	Capacidad térmica específica del aire
P	Carga aplicada
AISI-SAE	Clasificación de aceros y aleaciones de materiales no ferrosos
C	Coeficiente de flujo
VOC	Compuestos orgánicos volátiles
$\sigma_c = f_m \sigma_m + f_f \sigma_f$	Conductividad eléctrica

$k_c = f_m k_m + f_f k_f$	Conductividad térmica
k	Conductividad térmica media
k	Constante elástica del material
δ	Deformación total
ε	Deformación unitaria
$\rho = f_m \rho_m + f_f \rho_f$	Densidad de los compuestos reforzados con fibras
ΔP	Diferencial de presión
ΔP_p	Diferencial de presión debido a la presurización del recinto
ΔP_s	Diferencial de presión debido al efecto de chimenea
ΔP_w	Diferencial de presión debido al viento
U	Energía de deformación
σ	Esfuerzo unitario
F	Factor de pérdida
FS	Factor de seguridad
R	Factor de tubería

P_{xx}	Fuerza axial
V (V_y ó V_z)	Fuerza cortante total
g	Fuerza de gravedad
P_{xy} ó P_{xz}	Fuerzas cortantes
dt/dx	Gradiente de temperatura
msnm	Metros sobre nivel del mar
E	Módulo de elasticidad
G	Módulo de elasticidad cortante
μ	Módulo o relación de Poisson
I	Momento de inercia
J	Momento polar de inercia de la sección circular
T (M_{xx})	Momento torsionante
M_{xy} ó M_{xz}	Momentos flexionantes
N	Número de revoluciones
PPD	Porcentaje de insatisfacción pronosticado

T	Presión sobre el suelo
c	Radio de flecha
$\Sigma x, \Sigma y$ ó Σz	Sumatoria de fuerzas
ΣM m_o	Tasa de flujo volumétrico del aire de infiltración
Q	Tasa de infiltración
q	Tasa de transferencia de calor
$\Sigma Mx, \Sigma My$ ó ΣMz	Sumatoria de momentos
m_o	Tasa de flujo volumétrico del aire de infiltración
Q	Tasa de infiltración
q	Tasa de transferencia de calor
t_{nwb}	Temperatura de bulbo húmedo naturalmente ventilado
t_{db}	Temperatura de bulbo seco
T_g	Temperatura de globo
t_g	Temperatura de globo relativa
T_a	Temperatura del aire ambiental

ET^*	Temperatura efectiva
T_{mrt}	Temperatura radiante media, R ó K
\tilde{V}	Velocidad del aire
V	Volumen total del espacio

GLOSARIO

ACH	Número de cambios de aire por hora en un recinto, donde se acondicionara el aire.
Aire acondicionado	Un acondicionador de aire de recinto es básicamente un equipo encapsulado diseñado especialmente para instalarse sobre una ventana, a través de una pared como una consola.
ANSI	Instituto Nacional de Normalización Estadounidense
Artículo	Una de las partes que suelen dividirse los escritos. Cada una de las disposiciones numeradas de los tratados, ley, reglamentos; y es ésta una de las acepciones de mayor importancia.
ASHARE	Sociedad Americana de Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento de Ingenieros de Aire.
Calor sensible	Es aquel que recibe un cuerpo y hace que aumente su temperatura sin afectar su estructura molecular y por tanto su Estado.
Carga aplicada	Es la fuerza que se ejerce en un lugar en particular.

Conductividad eléctrica	Es la capacidad de un cuerpo para permitir el paso de la corriente eléctrica.
Conductividad térmica	Cantidad que mide la intensidad a la cual el calor se transmite a través de un material
Constitución	Forma o sistema de gobierno que tiene cada Estado. Ley fundamental de la organización de un Estado.
Decreto	Resolución del Poder Ejecutivo que va firmada por el rey en las Monarquías constitucionales, o por presidente en la República, con el referendo de un ministro, generalmente el del ramo a que la resolución se refiere, sin cuyo requisito carece de validez.
Deformación total	Es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo o la ocurrencia de la dilatación térmica, también se le conoce como alargamiento.
Deformación unitaria	Es la relación entre el alargamiento o deformación total y la longitud del cuerpo.
Densidad	Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.

Documento público	Es el otorgado o autorizado, con las solemnidades requeridas por la ley, por notario o escribano, secretario judicial u otro funcionario público competente, para acreditar algún hecho.
Edicto	Mandato, decreto publicado con autoridad del príncipe o del magistrado. Escrito que se fija en los parajes públicos de las ciudades o poblados, y en los cuales se da noticia de alguna cosa para que sea notoria para todos.
Energía de deformación	Aumento de energía en el interior de un sólido deformable, como resultado del trabajo realizado por las fuerzas que provocan la deformación.
Esfuerzo unitario	Resistencia interna de un cuerpo elástico a la acción de las fuerzas exteriores, que se expresa en unidades de fuerza por unidad de superficie. También llamada fatiga.
ETS	Humo de tabaco ambiental.
Factor de seguridad	Es la razón entre la carga última y la carga admisible.
Formulario	Libro o escrito que contiene una colección de fórmulas que se hay que observar para peticiones, trámites y ejecuciones. Impreso que se llena a mano

o máquina para múltiples diligencias administrativas, bancarias y de actividades burocráticas en general.

Fuerza axial	Esta componente corresponde a la acción de tirar o empujar sobre la sección.
Fuerza cortantes	Son componentes de la resistencia total al deslizamiento de porción de sólido a un lado de la sección de exploración con respecto de toda porción.
Fuerza de gravedad	Es una de las cuatro interacciones fundamentales. Origina la aceleración que experimenta un objeto en las cercanías de un planeta o satélite.
Gravimetría	Método analítico cuantitativo para determinar la cantidad de una sustancia midiendo su peso.
Gravímetro	Areómetro de volumen constante y peso variable, que sirve para determinar el peso específico de los cuerpos.
Gradiente de temperatura	Razón del cambio de la temperatura por unidad de distancia, muy comúnmente referido con respecto a la altura.
LE	Longitud equivalente

Ley	En el sentido amplio, se entiende por ley toda norma jurídica reguladora de los actos y de las relaciones humanas, aplicables en determinados tiempo y lugar, dentro de esa idea, seria ley todo precepto dictado por autoridad competente, andando o prohibiendo una cosa en consonancia con la justicia y para el bien de los gobernados
Módulo de cizalladura	Constante elástica que caracteriza el cambio de forma que experimenta un material elástico cuando se aplican esfuerzos cortantes.
Módulo de elasticidad	La pendiente de la recta es la relación entre el esfuerzo y la deformación y se representa por la letra E. El modulo de elasticidad se representa, $E = \sigma / \epsilon$
Módulo de Poisson	Es una constate elástica que proporciona una medida del estrechamiento de sección de un prisma de material elástico lineal e isótropo cuando se estira longitudinalmente y se adelgaza en las direcciones perpendiculares a la de estiramiento.
Momento de inercia	El momento de inercia refleja la distribución de masa de un cuerpo o de un sistema de partículas en rotación, con respecto a un eje de giro. El momento de inercia sólo depende de la geometría del cuerpo y de la posición del eje de giro; pero no depende de las fuerzas que intervienen en el movimiento.

Momento flexionante	Esta componente mide la resistencia del cuerpo a curvarse o flexionarse respecto de los ejes Y ó Z.
Momento polar de inercia	No tiene significado físico, pero aparece en el estudio de las tensiones que se produce en un eje circular sometido a torsión.
Momento torsionante	Esta componente mide la resistencia a la torsión del sólido considerado.
Morfología	Es la disciplina que estudia la generación y las propiedades de la forma.
Notificación	Acción o efecto de hacer saber, a un litigante o parte interesada de un juicio, cualquiera sea su índole, o a sus representantes y defensores, una resolución judicial u otro acto del procedimiento.
Observación	Cuidados o examen de los hechos y de las personas. Vigilancia. Objeción, reparo. Observancia o cumplimiento.
Otorgar	Consentir o acceder. Admitir o tolerar. Estipular algo en escritura pública.
Patente de invención	Documento que se confiere administrativamente a todo autor inventor de un objeto industrial, a efecto de garantizarle la propiedad exclusiva de su obra, invento o descubrimiento por el término que la ley

determine, con el derecho consiguiente para su explotación o cesión lucrativas.

PMV	Índice del voto promedio pronosticado.
PPD	Porcentaje de insatisfacción pronosticado.
Publicación	Acto de llevar a conocimiento general un hecho o cosa. Manifestación o revelación de lo reservado, oculto o secreto. Divulgación, difusión.
Registro de la propiedad intelectual	Es la organización administrativa que en cada país asegura la propiedad intelectual de los autores, editores, científicos, tecnólogos, películas, etc.
Reglamento	Toda instrucción escrita destinada a regir una institución o a organizar un servicio o actividad. La disposición metódica y de cierta amplitud que, sobre una materia, y a falta de ley o para completarla, dicta un Poder administrativo. Según la autoridad que la promulga, se está ante norma con autoridad de decreto, ordenanza, orden o bando.
Requisito	Circunstancia o condición necesaria para la existencia o ejercicio de un derecho, para la validez y eficacia de un acto jurídico, para la existencia de una obligación.

Resolución	Acción o efecto de resolver o resolverse. Solución de problema, conflicto o litigio. Fallo, auto, providencia de una autoridad gubernativa o judicial.
Revoluciones	Es una unidad de frecuencia, usada frecuentemente para medir la velocidad angular. En este contexto, una revolución es una vuelta de una rueda, un disco o cualquier cosa que gire sobre su propio eje.
SAE	Sociedad Norteamericana de Ingenieros Automotores.
Solicitud	Pretensión o petición por escrito. Instancia memorial.
Transferencia de calor	Es el flujo de energía térmica desde un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura.
Tratado	Obra escrita, relativa extensión y amplitud de contenido, relativa a un arte o ciencia. En general, convenio o contrato. Especialmente, nombre de las estipulaciones entre dos o más Estados, sobre cualquier materia o acerca de un complejo de cuestiones.
Temperatura de bulbo húmedo	Temperatura que da un termómetro bajo la sombra, con el bulbo envuelto en una mecha de algodón.
Temperatura de bulbo seco	Temperatura con un termómetro de mercurio o similar cuyo bulbo se encuentra seco.

Temperatura de globo	Temperatura compuesta usada para estimar el efecto de la temperatura, humedad y radiación solar.
Velocidad del aire	Es uno de los parámetros que se incluye en los cálculos de sensación térmica. Se expresa en m/s y se mide con diversos tipos anemómetros.
Vigencia	Referida a las leyes y demás disposiciones generales de los Poderes y de las autoridades, en vigor y de observancia obligatoria.
WCI	Índice de enfriamiento del viento.

RESUMEN

En países de la región centroamericana se cuentan con muy pocas empresas que se dediquen a la investigación, desarrollo y manufactura de máquinas térmicas. Para satisfacer la demanda comercial e industrial de Guatemala de dichas máquinas, se tienen que proponer diseños o patentes elaborados por guatemaltecos y aprovechar que es un mercado virgen o poco explotado.

Por lo general, se importan las máquinas de países como México y Colombia. Guatemala cuenta con el desarrollo intelectual, técnico y científico, para la investigación, desarrollo y manufactura de máquinas térmicas, pero se tiene muy poco apoyo de instituciones públicas y privadas, para el desarrollo de proyectos de investigación, desarrollo y manufactura de esta índole.

El presente trabajo de graduación tiene como objetivo desarrollar el diseño mecánico de cámaras de pintura fija y móvil con dos ejes fundamentales de implementación.

El primer eje de implementación es proponer una patente de invención o diseño industrial de dichas cámaras, para poder competir desde los puntos de vista tecnológicos, ambientales, normas de calidad, fabricación y económicos, con empresas que investigan, desarrollan y fabrican máquinas térmicas.

El segundo eje de implementación, es desarrollar una oferta de cámaras de pintura fija y móvil, para institutos de formación técnica y talleres de enderezado y pintura a un costo accesible, con normas nacionales e internacionales de fabricación, calidad y protección del ambiente.

OBJETIVOS

General

Desarrollar el diseño mecánico de cámaras de pintura, para la posible comercialización de las mismas en la República de Guatemala y Centro América; y de esta forma poder brindar a institutos de formación técnica y a talleres de enderezado y pintura, pequeños y medianos, la ventaja de poder comprar una cámara de pintura a un costo accesible, con normas nacionales e internacionales de fabricación, calidad y protección del ambiente.

Específicos

1. Implementar diseños mecánicos de máquinas térmicas y proponer patentes de invención o diseños industriales de las mismas, para poder competir, desde los puntos de vista tecnológicos y económicos en la República de Guatemala y Centro América.
2. Desarrollar criterios de fabricación, comercialización y uso de cámaras de pintura, bajo directrices de: legislación nacional; normas de calidad nacionales e internacionales; normas de protección del ambiente nacional e internacional.
3. Identificar los posibles compradores de cámaras de pintura, en la República de Guatemala a través de estadísticas.

INTRODUCCIÓN

Una cámara de pintura es un recinto en donde se pinta un automóvil y luego se calienta (hornea), de acuerdo a las especificaciones de los fabricantes; en este recinto se transforma energía eléctrica a energía calorífica, para realizar un determinado proceso (pintura).

El diseño mecánico y propuesta de patente de invención o diseño industrial de cámaras de pintura fija y móvil para automóviles, tiene como propósito, comercializar dicha patente o diseño industrial, en talleres de enderezado y pintura, que carezcan de dicho recinto (cámara de pintura); a nivel nacional y centroamericano; esto se realizará observando normas de fabricación, de calidad y de protección ambiental nacional e internacional.

Una cámara de pintura, por lo general, sólo se encuentra en talleres grandes y/o especializados de enderezado y pintura. Muchos talleres pequeños y medianos, no tienen los recursos suficientes para comprar cámaras de pintura, debido a que su costo es elevado y además, en Guatemala hasta el momento, no hay una empresa que se dedique, a la fabricación de dichas cámaras.

1. ANTECEDENTES

1.1. Legislación nacional aplicable a la fabricación, comercialización y uso de cámaras de pintura

En el presente trabajo de graduación, se tomará el espíritu de la ley, es decir la parte medular de esta y se hará referencia de la misma, citando el número de decreto, acuerdo legislativo, entre otros.

El sistema legislativo de Guatemala obedece a una estructura jerárquica bastante clara: La Constitución; leyes constitucionales; Tratados Internacionales; leyes ordinarias; disposiciones reglamentarias; normas individualizadas (sentencia judicial, resolución administrativa, etc.).

1.1.1. Leyes contempladas en la Constitución de la República de Guatemala

Artículo 42: derecho de autor o inventor: se reconoce el derecho de autor y el derecho de inventor; los titulares de los mismos gozarán de la propiedad exclusiva de su obra o invento, de conformidad con la ley y los tratados internacionales.

Artículo 63: derecho a la expresión creadora: el Estado garantiza la libre expresión creadora, apoya y estimula al científico, al intelectual y al artista nacional, promoviendo su formación y superación profesional y económica.

Artículo 80: promoción de la ciencia y la tecnología: el Estado reconoce y promueve la ciencia y la tecnología como bases fundamentales del desarrollo nacional. La ley normará lo pertinente.

Artículo 96: control de calidad de productos: el Estado controlara la calidad de los productos alimenticios, farmacéuticos, químicos y de todos aquellos que puedan afectar la salud y bienestar de los habitantes, Velara por el establecimiento y programación de la atención primaria de la salud, y por el mejoramiento de las condiciones de saneamiento ambiental básico de las comunidades menos protegidas.

Artículo 97: Medio ambiente y equilibrio ecológico, el Estado, las municipalidades y los habitantes del territorio nacional están obligados a propiciar el desarrollo social, económico y tecnológico que prevenga la contaminación del ambiente y mantenga el equilibrio ecológico. Se dictaran todas las normas necesarias para garantizar que la utilización y el aprovechamiento de la fauna, de la flora, de la tierra y del agua, se realicen racionalmente, evitando su depredación.

1.1.2. Decreto 08-80

Ley de protección y mejoramiento del ambiente, en su artículo 80 establece lo siguiente: para todo proyecto, obra, industria o cualquier otra actividad, que por sus características pueda producir deterioro a los recursos naturales renovable o no, 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 evaluación de impacto ambiental, realizado por técnicos en la materia aprobados por la Comisión Nacional del Medio Ambiente.

1.1.3. Decreto 68-86

Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente: se establecen las definiciones siguientes: estudio de evaluación de impacto ambiental, es un estudio técnico de los efectos de una acción propuesta en el medio ambiente y los recursos naturales, para buscar medidas preventivas que permitan el desarrollo con el menor daño o deterioro ambiental, y deberá incluir una comparación entre las diversas alternativas posibles para alcanzar el objetivo deseado de identificar cuál de ellas presenta la mejor combinación de costos y beneficios económicos y ecológicos, mediante la técnica de Cribado ambiental, para la adopción de decisiones ambientales.

1.1.4. Decreto 110-97

El Organismo Legislativo Congreso de la República de Guatemala, considerando que Guatemala es signataria del Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono, Decreto 39-87, asimismo, del protocolo de Montreal, relativo a las sustancias agotadoras de la capa de ozono, Decreto 34-89, ambos del Congreso de la República; en ejercicio de las atribuciones que le confiere la literal a) del artículo 171 de la Constitución Política de la República de Guatemala, Decreta: Ley que prohíbe la importación y regula el uso de los clorofluorocarbonos en sus diferentes presentaciones.

Artículo 1: Objeto de la ley: la presente ley tiene por objeto prohibir la importación de los clorofluorocarbonos en sus distintas presentaciones, y a la vez, promover la sustitución gradual de los mismos.

1.1.5. Acuerdo Gubernativo 23 – 2003

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, realiza el: Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental. Considerando que el Decreto 68-86 del Congreso de la República, Ley de protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, regula el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del ambiente de los habitantes, y establece que todo proyecto, obra, industria o cualquier actividad que, por sus características pueda producir deterioro de los recursos naturales, al ambiente o introducir modificaciones nocivas o notorias al paisaje y a los recursos culturales del patrimonio nacional.

Considerando, que para desarrollar la ley anteriormente citada, debe emitirse el reglamento que norme la evaluación, control y seguimiento ambiental, estableciendo los procedimientos de carácter técnico, aplicables a ese propósito, definiendo y desarrollando las acciones necesarias para el cumplimiento de la ley. Por tanto en ejercicio de las atribuciones que le confieren el Artículo 183, inciso e) de la Constitución Política de la República de Guatemala, y lo establecido en la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto 68 – 86 del Congreso de la República. Acuerda emitir el siguiente: Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental. Que se debe observar al desarrollar cualquier proyecto para no impactar al ambiente.

1.2. Normas nacionales e internacionales (principales) de calidad aplicables a la fabricación, comercialización y uso de cámaras de pintura

En el presente trabajo de graduación se tomarán dos normas internacionales para la fabricación, comercialización y uso de cámaras de pintura.

1.2.1. Normas ISO 9000

ISO 9000 designa un conjunto de normas sobre calidad y gestión continua de calidad establecida por la Organización Internacional para la Estandarización (ISO). Se pueden aplicar en cualquier tipo de organización o actividad orientada a la producción de bienes o servicios. Las normas recogen tanto el contenido mínimo como las guías y herramientas específicas de implantación, como los métodos de auditoría.

La ISO 9000 especifica la manera en que una organización opera, sus estándares de calidad, tiempos de entrega y niveles de servicio. Existen más de 20 elementos en los estándares de esta Norma ISO, que se relacionan con la manera en que los sistemas operan.

Su implantación: aunque supone un duro trabajo, ofrece numerosas ventajas para las empresas, entre las que se cuentan con:

- Estandarizar las actividades del personal que labora dentro de la organización por medio de la documentación
- Incrementar la satisfacción del cliente
- Medir y monitorear el desempeño de los procesos
- Disminuir procesos
- Incrementar la eficacia y/o eficiencia de la organización en el logro de sus objetivos
- Mejorar continuamente en los procesos, productos, eficacia, etc.
- Reducir las incidencias de producción o prestación de servicios

Para la certificación: se verifican que se cumplan los requisitos de la norma, existen entidades de certificación que auditan la implantación y mantenimiento, emitiendo un certificado de conformidad. Estas entidades están vigiladas por organismos nacionales que regulan su actividad.

Para la implantación: es muy conveniente que apoye a la organización una empresa de consultoría que tenga buenas referencias, y el firme compromiso de la Dirección que quiere implantar el Sistema, ya que es necesario dedicar tiempo del personal de la empresa para implantar el Sistema de gestión de calidad.

Proceso de certificación: con el fin de ser certificado bajo la Norma ISO 9000, las organizaciones deben elegir el alcance de la actividad profesional que va a certificarse, seleccionar un registro, someterse a la auditoría y, después de completar con éxito, someterse a una inspección anual para mantener la certificación.

En el caso de que el auditor encuentre áreas de incumplimiento, la organización tiene un plazo para adoptar medidas correctivas, sin perder la vigencia de la certificación o la continuidad en el proceso de certificación (dependiendo de que ya hubiera o no obtenido la certificación). Los pasos básicos que debe cumplir una organización con el fin de certificarse bajo Normas ISO 9000 son:

- Entender y conocer detalladamente la norma
- Analizar la situación de la organización, donde está y dónde debe llegar
- Realizar un sistema de manejo
- Diseñar y documentar los procesos
- Capacitar a los auditores internos

- Capacitar a todo el personal en ISO 9000
- Realizar auditorías internas
- Utilizar el Sistema de Calidad (SGC), registrar su uso y mejorarlo durante varios meses; solicitar la auditoría de certificación

1.2.2. Normas ISO 18000

Durante el segundo semestre de 1999, fue publicada la normativa OHSAS 18000, dando inicio así a la serie de normas internacionales relacionadas con el tema “salud y seguridad en el trabajo”. La Norma OHSAS 18001:1999 ha sido diseñada en los mismos parámetros y como herramienta de gestión y mejora, toman como base para su elaboración las Normas 8800 de la British Estándar, basada en el ciclo de mejora continua.

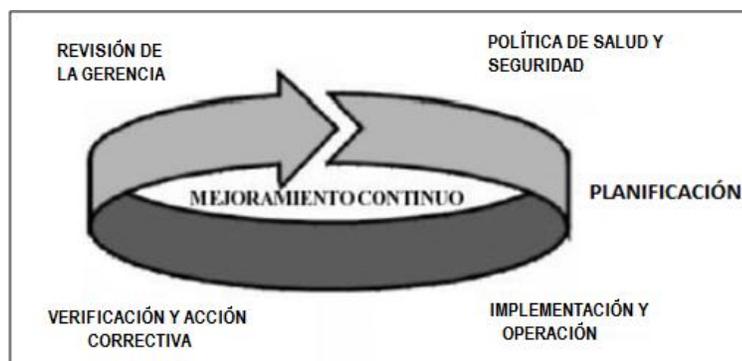
Participaron en su desarrollo las principales organizaciones certificadoras del mundo, abarcando más de 15 países de Europa, Asia y América. Las Normas OHSAS 18000 son una serie de estándares voluntarios internacionales relacionados con la gestión de la seguridad y salud ocupacional. Durante el proceso de elaboración, se identificó la necesidad de desarrollar por lo menos los tres siguientes documentos:

- Normas ISO 18000: OHSAS 18001: Serie de seguridad y salud ocupacional
- OHSAS 18002: Guía y sistema para salud ocupacional y seguridad
- OHSAS 18002: Sistema de Manejo de criterios para auditores de salud ocupacional y seguridad

La especificación de la Norma OHSAS 18001, que incluye 6 puntos, prácticamente coincidentes con los del estándar ISO 14001, presenta una redacción breve, y utiliza el tono imperativo lo que lo hace auditable. Por su parte, la guía para su implantación, la OHSAS 18002, desarrolla de forma importante la especificación de aplicación OHSAS 1801. La guía se estructura en cuatro apartados por cada punto de la especificación: requisito OHSAS 18001; propósito; entradas típicas; proceso; salidas típicas.

La serie de Normas OHSAS 18,000 están planteadas como un sistema que dicta una serie de requisitos para implementar un sistema de gestión de salud y seguridad ocupacional, habilitando a una empresa para formular una política y objetivos específicos asociados al tema, considerando requisitos legales e información sobre los riesgos inherentes a su actividad, en este caso a las actividades desarrolladas en los talleres mecánicos. Estas normas buscan a través de una gestión sistemática y estructurada asegurar el mejoramiento de la salud y seguridad en el trabajo y se describe en la figura 1, que es el ciclo de mejoramiento continuo.

Figura 1. **Ciclo de mejoramiento continuo**



Fuente: Serie de Normas OHSAS 1800:1999. *Estudio de procedimientos basados en las Normas OSHAS 1800*, p. 54.

Una característica de OHSAS es su orientación a la integración del SGPRL (Sistema de Gestión de Prevención de Riesgos Laborales), elaborado conforme a ella en otros sistemas de gestión de la organización (Medio ambiente y/o calidad).

Las normas no pretenden suplantar la obligación de respetar la legislación respecto a la salud y seguridad de los trabajadores, ni tampoco a los agentes involucrados en la auditoría y verificación de su cumplimiento, sino que como modelo de gestión que son, ayudarán a establecer los compromisos, metas y de metodologías para hacer que el cumplimiento de la legislación en esta materia sea parte integral de los procesos de la organización.

1.3. Normas nacionales e internacionales (principales) de protección del ambiente aplicables a la fabricación, comercialización y uso de cámaras de pintura

En el presente trabajo de graduación se tomará una introducción de la norma por excelencia para la gestión medioambiental: las Normas ISO 14000, es un intento de establecer una norma internacional voluntaria para la gestión medioambiental.

La Organización Internacional para la Normalización, algunas veces referida como ISO de Ginebra, Suiza, existe con la intención de establecer normas industriales voluntarias para el comercio internacional. Hasta 2012, la organización ha creado miles de normas. No todas las Normas ISO están aceptadas en todo el mundo. Algunas industrias han preferido elaborar sus propias normas e ignorar la Norma ISO equivalente.

Sin embargo, las normas ISO tienen un uso bastante difundido, ya que más de 90 países participan voluntariamente en la creación de las normas. Se forman subcomités para un tópico en particular y las partes interesadas pueden ofrecer sus sugerencias y ayuda libremente.

Todos los países elaboran un borrador de trabajo. Cuando se llega a un nivel de consenso considerable, el comité emite un borrador. Éste se discute y eventualmente se vota sobre si aceptar o no el borrador final como norma internacional. Cada país tiene un voto, y se necesita la mayoría absoluta. La incógnita es lo lejos que va a llegar la ISO 14000 en su aceptación o imposición en las industrias. Mientras tanto, la ISO 14000 es efectiva como modelo a copiar debido al creciente número de regulaciones y cuestiones medioambientales. Para entender la ISO 14000, antes tiene que percibirse lo que se pretende con una norma de gestión medio ambiental. Para comprenderlo, hay que considerar algunas definiciones para distinguir la gestión medioambiental de otras ideas similares.

El diccionario define medio ambiente, como el conjunto de cosas, condiciones e influencias que nos rodean. En cambio, ecología, es una rama de la biología que estudia las relaciones entre los organismos y su medio ambiente. Para distinguir todavía más un sistema de gestión medio ambiental, se considerar otra definición. Ya se ha visto que la gestión medioambiental, tal como la define la ISO 14000, es el control de las cosas y fuerzas que la rodean. En cambio, el medioambientalismo es un movimiento político con muchas filosofías diferentes. El medioambientalismo es el concepto de proteger los recursos naturales de los efectos negativos de los humanos. Puede tomar diversas formas, como la lucha contra la polución, tratamiento de determinadas especies de animales o plantas, oposición a cambios de áreas de terreno, y otros.

El punto importante que se debe recordar es que la gestión medioambiental no es el mismo ambientalismo. La gestión medioambiental puede utilizar algunas de las filosofías del medio ambientalismo, pero no es su principal intención. Por el contrario, la gestión medioambiental es el acto de estudiar el medio ambiente de su compañía y de desarrollar sistemas para controlar ese medio ambiente a fin de satisfacer las necesidades de la compañía, de sus clientes, y de las regulaciones o cualquier proyecto de ingeniería.

1.4. Estadística de empresas y talleres nacionales que poseen cámaras de pintura (ciudad capital y principales ciudades departamentales)

En la tabla I se muestra la estadística de empresas y talleres nacionales que posean cámaras de pintura (ciudad capital y principales ciudades departamentales), estas muestras se tomaron de talleres que tienen como mínimo 20 trabajadores por taller.

Tabla I. **Estadística de empresas y talleres nacionales que posean cámaras de pintura (ciudad capital y principales ciudades departamentales)**

Empresas y Talleres que posean cámaras de pintura en la República de Guatemala		
No.	Departamento	Cantidad
1	Guatemala	22
2	Escuintla	2
3	Quetzaltenango	2
4	Alta Verapaz	1
5	Izabal	1

Fuente: Instituto Nacional de Estadística de Guatemala. *Directorio Nacional de Empresas y Locales (DINEL)*.

1.5. Estadística de empresas y talleres nacionales que no posean cámaras de pintura (ciudad capital y principales ciudades departamentales)

En la tabla II se muestra la estadística de empresas y talleres nacionales que no posean cámaras de pintura (ciudad capital y principales ciudades departamentales).

Tabla II. **Estadística de empresas y talleres nacionales que no posean cámaras de pintura (ciudad capital y principales ciudades departamentales)**

Empresas y Talleres que no posean cámaras de pintura en la República de Guatemala		
No.	Departamento	Cantidad
1	Guatemala	111
2	Escuintla	8
3	Quetzaltenango	10
4	Alta Verapaz	2
5	Izabal	2

Fuente: Instituto Nacional de Estadística de Guatemala. *Directorio Nacional de Empresas y Locales (DINEL)*.

2. DISEÑO ESTRUCTURAL

El trabajo de diseño en ingeniería puede clasificarse por actividad, campo y función; y existe un proceso lógico a través del cual puede clasificarse cada parte del trabajo de diseño. La secuencia de pasos ocurre con un pronóstico uniforme en todo problema de diseño en ingeniería. Los siguientes párrafos tratan y discuten cada uno de los pasos que son utilizados en el diseño de las cámaras de pintura móvil como fija:

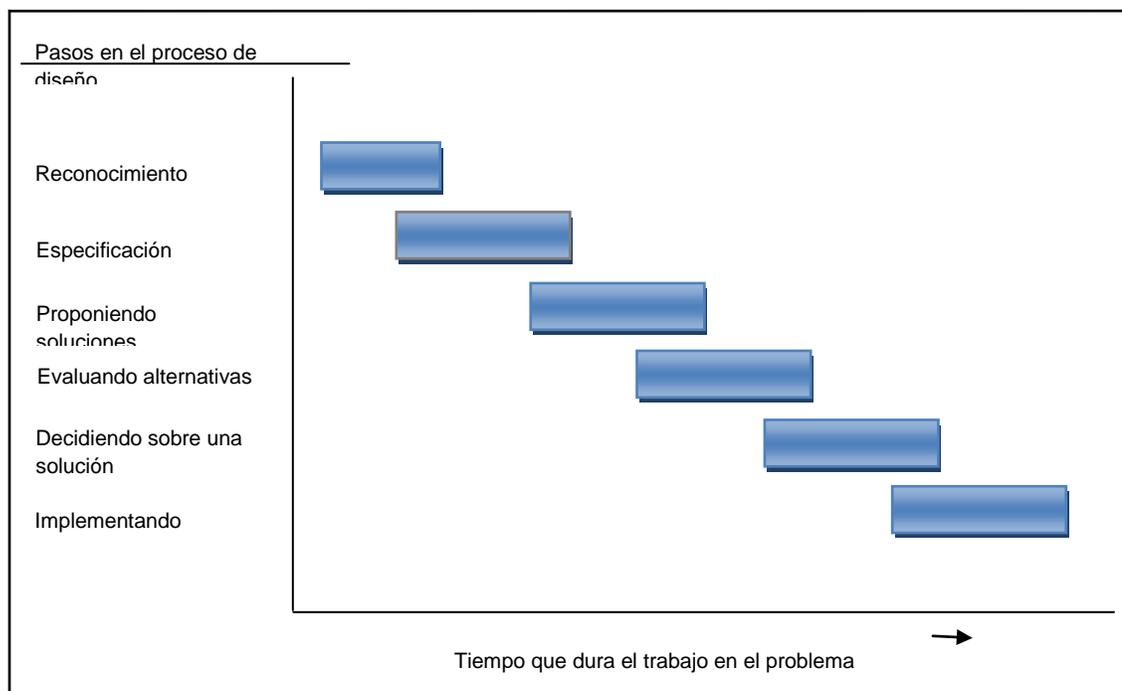
- Paso 1, reconocimiento: gran parte del trabajo de ingeniería consiste en determinar si un problema existe, y en qué consiste. Esto también es aplicable en otras clases de trabajo. El papel de la ingeniería es señalar el camino, ejercer presión en la sociedad, para que reconozca que es necesario un cambio, debido a los grandes beneficios que le reportará. Un buen ingeniero combina la habilidad de reconocer anticipadamente importantes problemas, con la capacidad persuasiva suficiente para convencer a clientes de que juntos pueden lanzarse a una próspera aventura.
- Paso 2, especificar: una vez que un problema es reconocido claramente y todas las partes que le conciernen están de acuerdo con su naturaleza, el desarrollo de las especificaciones detalladas llega a ser vital. Éstas, generalmente, toman la forma de metas de comportamiento que deben corresponder a las herramientas, bajo condiciones del medio ambiente determinadas.

- Paso 3, proponer soluciones: (conceptos de diseño), este paso requiere facultad creadora. Teniendo un problema y un conjunto de especificaciones con las cuales cumplir, la exigencia usual es ¡producir un concepto de diseño que incluya todo y que, lleno de esperanzas, cumplirá con todas las especificaciones. Puesto que, las especificaciones normalmente son en extremo rígidas.
- Paso 4, evaluar alternativas: después de una sesión especialmente creadora, se puede contar con tres docenas de conceptos de diseño para resolver el problema, luego se tiene que analizar cada una en detalle, y es una tarea difícil y probablemente tediosa, el tiempo empleado en evaluar alternativas depende principalmente en que tan difícil será determinar el diseño óptimo y que tan difícil será cumplir con las especificaciones requeridas.
- Paso 5, decidir sobre una solución: generalmente, no hay un diseño que satisfaga exactamente todos los requerimientos. Por lo tanto, decidir sobre una solución implica considerar la importancia de los diversos requerimientos de las especificaciones y después comparar las aptitudes de un sistema, en términos de las explicaciones consideradas. Entonces, la decisión generalmente, implica al cliente o usuario, porque él es el único que debe fijar la prioridad o importancia de cada una de las especificaciones.
- Paso 6, implementación: la solución de un problema de diseño rara vez se logra a través de la aplicación ordenada y cronológica de los pasos del proceso de diseño. En vez de esto, trabajar en cada paso subsecuente en el proceso, tiende a agudizar y aclarar el conocimiento del paso previo.

Por ejemplo, rara vez es posible especificar completamente los requerimientos funcionales de un diseño, antes de que se sepa algo de las posibilidades de funcionamiento de los conceptos potenciales de diseño. Asimismo, el proceso de evaluar alternativas usualmente conduce a ideas de cómo mejorar los conceptos de diseño estudiados. Así, los diversos pasos en el proceso del diseño tienden a traslaparse. Sin embargo, un paso particular en el proceso no puede terminarse antes del paso previo. Por ejemplo, no puede uno decir con éxito sobre una solución antes de que se especifique el problema.

La figura 2 muestra como se procede típicamente en el trabajo del proceso del diseño o sea el traslape del trabajo en los pasos del proceso de diseño.

Figura 2. **Traslape del trabajo en los pasos del proceso de diseño**



Fuente: ALGER, John R. M.; HAYS, Carl V. *Síntesis creadora en el diseño*. p. 26.

2.1. Cargas y fuerzas

Cuando un cuerpo está en reposo o en movimiento de velocidad uniforme, las fuerzas exteriores que actúan sobre él están en equilibrio. Esta afirmación se aplica al cuerpo en conjunto o a cualquiera de sus partes. Cuando hay que realizar un estudio de fuerzas, a veces es ventajoso considerar solamente una porción del cuerpo que puede obtenerse cortándolo con planos que pasen por los lugares deseados. Las fuerzas internas que actuaban en las secciones cortadas deben representarse como un sistema de fuerzas exteriores distribuidas adecuadamente para mantener el equilibrio de las partes separadas y conservar el estado original de tensiones del material. Cuando se analiza un problema de esta forma la carga se compone únicamente de fuerzas y momentos exteriores y no es necesario considerar las tensiones internas.

Decir que un cuerpo está en equilibrio estático, equivale a decir que tanto las fuerzas como los momentos se compensan. Cuando está en equilibrio, la suma de las componentes de las fuerzas en cualquier dirección dada debe ser igual a cero. De forma análoga la suma de los momentos a cualquier línea tomada como eje debe ser nula. Si el cuerpo está sometido a una aceleración, deben incluirse en las ecuaciones de equilibrio los efectos de inercia.

Un elemento estructural o componente de máquina debe diseñarse de modo que su carga última sea bastante mayor que la carga que el elemento o componente llevara en condiciones normales de uso. Esta carga menor es la carga admisible y, a veces, la carga de trabajo o de diseño. Así sólo se utiliza una fracción de la carga última del elemento cuando se aplica la carga admisible. El remanente de la capacidad del elemento se deja en reserva para asegurar un desempeño seguro. La razón entre la carga última y la carga admisible se define como factor de seguridad.

Factor de seguridad = F.S. = carga última / carga admisible.

En muchas aplicaciones existe una relación lineal entre la carga y el esfuerzo generado por ella. Cuando tal es el caso, el factor de seguridad puede expresarse como.

Factor de seguridad = F.S. = esfuerzo último / esfuerzo admisible.

La determinación del factor de seguridad que deba usarse en las diferentes aplicaciones es una de las más importantes tareas de los ingenieros. Por una parte, si se le escoge muy pequeño la posibilidad de falla se torna inaceptablemente grande; y si se le escoge muy grande el resultado es un diseño caro y no funcional. La escogencia del factor de seguridad apropiado para determinada aplicación requiere un buen juicio del ingeniero, basado en muchas consideraciones tales como las siguientes:

- Valorizaciones: que ocurren en las propiedades de los materiales, la composición, resistencia y dimensiones de los materiales están sujetas a pequeñas variaciones durante la manufactura. Además, las propiedades pueden alterarse y pueden generarse esfuerzos residuales por efecto de calentamiento o deformación que pueden ocurrir al material durante el almacenamiento transporte o la construcción.
- Número de ciclos de carga: que pueden esperarse durante la vida de estructura o máquina. Para la mayor parte de los materiales el esfuerzo último decrece cuando el número de ciclos de carga aumenta. Este fenómeno se conoce como fatiga y si se le ignora puede producir alguna falla súbita.

- Tipo de cargas: que se consideran en el diseño o que pueden ocurrir en el futuro. Muy pocas cargas se conocen con completa certeza. La mayor parte de las cargas de diseño son estimados ingenieriles. Además, cambios futuros en el uso pueden introducir cambios en el modo de la carga. Para cargas dinámicas, cíclicas o de impulso se exigen mayores factores de seguridad.
- Tipo de falla que puede ocurrir: los materiales frágiles fallan súbitamente, usualmente sin aviso previo de que el colapso es inminente. Los materiales dúctiles, como el acero estructural, sufren deformaciones sustanciales antes de fallar, conocidas como fluencia, advirtiendo así que existe carga excesiva. Sin embargo, la mayor parte de las fallas por doblamiento o estabilidad son repentinas sea frágil el material o no. Cuando existe la posibilidad de falla súbita, debe usarse un mayor factor de seguridad; que cuando la falla está precedida por avisos evidentes.
- Incertidumbre: debido a los métodos de análisis, todos los métodos de diseño están basados en hipótesis (simplificadas) que se traducen en que los esfuerzos calculados son sólo aproximaciones de los esfuerzos reales.
- Deterioro: que puede ocurrir en el futuro por mantenimiento deficiente o por causas naturales no prevenibles. Un factor de seguridad mayor se requiere en sitios donde la oxidación y decadencia general son difíciles de controlar o aun descubrir.
- Importancia de un elemento con respecto a la seguridad de la estructura total: los elementos rigidizadores o secundarios pueden en muchos casos diseñarse con un factor de seguridad más bajo que el usado para los elementos principales.

- Además de lo anterior, existe la consideración sobre el riesgo para la vida y la propiedad que una falla implicaría. Cuando la falla no implique riesgo para la vida y un riesgo mínimo para la propiedad, puede considerarse el uso de un menor factor de seguridad. Finalmente, está la consideración práctica de que a menos que se efectúe un diseño cuidadoso con un factor de seguridad no excesivo, la estructura o máquina podrá o no realizar su función de diseño. Para la mayor parte de las aplicaciones estructurales o de máquinas, los factores de seguridad se establecen por especificaciones de diseño y códigos de construcción escritos por comités de ingenieros experimentados que trabajan con sociedades profesionales, con industrias o con agencias federales, estatales o municipales.
- Una fuerza: es la acción de un cuerpo sobre otro. Una fuerza tiene tres características, las cuales deben conocerse para definirla completamente. Estas características son: magnitud, dirección (incluyendo el sentido) y punto de aplicación.

2.2. Construcción del marco en hierro y acero

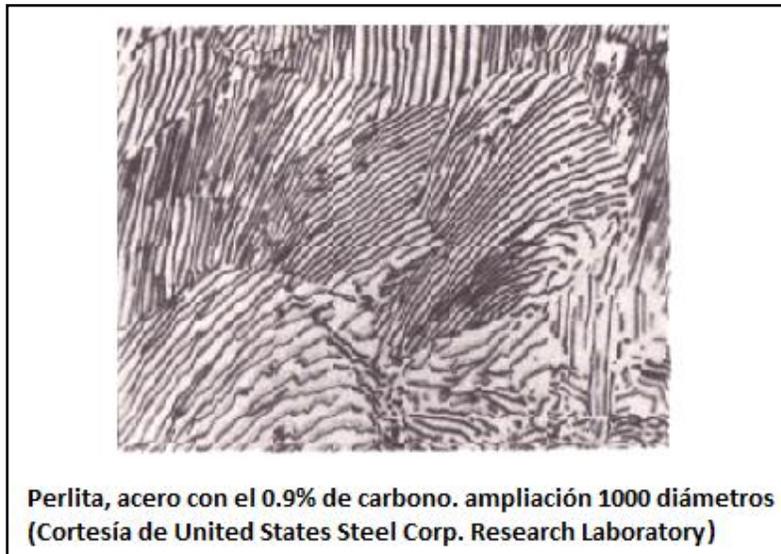
Para la construcción del marco en hierro y acero de la cámara de pintura se discutirá la composición y propiedades físicas de estos materiales utilizados en dicha cámara.

Es importante el que un elemento de máquina se componga de un material que tenga propiedades adecuadas para las condiciones de servicio; como el que la determinación de cargas y tensiones sea correcta. Frecuentemente, las limitaciones impuestas por el material son los factores determinantes de un proyecto. El proceso de fabricación utilizado influirá también, en el tipo de material que pueda emplearse.

El acero es una aleación de hierro y carbono o hierro, carbono y otros elementos. El carbono debe existir en la proporción de aproximadamente 0,05% en peso para que el material se conozca como acero y no como hierro comercial. La cantidad de carbono en el hierro fundido es mucho más elevada, aproximadamente del 2 al 4%.

Para describir la estructura del acero se utiliza cierto número de términos metalúrgicos diferentes. El hierro puro, por ejemplo se conoce como ferrita. La ferrita es blanda y dúctil y tiene una resistencia a la tracción de aproximadamente 2800 kg/cm². La cementita es una composición química de hierro y carbono Fe₃C. No es dúctil y es muy dura. Otro constituyente del acero es la perlita. Como se indica en la figura 3, los granos de perlita tienen una estructura laminar de capas alternadas de ferrita y cementita.

Figura 3. **Perlita, acero con el 0,9% de carbono**

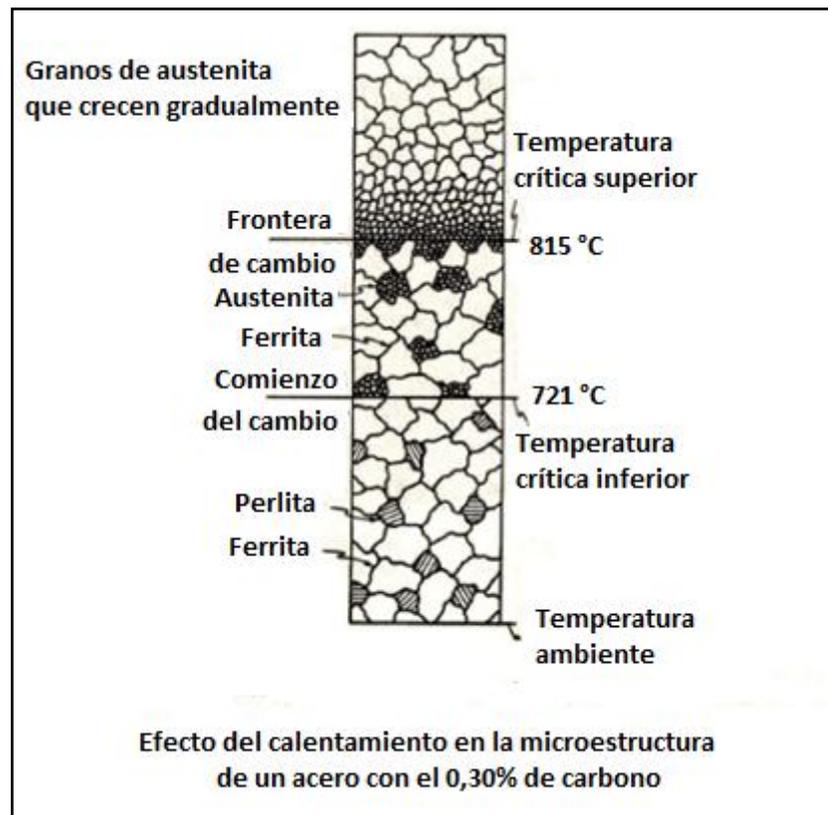


Fuente: SPOTTIS, M.F. *Proyectos de elementos de máquinas*. p.619.

El contenido en carbono de la perlita es 0,83% en peso. Cuando se enfría lentamente desde una temperatura por encima de la crítica, un acero con menos del 0,83% de carbono se compone de una mezcla de granos de ferrita y perlita. Para porcentajes de carbono superiores al 0,83% resulta la llamada estructura «eutectoide» que se compone totalmente de granos de perlita.

Cuando los aceros se calientan, se producen cambios en la estructura cristalina a determinadas temperaturas. En la figura 4 se muestran los granos amplificados de un acero con el 0,30% de carbono.

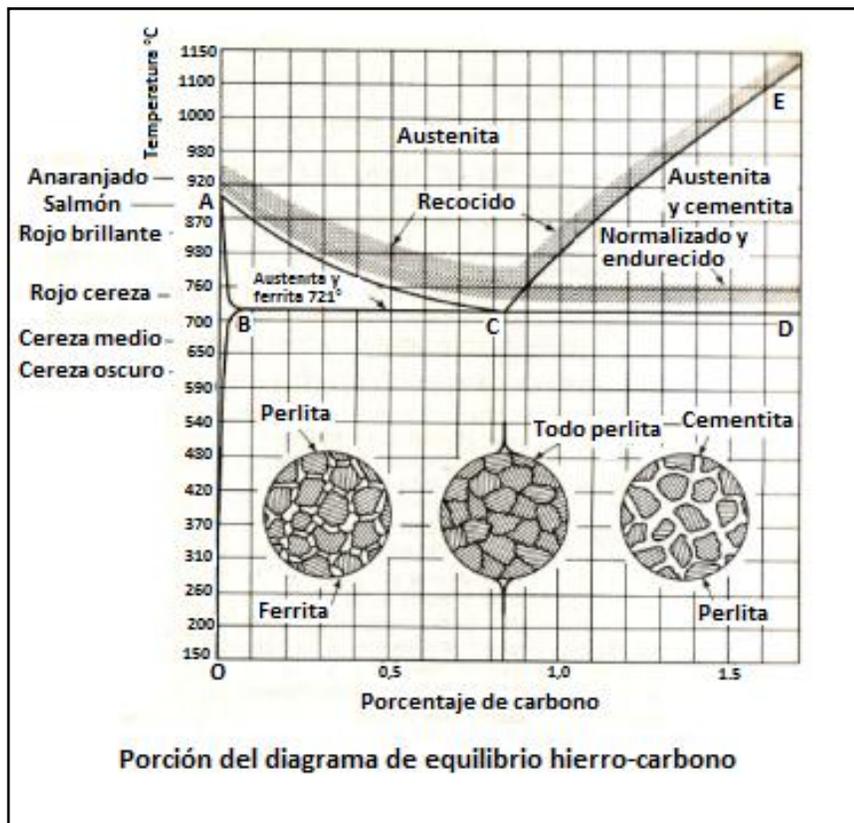
Figura 4. **Efecto del calentamiento en la microestructura del acero**



Fuente: SPOTTS, M.F. *Proyectos de elementos de máquinas*. p.620.

Cuando el acero se calienta hasta la temperatura crítica inferior de 721 °C aparece un nuevo componente llamado austenita. La austenita se forma a partir de la perlita por disolución sólida del carbono de la cementita en la ferrita. La situación es análoga a la disolución de una sal en el agua, salvo que el disolvente en el caso de los metales está en estado sólido. A medida que la temperatura continua subiendo, la austenita disuelve a la ferrita libre hasta que a la temperatura crítica superior al acero se compone totalmente de austenita. La temperatura crítica superior depende del contenido de carbono, como lo indica una porción del diagrama de equilibrio hierro-carbono representado en la figura 5.

Figura 5. Porción del diagrama de equilibrio hierro carbono



Fuente: SPOTTS, M.F. *Proyectos de elementos de máquinas*. p.621.

La temperatura crítica superior para cualquier porcentaje de carbono viene dada por la línea ACE y la temperatura crítica inferior está representada por la línea BCD. Por encima de la temperatura crítica inferior, la perlita se ha transformado en austenita para todos los valores del contenido de carbono. En la región ACB, la austenita disuelve a la ferrita libre a medida que la temperatura se eleva y la región ECD la austenita disuelve a la cementita libre. Sobre la temperatura crítica superior, el acero se compone totalmente de austenita. Si el acero se enfría lentamente desde una temperatura superior a la temperatura crítica superior, se produce una inversión de estos cambios. La austenita raramente existe a temperatura ambiente salvo en ciertos aceros altamente aleados. En los tres círculos de la parte de debajo de la figura se muestran, la estructura de grano a temperatura ambiente para distintas proporciones de carbono.

2.2.1. Especificaciones

El marco estructural debe ser una selección de un acero adecuado según las exigencias del peso del techo de las cámaras y los equipos que se instalarán encima del techo y las paredes que están compuestas de los paneles y requiere una completa comprensión de la distribución y fluctuación de las tensiones. También, es necesario el conocimiento de las condiciones poco usuales que puedan presentarse, tales como: concentración de tensiones, impacto, corrosión, abrasión y temperaturas altas o bajas. El tipo de acero seleccionado depende de que la pieza se someta o no a tratamiento térmico. El siguiente resumen da una clasificación general de los aceros utilizados en construcción de máquinas:

- Sin tratamiento térmico: aceros de bajo contenido en carbono laminados en caliente o estirados en frío. Aceros de corte libre o resulfurizados para facilidad de mecanización. Chapas de acero bajo en carbono para estampado, estirado o entallado a torno. Aceros poco aleados de alta resistencia.
- Con tratamiento térmico: cementado, se trata de aceros bajos en carbono o en aleación. Templados en aceite o agua y normalizados después; estos aceros contienen cantidades considerables de carbono o elementos aleados. En la tabla III se muestran los números básicos para aceros SAE y AISI.

Tabla III. **Números básicos para aceros SAE y ANSI**

NÚMEROS BÁSICOS PARA ACEROS SAE Y AISI			
Aceros al carbono Sin alear Barra para tornillos de corte libre	1xxx 10xx 11xx	Aceros al molibdeno Carbono – Molibdeno Cromo – Molibdeno Cromo- Níquel – Molibdeno Níquel – Molibdeno; 1.75% Ni Níquel – Molibdeno; 3.5% Ni	4xxx 40xx 41xx 43xx 46xx 48xx
Aceros al manganeso	13xx	Aceros al cromo Bajos en Cromo Contenido medio en Cromo Resistentes a la corrosión y al calor	5xxx 51xx 52xxx 51xxx
Aceros al Níquel 3.5% Ni 5.00% Ni	2xxx 23xx 25xx	Aceros al Cromo – Vanadio 1.00% Cr	6xxx 61xx
Aceros al Cromo-Níquel 1.25% Ni, 0.60% Cr 1.75% Ni, 1.00% Cr 3.50 % Ni, 1.50% Cr	3xxx 31xx 32xx 33xx	Aceros al Silicio – Manganeso 2.00% Si	9xxx 92xx
Resistentes a la corrosión y al calor	30xxx	Aceros al Cromo – Níquel – Molibdeno Aceros al Cromo – Níquel - Molibdeno	AISI 86xx 87xx

Fuente: SPOTTS, M.F. *Proyectos de elementos de máquinas*. p.622.

Para la construcción de máquinas se utilizan muchos tipos diferentes de aceros al carbono y aleados. El sistema de numeración de la SAE (Society of Automotive Engineers, Sociedad de Ingenieros Automovilistas) y AISI (American Iron and Steel Institute, Instituto Americano de Hierro y Acero) se basan en la composición química y ofrecen un medio simple para especificar un acero particular.

En general, este sistema de catálogo utiliza un número compuesto de cuatro dígitos. Los primeros dos indican el tipo o clasificación de la aleación; los dos últimos (y en algunos casos, tres últimos) dan el contenido de carbono. En la tabla IV se muestran los números básicos para varios aceros muy empleados.

Tabla IV. **Números básicos para varios aceros muy empleados**

NÚMEROS BÁSICOS PARA VARIOS ACEROS MUY EMPLEADOS	
Níquel	23xx, 25xx
Níquel – Cromo	31xx, 32xx, 33xx
Cromo – Molibdeno	41xx
Cromo – Níquel – Molibdeno	43xx
Níquel – Molibdeno	46xx, 48xx

Fuente: SPOTTS, M.F. *Proyectos de elementos de máquinas*. p.623.

El carbono tiene un efecto tan pronunciado en la resistencia y dureza del acero que es conveniente incluir de esta forma el contenido en el número de catálogo.

2.2.2. Materiales

Las ecuaciones matemáticas empleadas al proyectar se han obtenido para un material ideal, que se supone reúne las siguientes propiedades: elasticidad perfecta, las cargas y fuerzas que actúan sobre un cuerpo producen cambios en su forma y dimensiones. Material, perfectamente elástico, es aquel que vuelve a su forma original como consecuencia inmediata de la eliminación de la carga, las ecuaciones utilizadas para proyectar se obtienen casi siempre en la hipótesis de elasticidad perfecta. Homogeneidad, un cuerpo homogéneo es el que tiene las mismas propiedades en toda su extensión; Isotropía, son materiales isótropos los que tienen las mismas propiedades elásticas en todas las direcciones.

Un metal no es una sustancia homogénea. Se compone de un conjunto de cristales muy pequeños cuya resistencia depende de su orientación respecto a la fuerza aplicada. Cuando la orientación de los diminutos metales componentes es irregular, la situación o inclinación de la probeta de ensayo en el cuerpo no tiene influencia alguna en los resultados de los ensayos y la hipótesis de que el material es homogéneo e isótropo se cumple a todos los efectos prácticos. Esto es cierto para metales fundidos, laminados en caliente o estirados en caliente. Por el contrario, los materiales que han sido laminados o estirados en frío pueden presentar en su estructura cristales con una orientación predominante que dé lugar a un efecto definido de orientación y a una variación de resistencia en función de la dirección de la carga aplicada. Para tales materiales no puede hacerse la hipótesis de que son homogéneos e isótropos.

2.2.3. Proporciones de las distintas partes del marco

Casi siempre los elementos de máquinas están dispuestos de tal forma, que las fuerzas axiales no pueden determinarse solamente por las ecuaciones de la estática. Tales sistemas de fuerzas, llamados estáticamente indeterminados o hiperestáticos, se caracterizan por la existencia de soporte o elementos en número superior al mínimo necesario para el equilibrio de la estructura. En tales casos, deben tomarse en consideración las deformaciones de los elementos componentes. La distribución de fuerzas en una estructura hiperestática es sensible a las pequeñas variaciones de las dimensiones de sus partes.

Un pequeño error no detectado al mecanizar una dimensión, puede producir una gran variación en la distribución de cargas. Cualquier cálculo hecho por el proyectista no será válido a menos que el montaje de las partes se mantenga rígidamente tal como se proyectó en un principio. Una variación de la temperatura puede cambiar los valores de las fuerzas en un sistema hiperestático. Si la temperatura produce un cambio relativo entre las longitudes de las partes del montaje, el efecto producido puede ser análogo al del error en el mecanizado.

Por lo tanto, se debe considerar en los cálculos para las estructuras hiperestáticas, las variaciones de temperatura así como los errores de dimensionamiento. En la resolución de problemas hiperestáticos, normalmente, se necesita suponer que ciertos miembros o soportes son rígidos. Como no puede alcanzarse una rigidez completa, cualquier deformación de tales elementos que se han supuesto rígidos, variaciones en los valores calculados de las fuerzas.

2.2.4. Resistencia de los miembros de acero estructural

En la tabla V se muestran las propiedades mecánicas de aceros característicos bajos en carbono y cementados en caja.

Tabla V. **Propiedades mecánicas de aceros característicos bajos en carbono y cementados en caja**

Acero	Estado	Resistencia a la tracción kg/cm ²	Tensión fluencia kg/cm ²	% Alargamiento en 5 cm	% Estricción	Dureza Brinell	Dureza a Rockwell	Maquinabilidad %
1010	Laminado en caliente	3500	2050	38	70	101		40
	Estirado en frío	3900	2300	35	65	113		45
1020	Laminado en caliente	4700	3150	32	65	137		52
	Estirado en frío	4850	3350	30	63	143		60
1112	Laminado en caliente	4700	2800	27	47	140		
	Estirado en frío	5600	4400	16	43	170	6	100
1113	Estirado en frío	5800	5100	15	45	180	8	120-
1117	Laminado en caliente	4950	3150	28	52	135		140
	Estirado en frío	5750	4400	18	44	162		
2317+	Laminado en caliente	5950	3900	29	60	163		94
4320+	Estirado en frío	6650	5250	25	58	197	12	50
	Laminado en caliente	6100	4150	29	60	163	12	100
4620	Estirado en frío	6950	3550	25	58	197	10	120-
	Laminado en caliente	5750	3850	30	60	179	16	140
4815+	Estirado en frío	6850	4900	23	54	207	4	
	Laminado en caliente	7350	5100	30	61	167	14	94
8620	Estirado en frío	7700	5450	18	55	203	15	50
	Laminado en caliente	6350	4500	24	58	212	17	
HALA ++	Normalizado	5300	3550	23	55	217		55
		4900		29	56	185		
	Cor Ten				63	155		58
	T1 tipo A	8000-9000	7000	24	40			
	T1 tipo B	8000-9000	7000	18	40			55

Fuente: SPOTTS, M.F. *Proyectos de elementos de máquinas*. p.624.

En la tabla VI se muestran las propiedades mecánicas de aceros característicos con contenido medio de carbono o endurecimiento directo.

Tabla VI. **Propiedades mecánicas de aceros característicos con contenido medio de carbono o endurecimiento directo**

Acero	Estado	Resistencia a la tracción kg/cm ²	Tensión fluencia kg/cm ²	% Alargamiento en 5 cm	% Estricción	Dureza Brinell	Dureza Rockwell	Maquinabilidad %
1035	Laminado en caliente	6000	3800	30	53	183	B90	65
	Estirado en frío y templado en agua a 840°C	6450	5500	25	30	201	B94	67
1045	Estirado a 540°C	7200	5000	23	59	201	B94	
	Laminado en caliente	6900	4100	24	45	212	C16	56
1060 +	Estirado en frío	7200	6300	14	40	217	C18	60
	Laminado en caliente y templado en aceite a 840°C	6650	4100	25	52	197	C14	53
1095	Estirado a 540°C	8550	6300	19	53	255	C25	
	Laminado en caliente y templado en agua a 790°C	9950	5800	18	38	293	C28	
1137	Estirado a 425°C	14000	9700	12	37	388	C42	
	Laminado en caliente	6450	4000	27	61	192	B92	70
	Estirado en frío y templado en aceite a 840°C	7350	6300	15	38	207	C15	75
3140+	Estirado a 540°C	7850	6200	21	56	225	C25	
	Laminado en caliente	6750	4500	26	56	195	C12	57
4140	Estirado en frío	8050	6900	17	45	248	C24	
	Laminado en caliente	6250	4300	26	58	187	B91	57
4340	Estirado en frío	7150	6300	18	50	223	C19	66
	Laminado en caliente	7100	4800	21	45	207	C15	45
4640+	Estirado en frío y templado en aceite a 840°C	7800	6900	16	42	223	C19	55
	Estirado a 540°C	12750	11400	15	40	363	C39	
	Laminado en caliente	7000	6100	21	50	201	C12	60
52100+	Estirado en frío	8850	6800	14	39	269	C27	
	Laminado en caliente y templado en aceite a 840°C	7650	5600	25	57	235	C22	45
6150	Estirado a 540°C	12950	11900	9	34	415	C43	
	Laminado en caliente	7200	4800	27	51	217	C18	50
	Estirado en frío	8250	6600	20	43	255	C25	
		6650	4500	25	55	190	B92	56
		7500	6700	17	48	223	C19	66
	9950	6400	18	38	302	C31		

Fuente: SPOTTS, M.F. *Proyectos de elementos de máquinas*. p.625.

2.3. Construcción de muros, puertas, techo y piso

La construcción de muros, puertas, techo y piso, responde a las necesidades del diseño de las cámaras de pintura de la utilización de las mismas, este proceso del diseño de ingeniería se compone de pasos o etapas requeridos para completar la labor del diseño en ingeniería. Para cualquier trabajo profesional puede definirse un proceso de trabajo, y todas las profesiones tienen intelectuales que han identificado y definido tal proceso. La tabla VII muestra ejemplos de procesos de trabajo en diversas profesiones.

Tabla VII. **El proceso de trabajo**

El proceso de trabajo				
Formación del pensamiento	Ciencia (Método científico)	Leyes	Dirección	Milicia
Preparación	Recopilando... hechos existentes...	Rechazo de material inaplicable	Planear	Reconocer
	Enlistado de hechos faltantes..	Traslación o reexposición	Organizar	Reunir datos
Incubación	Desarrollando hipótesis... Diseñando y dirigiendo experimentos		Integrar	Enlistar soluciones posibles Probar soluciones posibles
Iluminación	Revisando hipótesis	Estableciendo procedimientos legales		Seleccionar las mejores soluciones
Elaboración	Desarrollando teorías, que puedan ser validas		Medir	Aplicar

Fuente: ALGER, John R.M.; HAYS, Carl V. *Síntesis creadora en el diseño*. p.10.

El concepto de proceso de trabajo es común a muchas formas de trabajo, espacialmente al trabajo profesional. Se comprende perfectamente, que existía un proceso de diseño en ingeniería, pero cada autor tiene su propia interpretación de la semántica necesaria para describirlo. La tabla VIII muestra ejemplos de tales descripciones, hechas por autores bien conocidos.

Tabla VIII. **Proceso de diseño en ingeniería**

El proceso de diseño de ingeniería			
Universidad	Industria A	Industria B	Este libro
Análisis Síntesis	Reconocer definir	Investigar dirección Establecer medidas	Reconociendo Especificando
Evaluación decisión	y Concebir	Desarrollar métodos	Proponiendo soluciones
Optimización	Aplicar	Optimizar una estructura	Evaluando alternativas
Revisión	Evaluar	Completar una solución	Decidiendo acerca de una solución
Implementación	Comunicar	Convencer a otros	Implementando

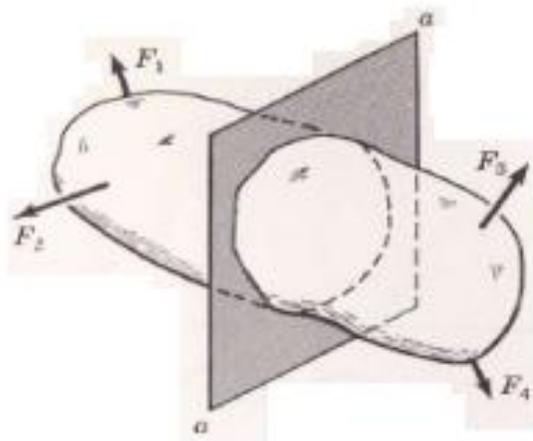
Fuente: ALGER, John R.M.; HAYS, Carl V. *Síntesis creadora en el diseño*. p.11.

La existencia de un proceso de diseño en el trabajo de ingeniería y en sus estudios, los puntos importantes son: existe un proceso de diseño, en la misma forma en que parece existir un proceso del flujo de trabajo en muchas clases de este. Muchos pensadores sobresalientes han descubierto el proceso y definido su naturaleza en diversas profesiones. Las palabras exactas para describir el proceso son en sí de poca importancia.

2.3.1. Especificaciones

La construcción de muros, puertas, techo y piso de cámaras de pintura tienen que ser analizadas desde muchos criterios y se considerará un sólido de forma cualquiera en el que actúan una serie de fuerzas como se representa en la figura 6.

Figura 6. Sección de exploración a-a

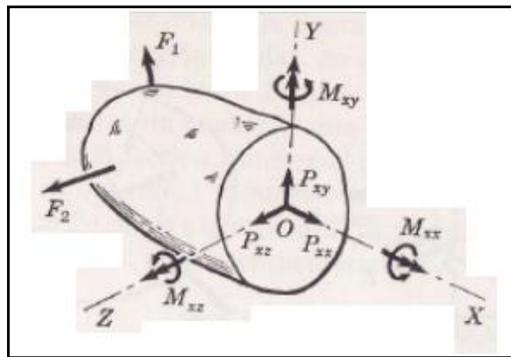


Fuente: SINGER, Ferdinand L.; PYTEL, Andrew. *Resistencia de materiales*. p.2.

En mecánica, se determinaría la resultante de las fuerzas aplicadas para averiguar si el sólido se encuentra o no en equilibrio. Si la resultante es nula existe equilibrio estático, condición que, en general, ha de existir en las estructuras. Si la resultante no es nula, introduciendo en el sistema exterior las fuerzas de inercia correspondientes, se obtiene el equilibrio dinámico. La resistencia de materiales estudia la distribución interna de esfuerzos que produce un sistema de fuerzas exteriores aplicadas. Para ello, se suele hacer un corte ideal en el sólido por una sección de exploración, buscando qué fuerzas deben actuar en esta sección para mantener el equilibrio de cuerpo libre en cada una de las dos partes en que ha quedado dividido el cuerpo.

En general, el sistema de fuerzas internas equivale a una fuerza y un par resultantes que, por conveniencia, se descomponen según la normal y la tangente a la sección como se muestra en la figura 7.

Figura 7. **Componentes de los efectos internos en la sección de exploración a-a**



Fuente: SINGER, Ferdinand L.; PYTEL, Andrew. Resistencia de materiales. p.3.

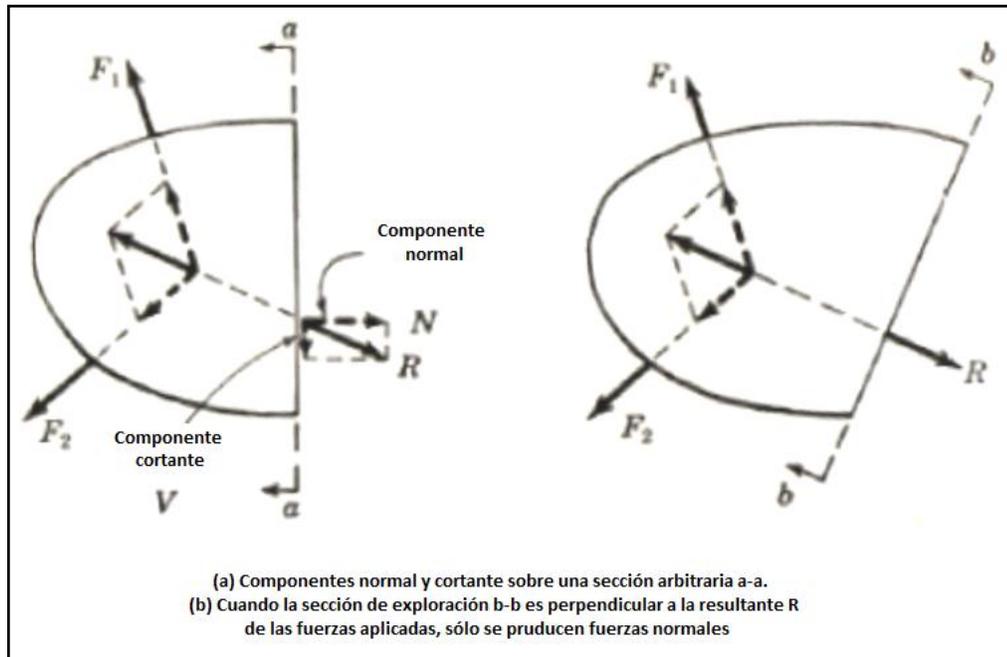
El origen del sistema de ejes coordenados se considera siempre en el centroide, que es el punto de referencia de la sección. Aunque todavía no se está preparado para comprender esto, ya se verá claramente al entrar en material. Si el eje X es normal a la sección, ésta se denomina superficie o cara X. La orientación de los ejes Z y Y en el plano de la sección se suele elegir de manera que coincidan con los ejes principales de inercia de la misma. La notación empleada en la figura 7 identifica, tanto la sección de exploración como la dirección de las componentes de la fuerza y del momento. El primer subíndice indica la cara sobre la que actúan los componentes, y el segundo la dirección de cada una de ellas. Por tanto, P_{xy} es la fuerza que actúa sobre la cara X en la dirección y Y. Cada componente representa un efecto distinto de las fuerzas aplicadas sobre el sólido, en esta sección, y recibe un nombre especial, que se indica a continuación:

- P_{xx} , fuerza axial: este componente corresponde a la acción de tirar (o de empujar) sobre la sección. Tirar (o jalar) representa una fuerza de extensión o tracción que tiene a alargar el sólido, mientras que empujar representa una fuerza de compresión que tiende a cortarlo. Se representa, generalmente, por P , P_{xy} , P_{xz} , fuerzas cortantes, son componentes de la resistencia total al deslizamiento de la porción de sólido a un lado de la sección de exploración respecto de la otra porción. La fuerza cortante total se suele representar por V y sus componentes, V_y y V_z , determinan su dirección.
- M_{xx} , Momento torsionante: esta componente mide la resistencia a la torsión del sólido considerado, y se suele representar por T . M_{xy} , M_{xz} , momentos flexionantes. Estas componentes miden la resistencia del cuerpo a curvarse o flexionarse respecto de los ejes Y o Z , y se suelen expresar, simplemente, por M_y M_z , respectivamente. De todo lo anterior, se deduce que el efecto interno de un sistema de fuerzas exterior dado depende de la elección y orientación de la sección de exploración.

En particular, si las cargas actúan en un plano, como se suele considerar como el plano XY , las seis componentes de la figura 7 se reducen a tres: la fuerza axial P_{xx} (o P), la fuerza cortante P_{xy} (o V) y el momento flexionante M_{xz} (o M). En estas condiciones como se observa en la figura 8 a, estas componentes equivalen a una fuerza resultante R .

Este hecho demuestra que si la sección de exploración tuviera otra orientación, por ejemplo, $b-b$ perpendicular a R , en la figura 8 b, el efecto de cortadura en la sección se podría anular, con lo que el efecto de la tensión alcanzaría un valor máximo.

Figura 8. Componentes a-a. Sección de exploración b-b



Fuente: SINGER, Ferdinand L.; PYTEL Andrew. *Resistencia de materiales*. p.4.

El fin que persigue la resistencia de materiales, es asegurar que las estructuras puedan soportar los máximos efectos internos que puedan producirse por cualquier combinación de cargas.

2.3.2. Materiales

Un material que se puede utilizar para realizar algún componente de las cámaras de pintura es el aluminio, este es un material ligero, con una densidad de $2,70 \text{ g/cm}^3$, o sea un tercio de la densidad del acero. Aunque las aleaciones de aluminio tienen propiedades a la tensión relativamente bajas comparadas con las de acero, su relación resistencia-peso, como se define, es excelente:

Relación resistencia-peso = (resistencia a la tensión) / (densidad)

El aluminio se utiliza cuando el peso es un factor importante, como ocurre en las aplicaciones aeronáuticas y de automotores. El aluminio también responde fácilmente a los mecanismos de endurecimiento. La tabla IX compara la resistencia del aluminio puro recocido con aleaciones endurecidas mediante diversas técnicas. Las aleaciones pueden ser 30 veces más resistentes que el aluminio puro.

Tabla IX. **Efecto de los mecanismos de endurecimiento en el aluminio y en las aleaciones de aluminio**

Efecto de los mecanismos de endurecimiento en el aluminio y en las aleaciones de aluminio				
Material	Resistencia a la tensión (psi)	Esfuerzo de fluencia (psi)	Elongación (%)	Esfuerzo de fluencia
Aluminio puro recocido (0.99.99% Al)	6,500	2,500	60	2.0
Aluminio puro comercial (recocido, 99% Al)	13,000	5,000	45	2.4
Endurecido por solución sólida (1.2% Mn)	16,000	6,000	35	8.8
Aluminio puro trabajo en frío un 75%	24,000	22,000	15	
Endurecido por dispersión (5% mg)	42,000	22,000	35	8.8
Endurecido por envejecimiento (5.6% Zn – 2.5% Mg)	83,000	73,000	11	29.2

Fuente: ASKELAND, Donald R. *La ciencia e ingeniería de los materiales*. p.236.

Clasificación: las aleaciones de aluminio pueden subdividirse en dos grandes grupos, aleaciones para forja y aleaciones para fundición, de acuerdo con el método de fabricación. Las aleaciones para forja, que se conforman mediante deformación plástica, tienen composiciones y microestructuras significativamente diferentes de las aleaciones para fundición, lo cual refleja las diferentes condiciones del proceso de manufactura. Dentro de cada grupo principal las aleaciones se dividen en dos grupos: aleaciones tratables térmicamente y aleaciones no tratables térmicamente. Las primeras son endurecidas por envejecimiento, mientras que las segundas se endurecen por medio de un endurecimiento por solución sólida.

Por deformación o por dispersión. Las aleaciones de aluminio se clasifican mediante el sistema de enumeración de la tabla X.

Tabla X. **Sistema de designación para las aleaciones de aluminio**

Sistema de designación para las aleaciones de aluminio	
<p>Aleaciones para forja 1xxx Alum. Comercialmente puro (>99% Al) 2xxx Al – Cu 3xxx Al – Mo 4xxx Al – Si y Al – Mg – Si</p> <p>5xxx Al – Mg 6xxx Al – Mg – Si 7xxx Al – Mg – Zn Aleaciones fundidas 1xx.x 2xx.x 3xx.x 4xx.x 5xx.x 7xx.x 8xx.x</p>	<p>No envejecido Endurecibles por envejecimiento No envejecido Endurecibles por envejecimiento si hay magnesio presente No envejecido Endurecibles por envejecimiento Endurecibles por envejecimiento No envejecido Endurecibles por envejecimiento Algunas son Endurecibles por envejecimiento No envejecido No envejecido Endurecibles por envejecimiento Endurecibles por envejecimiento</p>

Fuente: ASKELAND, Donald R. *La ciencia e ingeniería de los materiales*. p.236.

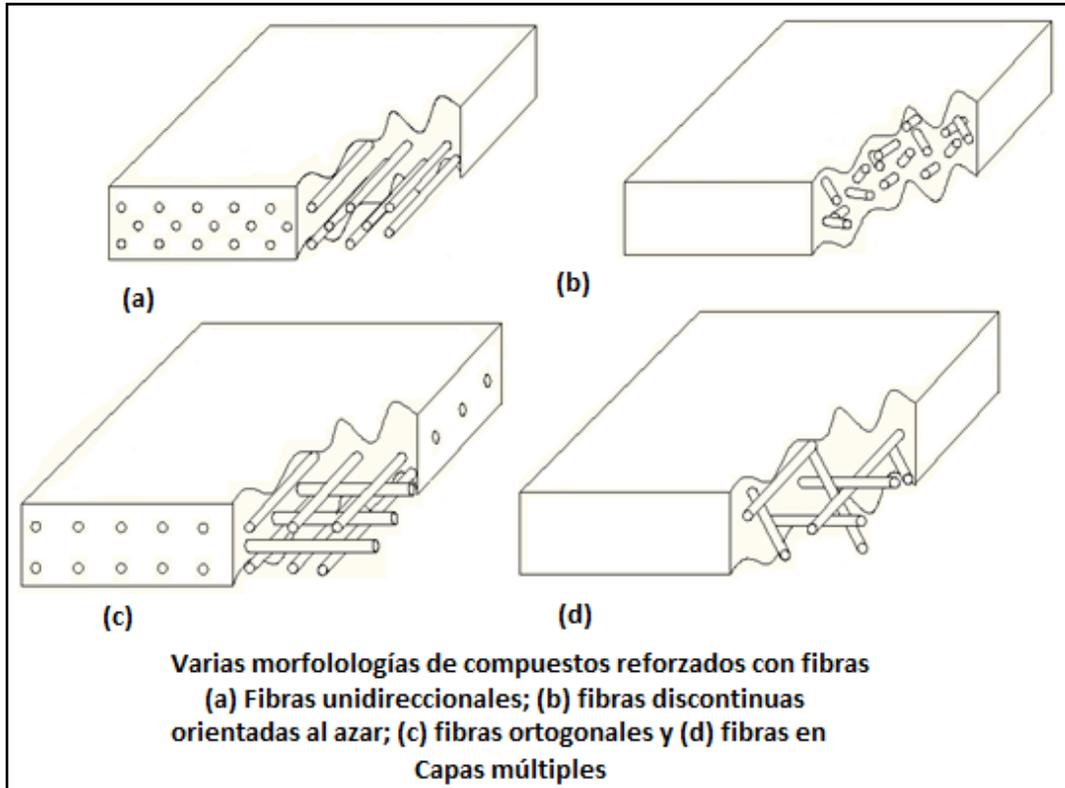
El primer número especifica los principales elementos de aleación y los números restantes se refieren a la composición específica de la liga o aleación. Aleaciones para forja, las aleaciones 1xxx y 3xxx son de una sola fase, excepto por la presencia de pequeñas cantidades de inclusiones o compuesto intermetálicos. Las propiedades de estas aleaciones son controladas por endurecimiento, por deformación, por solución sólida y por control del tamaño del grano. Sin embargo, debido a que es pequeña la solubilidad de los elementos de aleación en el aluminio, el grado de endurecimiento por solución sólida es limitado. Las aleaciones 5xxx contienen α , una solución sólida de magnesio en aluminio la cual es endurecida mediante una dispersión fina Mg_5Al_3 . Sin embargo, como el precipitado Mg_5Al_3 no es coherente, son inaplicables los procesos de endurecimiento por envejecimiento.

Las aleaciones 4xxx contiene también dos fases, α y silicio casi puro, β . Las aleaciones que contienen silicio y magnesio pueden ser endurecidas por envejecimiento, lo que permite la precipitación Mg_2Si . Las aleaciones 2xxx, 6xxx y 7xxx son terciarias endurecibles por envejecimiento. En cada aleación, se forman varios precipitados coherentes antes de que se produzca la fase de equilibrio final. Muchas de las aleaciones de aluminio comunes para fundir contienen suficiente silicio para causar una reacción eutéctica, confiriendo a las aleaciones puntos bajos de fusión y características adecuadas de fundibilidad. Las propiedades de las aleaciones aluminio-silicio son controladas mediante endurecimiento por solución sólida de la matriz de aluminio α , endurecido mediante dispersión de la fase β de silicio, y solidificación, lo cual controla el tamaño primario de grano y forma, así como la propiedad del microconstituyente eutéctico el rápido enfriamiento obtenido en coquilla o molde permanente incrementa normalmente la resistencia mediante el refinamiento de grano y del microconstituyente eutéctico.

El refinamiento de grano que utiliza adiciones de boro y de titanio, la modificación con sodio o estroncio para cambiar la estructura eutéctica, o el endurecimiento con fósforo para refinar el silicio primario, se realizan todos en ciertas aleaciones para mejorar la microestructura y con ello el grado de endurecimiento por dispersión. Muchas aleaciones contienen también, cobre o magnesio, lo que permite una reacción de endurecimiento por envejecimiento ocasionada por precipitación de CuAl_2 , o bien Mg_2Si . Los materiales compuestos (o compósitos) se producen cuando dos materiales se unen para dar una combinación de propiedades que no puede ser obtenida en los materiales originales. Estos materiales pueden seleccionarse para proporcionar combinaciones de rigidez, resistencia, peso, rendimiento a temperatura alta, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad, etc. Los compuestos pueden ser: metal-metal, metal-cerámica, metal-polímero, cerámica-polímero, cerámica-cerámica, o polímero-polímero.

Los compuestos pueden clasificarse en tres categorías: con partículas, con fibras y laminares (dependiendo de la forma de los materiales). En la conformación de las cámaras de pintura se utilizará la fibra de vidrio como aislante térmico y daremos las características de los compuestos reforzados con fibras, estos compuestos mejoran la resistencia al esfuerzo, la resistencia a la fatiga, la rigidez y la relación resistencia-peso, a través de la introducción de fibras fuertes, rígidas y frágiles dentro de una matriz más blanda y dúctil. El material de la matriz transmite la fuerza a las fibras y proporciona ductilidad y tenacidad, mientras que las fibras soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. A diferencia de los compuestos endurecidos por dispersión, la resistencia del compuesto se incrementa tanto a temperatura ambiente como a temperaturas elevadas como se muestran en la figura 9.

Figura 9. **Varias morfologías de compuestos reforzados con fibras**



Fuente: ASKELAND, Donald R. *La ciencia e ingeniería de los materiales*. p. 372.

Se emplean una enorme variedad de materiales reforzados. Durante siglos, la paja ha sido utilizada para darle resistencia a los adobes. En las estructuras de concreto se introducen como refuerzo varillas de acero. Las fibras vítreas en una matriz polimérica producen la fibra de virio para aplicaciones de transporte y aeroespaciales. Las fibras vítreas cortas orientadas aleatoriamente se encuentran presentes en la fibra de vidrio. Se pueden usar arreglos unidireccionales de fibras continuas para producir deliberadamente propiedades anisotrópicas. Las fibras pueden colocarse en forma de telas o ser producidas en forma de cintas. Se pueden cambiar de orientación en las capas alternadas de cintas.

La regla de las mezclas predice siempre la densidad de los compuestos reforzados con fibras. $\rho = f_m \rho_m + f_f \rho_f$, donde los subíndices m y f se refieren a la matriz y a la fibra, respectivamente. Además, la regla de las mezclas predice con precisión las conductividades eléctrica y térmica de los materiales reforzados con fibras a lo largo de la dirección de las fibras si éstas son continuas y unidireccionales.

$$k_c = f_m k_m + f_f k_f$$

$$\sigma_c = f_m \sigma_m + f_f \sigma_f$$

Donde k es la conductividad térmica y σ es la conductividad eléctrica.

La fibra de vidrio contiene fibras de vidrio dentro de una matriz polimérica, como el poliéster las fibras son normalmente cortas y discontinuas, aunque se usan cuerdas de vidrio y tejidos. A menudo, agentes silanos, que recubren la fibras de vidrio (en proceso llamado recubierta) con un material orgánico de espesor molecular, se aplican para mejorar la unión y la resistencia a la humedad. La fibra de vidrio mejora la rigidez y la resistencia del polímero, proporcionando un módulo específico y una resistencia específica comparables a las de buenos metales y aleaciones.

2.3.3. Proporción de las distintas partes de muros, puertas, techo y piso

Las cargas vivas sobre los pisos están, generalmente, reguladas por los reglamentos de construcción de las ciudades.

Para las localidades que no tengan reglamentos relacionados con este punto, los valores siguientes servirán como guía para las cargas vivas (en kilogramos por metro cuadrado): habitaciones, 195; oficinas, salones con asientos fijos, 244; corredores salones y otros locales en donde se puede reunir una muchedumbre, 488; fábricas textiles, 244 a 488; talleres mecánicos, 244 a 976; fundiciones, almacenes, 976 a 1465. Las cubiertas y vigas de pisos que soportan solamente una pequeña área de piso deben calcularse, además, para cualesquiera concentraciones locales de cargas que puedan establecerse sobre ellas.

Las vigas maestras o trabes, las columnas y los miembros que soportan grandes áreas de piso, excepto en construcciones, como almacenes en donde la carga plena puede distribuirse sobre el área total, se calculan a menudo por cargas vivas reducidas progresivamente a medida que el área soportada se vaya haciendo mayor. Cuando las cargas vivas produzcan choques o vibraciones, como las grúas o maquinaria, se añadirá 25% o más a las cargas estáticas. Las cargas en el techo por nieve y trabajadores que hagan reparaciones, no deben tomarse menores de 146 Kg por m² horizontal de cubierta para pendientes hasta de 15 grados, y 4.9 Kg menos por cada grado adicional hasta 45 grados. En los climas severos se debe aumentar esta carga; en climas suaves reducirse.

Las presiones del viento sobre los muros de los edificios deben suponerse de 73 Kg por m² sobre las superficies situadas a menos de 18 m por encima del terreno y de 97 Kg por m² sobre las superficies más altas. Sobre el área proyectada de las formas estructuras de acero expuestas, considérese la presión del viento 50 por ciento mayor que sobre los muros.

Las presiones del viento normales a los tejados más inclinados de 1/3 (1 vertical, 3 horizontal) deben tomarse 8,8 Kg/m² por cada 0,1 de pendiente (1 vertical, 10 horizontal) con un máximo de 97 Kg/m². Estas presiones deben aumentarse para edificios construidos en lugares despejados y en las localidades en donde pueden presentarse vientos de velocidades extremadamente grandes (más de 112 Km por hora) se debe considerar la acción de los temblores en las regiones en que se produzcan con frecuencia.

- Los techos y los pisos: deben ser resistentes lateralmente, las columnas deben tener uniones rígidas con los entramados del piso, techo y los muros deberán asegurarse bien al entramado. Una regla común es la de proporcionar a la estructura del edificio resistencia a las fuerzas horizontales igual a un décimo de las cargas muerta y viva soportadas. La sincronización entre la vibración del temblor y la vibración elástica libre o natural del edificio (efecto de resonancia), merece una consideración especial. Particularmente, en edificios altos y esbeltos. Pueden construirse muros de hormigón o de obra de fábrica para actuar como elementos resistentes al esfuerzo cortante, si se unen adecuadamente al entramado de los pisos y techos.

Pisos y techos: en entramado plano, excepto en la construcción con losa plana de hormigón armado, los pisos y los tejados o terrazas consisten generalmente, en recubrimientos planos soportados sobre viguetas, vigas maestras o armaduras. Estos recubrimientos pueden considerarse, por lo general, como una serie de bandas que cubren el espacio entre las vigas y que pueden calcularse como vigas. El cálculo de una viga consiste, principalmente, en proporcionar su sección transversal para que resista la flexión y el esfuerzo cortante máximos y diseñar las uniones adecuadas en sus apoyos, sin sobrepasar los esfuerzos unitarios admisibles en los materiales usados.

Los entramados rígidos consisten en columnas y vigas soldadas, remachadas, atornillada o unidas de alguna otra manera de modo que se consiga continuidad en las juntas y que permita que el conjunto del entramado se comporte de acuerdo con la teoría de la elasticidad. Las ventajas de los entramados rígidos son: su montaje fácil y simple; aumento de la altura libre y la economía que resulta en las alturas de los muros. Los entramados rígidos formados con perfiles laminados se emplean corrientemente en luces hasta 30,5 m de longitud. Se han utilizado miembros armados o compuestos en luces hasta 76 m. La construcción soldada presenta ventajas particulares para los entramados que utilizan miembros de altura variable y para las cubiertas o tejados de forma parabólica. La distribución de momentos en el entramado rígido estáticamente indeterminado es influida por la relación de la altura de las columnas a la luz y del peralte del tejado a la altura de las columnas, así como por la rigidez relativa de los diversos miembros. La determinación de los momentos en el entramado se consigue utilizando las ecuaciones corrientes de estática más una, o más ecuaciones complementarias que corresponden a las deformaciones elásticas del entramado bajo carga.

- Columnas, muros y puertas: los elementos verticales de la construcción de edificios consisten en columnas, postes o pilastras que transmiten cargas concentradas, y muros (exteriores) o tabiques (divisiones interiores), que transmiten cargas lineales de piso a piso. Las columnas pueden ser de madera, acero u hormigón armado y sus dimensiones deberán proporcionarse en relación con los esfuerzos admisibles del material usado. Hay que poner cuidado en el entramado de las vigas corrientes y maestras para evitar esfuerzos adicionales debidos a las uniones que transfieran las cargas a las columnas con mucha excentricidad, o bien proveer lo necesario cuando no puedan evitarse.

Las columnas cuya parte superior no estén adecuadamente impedidas de desviaciones o movimientos laterales, pueden ser sometidas a considerables momentos adicionales a causa de la excentricidad con que se aplican las cargas que sin dichas desviaciones serían axiales.

Los muros se calculan por elementos verticales de una anchura (en la dirección de su mayor dimensión) igual a la unidad de longitud, que transmiten las cargas verticales de piso a piso. Las cargas del viento, los temblores y otras laterales son resistidas por los muros, como una viga, cubren verticalmente la distancia entre pisos y horizontalmente la separación de columnas o pilastras, o como una losa en dos direcciones, o con armadura cruzada que cubre o salva los vanos en cada dirección.

Las paredes de entramado consisten en pies derechos de madera con una o más filas de puentes o travesaños horizontales. La carga vertical admisible sobre esas paredes es función de la máxima admisible sobre cada pie derecho, considerado como una columna, y del espaciamiento de dichos pies.

Para edificios industriales o talleres se emplean, comúnmente: láminas onduladas (corrugadas) o planas de acero, aluminio o asbesto-cemento. Estas láminas ordinariamente, se apoyan sobre largueros de acero que enlazan horizontalmente con las columnas y son sostenidos desde fuertes puntales de acero por una o más líneas de barras atiesadoras verticales de acero.

Los muros de hormigón armado o de obra de fábrica se proyectarán de modo que no sobrepasen los esfuerzos admisibles por flexión o axiales, o ambos, pero los espesores mínimos de tales muros no deberán ser inferiores a los de la tabla XI.

Tabla XI. **Espesores mínimos en muros**

Material	Relación máxima de la altura o longitud sin apoyo al espesor	Espesor nominal mínimo cm
Hormigón armado	25	15
Hormigón ordinario o sin armar	22	18
Obra de fábrica, armada, de ladrillo	25	18
Obra de fábrica de ladrillo rellena con mortero	22	18
Obra de fábrica de bloques macizos	20	20
corrientes	18	20
Obra de fábrica de bloques huecos	14	30
Obra de fábrica de piedra labrada (sillería)	48	5
Hormigón u obra de fábrica sin carga en el interior		

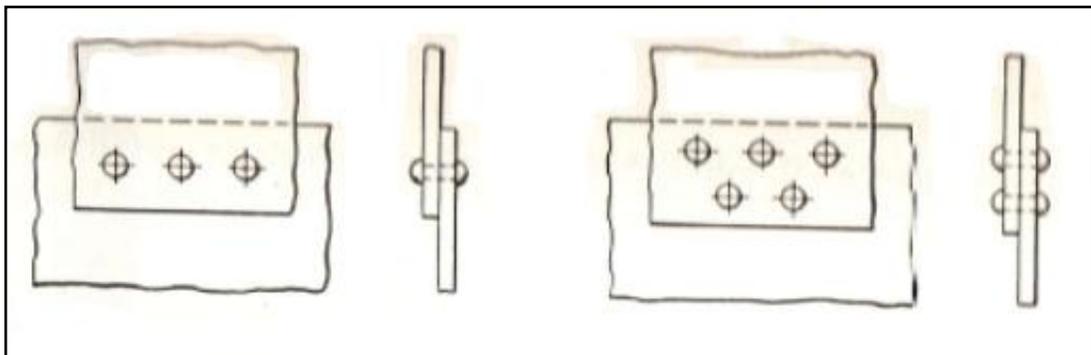
Fuente: MARKS, Lionel S.; BAUMEISTER, Theodore. *Manual del Ingeniero mecánico de Marks*. p.1757.

Otro aspecto que se tiene que tomar en cuenta, es el análisis de las uniones mediante remaches y por soldadura. Existen tantos factores indeterminados, que sería imposible hallar la solución exacta del problema; sin embargo, se pueden encontrar soluciones prácticas haciendo algunas hipótesis simplificativas.

Una de las fundamentales es que si la carga aplicada pasa por el centro de gravedad de un grupo o conjunto de remaches, cada remache transmite una fuerza igual a su capacidad de resistencia, a cortante o a la presión de contacto, dependiendo de cuál sea menor. Esta hipótesis, junto con la de que la unión es de un material dúctil (mientras que las placas por unir se consideran perfectamente rígidas), permite considerar a las uniones remachadas como casos de distribución uniforme de esfuerzo.

Tipos de uniones (o juntas) remachadas, en cuanto a la disposición de los elementos por unir existen dos tipos de uniones remachadas: juntas a traslape y juntas a tope. En la unión a traslape las placas a unir se colocan solapadas, una sobre otra y se cosen entre sí mediante una o varias filas de remaches, como se observa en la figura 10.

Figura 10. **Uniones por solape**

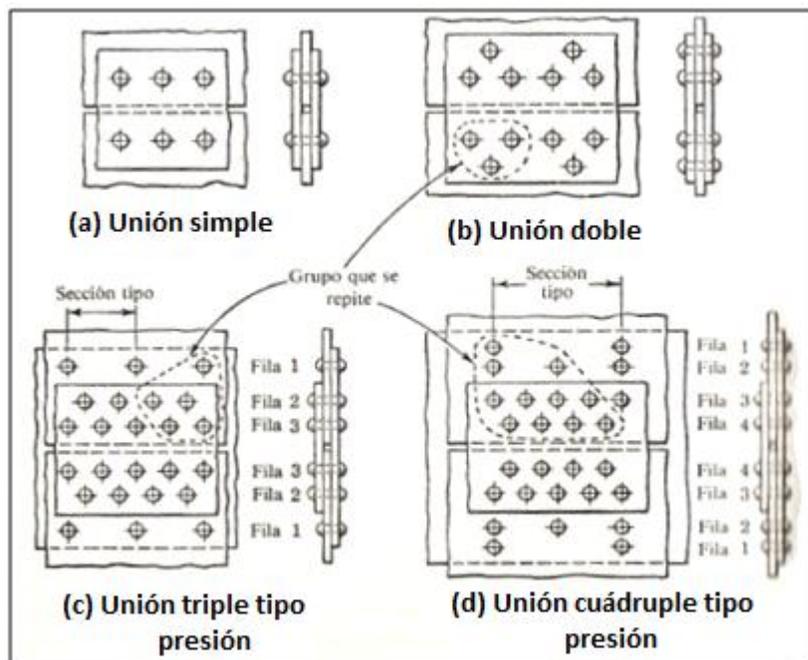


Fuente: SINGER, Ferdinand L.; PYTEL, Andrew. *Resistencia de materiales*. p.388.

En una unión a tope, las dos placas a unir están colocadas en el mismo plano, con sus bordes a tope, y se sujetan mediante dos placas, una a cada lado de las placas a unir, que se llaman cubrejuntas, y que se remachan a cada una de las placas principales. A veces, incluso se coloca una sola placa cubrejuntas. La junta se llama simple o de una fila, doble o de dos filas, triple, etc., según que sean una, dos, tres, etc., las filas de remaches que cosen entre sí las placas, como se muestra en la figura 11. En las uniones de las calderas suelen hacerse el cubrejunta exterior más estrecho que el interior, como en (c) y (d) de la figura 11, de manera que el cubrejunta exterior es lo suficientemente ancho para incluir sólo la fila de remaches en la que éstos están menos espaciados.

Este tipo de unión se denomina junta a presión, y suelen además, calafatearse o retacarse con el cincel y martillo las aristas de los bordes de los cubrejuntas exterior, para asegurar la hermeticidad del cierre.

Figura 11. Uniones a tope



Fuente: SINGER, Ferdinand L.; PYTEL, Andrew. *Resistencia de materiales*. p.388.

La separación entre los remaches de una fila se llama paso. Cuando existen varias filas de remaches, el paso puede ser igual en todas ellas, o distinto de unas a otras. Cuando los remaches de dos filas consecutivas, con igual paso, están alternados, a la distancia entre uno de una fila y el correspondiente de la otra se le llama paso diagonal. Al determinar la resistencia de una unión remachada se suele referir los cálculos a la longitud de unión correspondiente a un grupo de remaches que se repiten, en distancias y disposición, a todo lo largo de la unión.

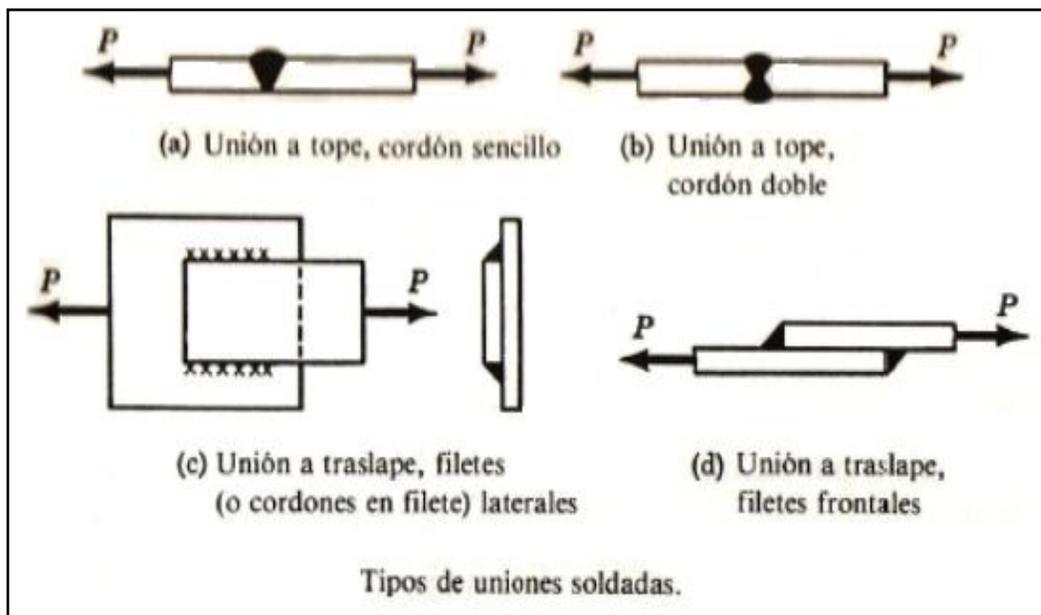
La longitud del grupo, al que se suele llamar sección tipo, es igual al paso mayor. Para evitar confusiones en cuanto al número de remaches que constituyen la sección tipo, se trazan dos líneas perpendiculares a la junta por los centros de dos remaches consecutivos de los que tienen el paso mayor y se cuentan los remaches, enteros o mitades, que existen entre dichas dos líneas paralelas. La eficiencia de una unión remachada indica si ha sido bien diseñada, y se mide por la relación entre la resistencia de la unión y la de la placa llena, es decir: $\text{eficacia} = (\text{resistencia de la unión}) / (\text{resistencia de la placa llena})$. Los orificios para los remaches se realizan por taladro o por punzonado, retocándolos con un escurriador de diámetro 1,5 mm mayor que el del remache. Se supone que, al situar los remaches, éstos entran tan ajustados, en este tipo de uniones a presión que llenan por completo el orificio, y por ello en los cálculos se toma como diámetro de cálculo el del orificio.

Uniones soldadas, la confiabilidad de las uniones soldadas ha llegado a ser tal, que cada vez se emplean más para completar o sustituir a las uniones remachadas en el diseño de máquinas y estructuras. Por otra parte, suele ser más económico fabricar una pieza complicada soldando entre sí componentes sencillos (placas, barras, etc.) que hacerla de una sola pieza, por moldeo y acabado posterior. La soldadura es un procedimiento de unión de dos metales por fusión. Mediante el calor producido por un arco eléctrico o un soplete de oxiacetileno, se reblandece y funde el metal en los dos bordes a soldar, junto con el metal adicional de una varilla (metal de aportación) que recarga la junta formando el condón de soldadura, o simplemente cordón. Al enfriarse, el metal de aportación y el metal base, forman una unión continua y homogénea. Para proteger al metal fundido de la oxidación, se utiliza cada vez más varillas o electrodos revestidos.

El revestimiento fundente, al entrar en caldeo, desprende un gas inerte que rodea la llama del soplete, o el arco eléctrico, y protege al metal fundido de la oxidación. Además, forma una escoria que sobrenada en el metal fundido mientras se enfría, impidiendo que se oxide o que absorba el nitrógeno del aire. Esta técnica se llama proceso de arco protegido. Los dos tipos principales de soldaduras son: a tope y a traslape, como se muestra en la figura 12.

La resistencia de una soldadura a tope es igual al esfuerzo admisible por el producto de la longitud del cordón por el espesor de la placa más delgada, ya no es preciso que las dos planchas a soldar tengan el mismo espesor. El esfuerzo admisible se toma como aquél del metal base. La resistencia de las uniones a traslape, tanto con filetes laterales como frontales, se supone determinada por la resistencia al cortante de la garganta de la soldadura.

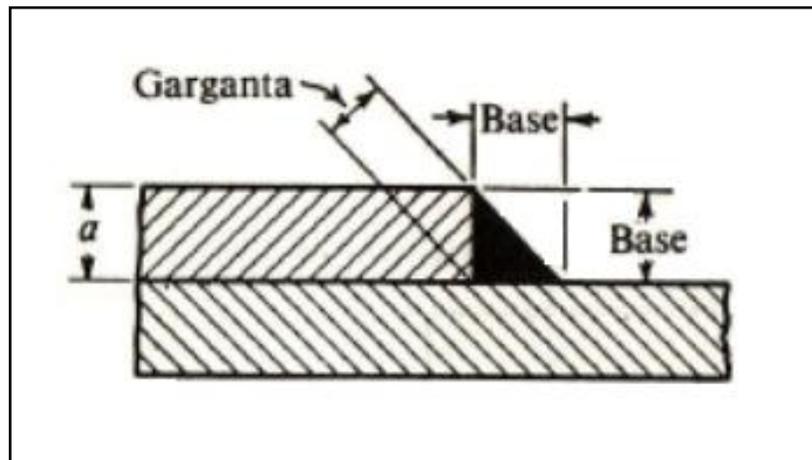
Figura 12. Tipos de uniones soldadas



Fuente: SINGER, Ferdinand L.; PYTEL, Andrew. *Resistencia de materiales*. p.407.

La resistencia de las uniones a traslape, tanto con filetes laterales como frontales, se supone determinada por la resistencia al cortante de la garganta de la soldadura. En los filetes a 45 grados de la figura 13.

Figura 13. **Resistencia al cortante de la garganta**



Fuente: SINGER, Ferdinand L.; PYTEL, Andrew. *Resistencia de materiales*. p.407.

Llamando al ancho de las bases, el área de la sección de la garganta sometida a cortante es igual a la longitud L del cordón por el espesor de la garganta. Sin embargo, por lo general, la resistencia de una soldadura a traslape se expresa en términos de la fuerza admisible q por milímetro de longitud soldada, y está dada por: $q = P / L = 103$ a cuyas dimensionales son N / mm .

2.3.4. Resistencia de los distintos componentes de muros, puertas, techo y piso

La tabla XII muestra las propiedades de algunas aleaciones del aluminio

Tabla XII. **Propiedades de algunas aleaciones de aluminio**

Propiedades de algunas aleaciones de aluminio					
Aleación	Resistencia a la tensión (psi)	Esfuerzo de fluencia (psi)	Elongación (%)	Comentario	
Aleaciones para forja no tratables térmicamente	13,000	5,000	40	Componentes eléctricos, hojas metálicas. Latas para bebidas. Metal de relleno en soldadura, recipientes, componentes marinos	
1100 – O > 99%Al	24,000	22,000	10		
1100 H18	16,000	6,000	35		
3003 – O 1.2%Mn	29,000	27,000	7		
3003 – H18	21,000	10,000	22		
4043 – O 5.2%Si	42,000	22,000	35		
5056 – O 5%Mg	60,000	50,000	15		
5056 – H18					
Aleaciones para forja tratables térmicamente					Transportes, aeronáutica, astronáutica y otras aplicaciones de alta resistencia
2024 – O 4.4%Cu	27,000	11,000	20		
2024 – T4	68,000	47,000	20		
4032 – T6 12%Si–1%Mg	55,000	46,000	9		
6061 –T6 1%Mg–0.6%Si	45,000	40,000	15		
7075 – T6 5.6%Zn–2.5%Mg	83,000	73,000	11		
Aleaciones para fundición	27,000	18,000	5	Arena	
295 – T6 4.5%Cu–0.8%Si	34,000	19,000	2	Arena	
319 – F 6%Si–3.5%Cu	33,000	24,000	2.5	Molde permanente	
	38,000	27,000	3.5	Arena	
356 – T6 7%Si–0.3%Mg	46,000	23,000	5	Molde permanente	
	41,000	35,000	3.5	Molde permanente	
380 – F 8.5%	19,000	8,000	1	Coquilla	
	23,000	9,000	8	Arena	
390 – F 17%Si–4.5%Cu–0.6%Mg	33,000	16,000	10	Molde permanente	
443 – F 5.2%Si					

Fuente: ASKELAND, Donald R. *La ciencia e ingeniería de los materiales*. p.238.

La tabla XIII muestra las designaciones de grado de endurecimiento para aleaciones de aluminio.

Tabla XIII. **Designaciones del grado de endurecimiento para aleaciones de aluminio**

Designaciones del grado de endurecimiento para aleaciones de aluminio	
F	Tal como se fabricó (trabajo en caliente, forja, fundición, etc.); O Recocida (en la condición más blanda posible); H Trabajo en frío
	H1x – trabajada en frío solamente, (x se refiere a la cantidad de trabajo en frío endurecimiento)
	H12 – proporciona una resistencia a la tensión intermedia entre O y H14
	H14 – proporciona una resistencia a la tensión intermedia entre O y H18
	H16 – proporciona una resistencia a la tensión intermedia entre H14 y H18
	H18 – proporciona una reducción de aproximadamente 75%
	H19 – proporciona una resistencia a la tensión mayor en 2,000 psi respecto a la obtén por H18.
	H2x – trabajada en frío y parcialmente recocida.
	H3x – trabajada en frío y estabilizada a una temperatura baja para evitar el endurecimiento por envejecimiento
	W Tratada por solución
	T Endurecida por envejecimiento
	T1 – enfriada desde la temperatura de fabricación y envejecida naturalmente
	T2 – enfriada desde la temperatura de fabricación y trabajada en frío y envejecida naturalmente
	T3 – tratada por solución, trabajada en frío y envejecida naturalmente
	T4 – tratada por solución y envejecida naturalmente
	T5 – enfriada desde la temperatura de fabricación y envejecida artificialmente
	T6 – tratada por solución y envejecida artificialmente
	T7 – tratada por solución y estabilizada por sobre envejecimiento
	T8 – tratada por solución, trabajada en frío y envejecida artificialmente
	T9 – tratada por solución, envejecida artificialmente y trabajada en frío
	T10 – enfriada desde la temperatura de fabricación, trabajada en frío y envejecida artificialmente

Fuente: ASKELAND, Donald R. *La ciencia e ingeniería de los materiales*. p.239.

La tabla XIV muestra diferentes propiedades de algunos materiales reforzados con fibras.

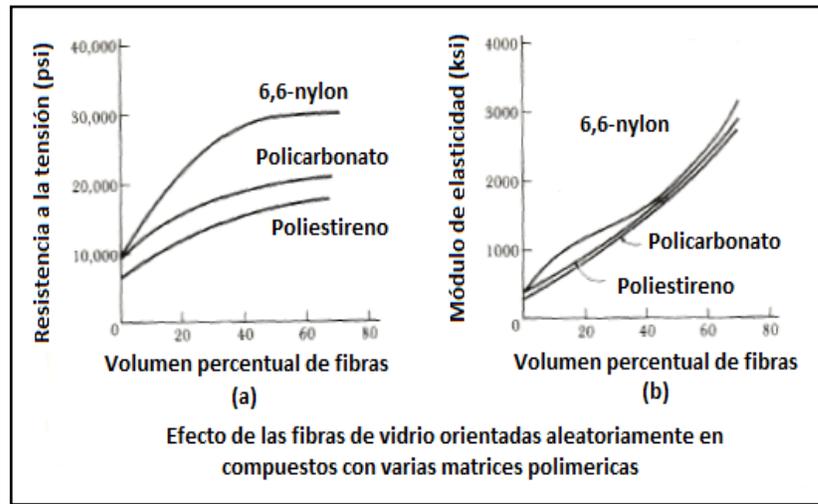
Tabla XIV. **Propiedades de algunos materiales reforzados con fibras**

Propiedades de algunos materiales reforzados con fibras						
Material	Densidad (g/cm ³)	Resistencia a la tensión (ksi)	Módulo de elasticidad (x10E6 plg)	Temp. de fusión (°C)	Módulo Específico (x10E7)	Resistencia Específica (x10E6 plg)
Vidrio E	2.55	500	10.5	<1725	11.4	5.60
Vidrio S	2.5	650	12.6	<1725	14.0	7.20
SiO ₂	2.19	850	10.5	1725	13.3	10.8
Al ₂ O ₃	3.15	300	25.0	2015	21.9	2.60
ZrO ₂	4.84	300	50	2677	28.6	1.70
Grafito HS	1.50	400	40	3700	74.2	7.40
(alta resistencia)	1.90	270	77	3700	143	5.00
Grafito Hm (alto módulo)	1.90	200	13	2730	18.8	2.9
BN	2.36	500	55	2030	64.7	4.70
Boro	2.36	330	70	2450	82.4	3.90
B ₄ C	4.09	300	70	2700	47.3	2.00
SiC	4.48	15	74	2980	45.6	0.10
TiB ₂	1.83	185	44	1277	77.5	2.80
Be	19.4	580	59	3410	8.5	0.80
W	10.2	320	52	2610	14.1	0.90
Mo	1.44	525	18		34.7	10.10
Kevlar						
Whiskers de Al ₂ O ₃	3.90	3000	62	1982	43.4	21.0
de BeO	2.85	1900	50	2550	48.5	18.5
de B ₄ C	2.52	2000	70	2450	76.9	22.10
de SiC	3.18	3000	70	2700	60.8	26.20
de SiC	3.18	2000	55		47.8	17.5
de Si ₃ N ₄	1.66	3000	102	3700	170	50.20
de Grafito	7.20	1290	35	1890	13.4	4.90
de Cr	8.92	427	18	1083	5.60	1.30
de Cu						

Fuente: ASKELAND, Donald R. *La ciencia e ingeniería de los materiales*. p.377.

La figura 14 muestra el efecto de las fibras de vidrio orientadas aleatoriamente en compuestos con varias matrices poliméricas.

Figura 14. **Efecto de las fibras de vidrio orientadas aleatoriamente**



Fuente: ASKELAND, Donald R. *La ciencia e ingeniería de los materiales*. p.383.

La tabla XV muestra ejemplos de materiales reforzados con fibras y sus aplicaciones

Tabla XV. **Ejemplos de materiales reforzados con fibras**

Ejemplos de materiales reforzados con fibras y sus aplicaciones	
Material	Aplicaciones
Aluminio bórico (Borsic)	Aspas de ventiladores en motores; aplicaciones aeronáuticas y aeroespaciales.

Continuación de la tabla XV.

Ejemplos de materiales reforzados con fibras y sus aplicaciones	
Material	Aplicaciones
Kevlar – epóxico	Aviación, aeroespacial (incluso el transbordador), cacos de lanchas o botes, artículos deportivos, ropa anti fuego
Kevlar – poliéster	Aeroespacial, automotriz, artículos deportivos
Grafico – polímero	Automotriz ligera, acuática marina, con resistencia a la corrosión, artículos y equipos deportivos, componentes aeroespaciales
Vidrio - polímero	

Fuente: ASKELAND, Donald R. *La ciencia e ingeniería de los materiales*. p.383.

2.4. Consideraciones para la cimentación de la cámara fija

Presión de apoyo de los suelos: la que puede admitirse sobre el suelo puede variar en un intervalo grande. Para estructuras importantes, se debe investigar la naturaleza del suelo subyacente por medio de perforaciones o pozos de prueba.

Si el suelo está formado por arcilla mediana o blanda, es necesario hacer un análisis de asentamiento basado en pruebas de consolidación de muestras de tierra no alteradas tomadas de los estratos de la región de fundación.

Las estructuras fundadas sobre lodo, aluvión, turba o relleno artificial se asentarán casi con seguridad, y ninguna fundación para estructuras permanentes deberá descansar sobre tal material sin tomar medidas adecuadas para el asentamiento resultante.

La tabla XVI muestra el apoyo de seguridad sobre suelos, da una clasificación general de suelos y las presiones de seguridad que pueden soportar.

Tabla XVI. **Apoyo de seguridad sobre suelos**

Apoyo de seguridad sobre suelos	
Naturaleza del suelo	Capacidad de carga de seguridad, toneladas por m ²
Lecho macizo de roca dura, como granito	245 – 975
Esquito arcilloso sólido y otras rocas medianas requerirán la explosión de barrenos para arrancarlos	95 – 145
Tepetate o tierra endurecida, arena y grava cementadas, difíciles de arrancar	80 – 95
Roca blanda, lecho desintegrado, en lecho natura difícil de arrancar	50 – 95
Arena y grava compactas, que requieren el pico para su arranque	40 – 60
Arcilla dura, que requiere el pico para su arranque	40 – 50
Grava, arena gruesa, en mantos gruesos naturales	40 – 50
Arena suelta, media y gruesa, arena fina compacta	15 – 40
Arcilla media, rígida, pero se puede removerse con azada	20 – 40
Arcilla fina suelta	10 – 20
Arcilla blanda	10

Fuente: MARKS, Lionel S.; BAUMEISTER, Theodore. *Manual del ingeniero mecánico de Marks*. p.1758.

Estos valores se aproximan a las presiones admitidas por la ley de construcción de la mayoría de las ciudades. Las pruebas, cuando su costo justifique por magnitud del proyecto, pueden demostrar que son de seguridad valores más altos. La fundación (que algunos llaman cimentación) para un edificio ocupado por maquinaria vibratoria pesada, como martinets de vapor, troqueles pesados y cizallas, deberá tener algún margen para su compresión y reacomodo posibles del suelo debidos a las vibraciones transmitidas a través de él. La fundación para una chimenea alta deberá calcularse con una presión sobre el terreno relativamente baja a causa de los resultados desastrosos que pudieran ocasionar asentamientos locales.

Cimientos: el fin de los cimientos (que algunos llaman zapatas), es distribuir las cargas concentradas de los muros y columnas de los edificios sobre cierta área de suelo de manera que la presión unitaria caiga dentro de límites admisibles. Los cimientos se construyen, generalmente de hormigón. En ocasiones se usa ladrillo, pero es más costoso que el hormigón, en donde la excavación tenga que ser poco profunda, o por otras razones, se puede usar un emparrillado de viguetas de acero. Debajo de los muros puede emplearse una sola hilera de viguetas; debajo de las columnas, dos hileras cruzadas con la hilera superior de un ancho no mayor que la base de la columna.

El acero se embebe en hormigón para protegerlo. Cuando se consigue piedra de calidad apropiada y en cantidad necesaria, se puede usar con frecuencia económicamente. El hormigón es usado, ya sea simple, o en masa, o bien armado con varillas de acero. La parte saliente, o retallo, a cada lado del cimiento en cada hilada sucesiva se determina calculando la porción que sobresalga como un voladizo o cantiléver.

Los cimientos simples de hormigón 1 : 2 ½ : 5 deben tener (resistencia de prueba de 126 Kg / cm²) deben tener un espesor a lo menos igual a la longitud saliente multiplicada por 0,32 \sqrt{T} siendo T la presión sobre el suelo en tonelada por metro cuadrado. El centro de presión en la pared o columna debe pasar siempre por el centro de su cimiento. Los cimientos construidos sobre terreno que esté expuesto a congelación, deberán llevarse hasta una profundidad que quede por debajo del alcance posible de la penetración de la helada de dicho terreno, para que en ningún caso se corra el peligro de la congelación.

Las fundaciones se colocan ordinariamente en excavaciones abiertas, con tablestacado o sin él y arriostramiento. Cuando se encuentra un suelo de apoyo adecuado a más de 3 o 4,5 m debajo de la superficie, son conveniente con frecuencia otros métodos, tratar el suelo con vibroescavadora ó piloter. En donde el suelo de apoyo es arcilla suficientemente rígida para sostenerse cuando es socavado el material que queda inmediatamente encima de él, es turba o aluvión, puede ser económico el método de cajón abierto. En este método se introducen cilindros de acero de 0,90 m o más de diámetro a medida que avanza la excavación, teniendo los cilindros diámetros, sucesivamente más pequeños.

En el fondo del pozo así formado, se socava el suelo ensanchándolo hasta obtener suficiente área de apoyo. El pozo y el ensanchamiento del fondo se rellenan luego con hormigón, retirándose los cilindros a medida que se va colocando el hormigón. El método de cajón abierto no puede usarse en donde el agua subterránea fluye con demasiada libertad dentro de la excavación. En donde los cimientos para edificios muy altos tengan que llevarse hasta gran profundidad para alcanzar raza o capa firme, particularmente donde el agua subterránea corra con libertad, se aplica el método de cajón neumático.

Cimentación sobre pilotes: donde no pueda alcanzarse suelo de apoyo satisfactorio a una profundidad razonable, y el método de cajón abierto sea impracticable por alguna razón, se emplean con frecuencia pilotes. Los pilotes de madera son permanentes cuando quedan sumergidos en agua continuamente (aunque la broma puede atacar la madera en agua de par por encima del nivel del lodo). Sin embargo, un descenso subsiguiente del nivel del agua subterránea puede ser desastroso, porque la madera podrirá al estar húmeda.

Los pilotes de hormigón son menos destructibles y, por tanto, son adaptables a muchas condiciones. Los pilotes de madera se calculan, generalmente, para soportar de 14 a 18 toneladas por pilote. Deben ser rectos y no menores de 15 cm de diámetro debajo de la corteza en la punta. Con un pilote de hormigón, se pueden soportar de 22 a 54 toneladas o más. Se han hincado como pilotes, columnas de acero estructural en H con capacidades aun mayores, en donde no se temía el peligro de la corrosión.

2.5. Consideraciones para la construcción del chasis de la cámara de pintura móvil

Las consideraciones para la construcción del chasis de la cámara de pintura móvil tienen que estar fundamentadas por criterios especiales de resistencia de materiales para un desarrollo óptimo del diseño de elementos de máquinas

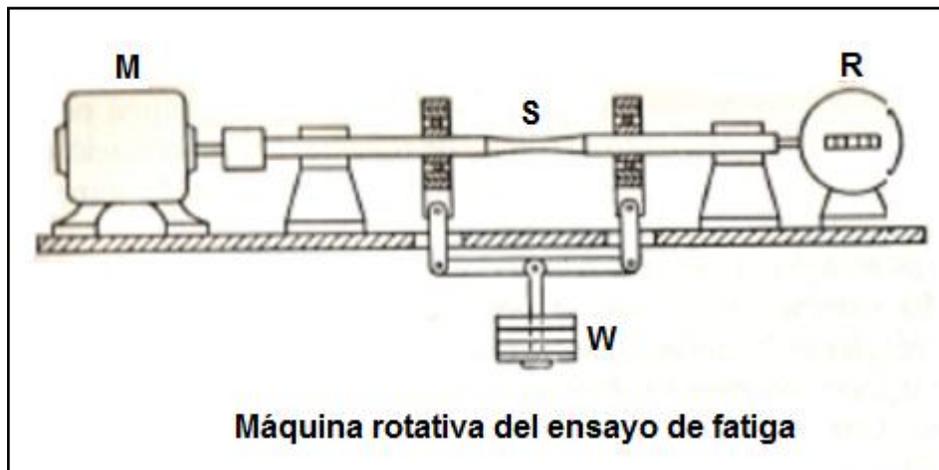
2.5.1. Carga repetida, fatiga

En las máquinas, la mayoría de los elementos están sometidos a esfuerzos variables, producidos por cargas y descargas sucesivas y repetidas.

Los elementos sujetos a este tipo de esfuerzos se rompen o fallan, frecuentemente, para un valor de esfuerzo mucho menor que el de ruptura correspondiente, determinado mediante el clásico ensayo estático de tensión. Este tipo de falla se denomina ruptura por fatiga. Para el diseño correcto de elementos sometidos a esfuerzos alternados, es necesario conocer el esfuerzo que puede aplicarse, sin que el elemento se rompa, un número indefinido de veces, o el esfuerzo (algo más alto) que puede quedar aplicado a un cierto número limitado de veces, caso que es importante ya que a veces tanto, una vida larga sin que el número de veces que se hayan aplicado las cargas sea demasiado grande.

El ensayo para determinar estos valores se llama ensayo de fatiga. El procedimiento más sencillo consiste en la flexión alternada. Una probeta de sección circular se monta sobre unos cojinetes, como se indica la figura 15, y su parte central queda sometida a un momento flexionante puro bajo la acción de la carga W .

Figura 15. **Máquina rotativa de ensayo de fatiga**

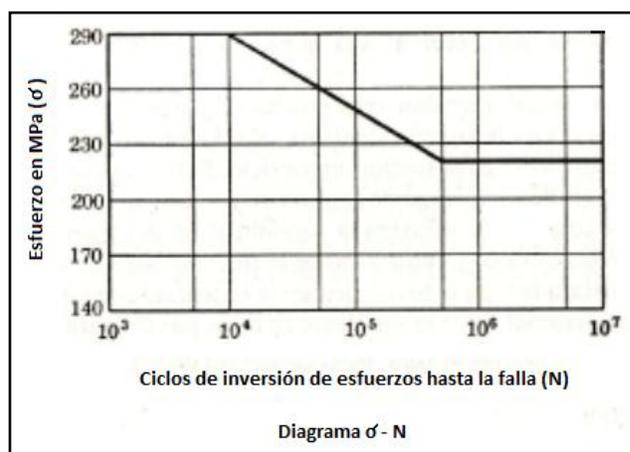


Fuente: SINGER, Ferdinand L.; PYTEL, Andrew. *Resistencia de materiales*. p.419.

Al girar una varilla mediante el motor M, una fibra que inicialmente que estuviera en la parte superior y, por tanto, comprimida, pasa a la parte inferior y queda sometida a tensión, de nuevo a compresión y así sucesivamente de manera que cada vuelta se produce una inversión de completa de esfuerzos. Un contador de revoluciones registra el número de vueltas hasta que tiene lugar la ruptura, y entonces para automáticamente el motor.

Para hacer un ensayo con un material dado, se preparan sobre una docena de probetas idénticas, y se ensaya cada una con una carga diferente, hasta la ruptura o hasta que haya sufrido cuatro o cinco millones de ciclos, en cuyo caso se supone que soportan un número indefinido. En la figura 16 se ha representado un diagrama $\sigma - N$ típico, obtenido mediante este procedimiento. Se ha empleado una escala horizontal semilogarítmica el punto en que se aplanan el diagrama (se puede hacer también el diagrama a escala logarítmica en las dos coordenadas, pero una escala cartesiana no manifiesta con claridad el límite de resistencia a la fatiga) se llama límite de resistencia a la fatiga.

Figura 16. **Diagrama $\sigma - N$**



Fuente: SINGER, Ferdinand L.; PYTEL, Andrew. *Resistencia de materiales*. p. 419.

Aunque no existe relación alguna, definida entre este límite y el esfuerzo último, obtenido en pruebas estáticas, la experiencia indica, que en la mayoría de los materiales, este límite suele estar comprendido entre el 40 y 50% del esfuerzo último. Se pensó al principio que las aplicaciones repetidas de la carga cambiaban la estructura microcristalina del material, pero ahora se sabe que esto no es cierto.

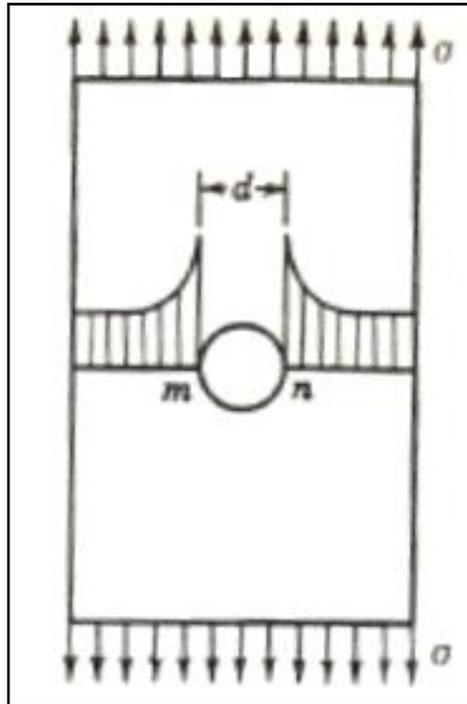
La falla o ruptura por fatiga, se explica mediante la teoría de los esfuerzos localizados, basada en la concentración de esfuerzos que se produce, o bien en el interior del material debido a discontinuidades en su estructura interna, bien en la superficie debido a cambios bruscos de sección. Estas concentraciones de esfuerzo no son demasiado peligrosas cuando un material dúctil se somete a esfuerzos estáticos, pero cuando la carga se aplica de forma alternada o repetida, se producen grietas microscópicas que crecen a cada nueva aplicación hasta que la pieza se rompe bruscamente.

2.5.2. Concentración de esfuerzos

El efecto de la concentración de esfuerzos en un material dúctil sometido a cargas repetidas o alternadas es análogo a su efecto sobre un material frágil sometido a carga estática. El efecto puede verse, de un cambio brusco de sección en la distribución de esfuerzos.

En la figura 17, el pequeño orificio circular en la placa rectangular sometida a un esfuerzo uniforme S da lugar a que en la sección transversal que pasa por el centro del orificio, la distribución de esfuerzos sea tal como aparece representada en la ilustración por el área rayada.

Figura 17. Efecto de un cambio brusco de sección circular



Fuente: SINGER, Ferdinand L.; PYTEL, Andrew. *Resistencia de materiales*. p. 421.

Esta distribución viene expresada por:

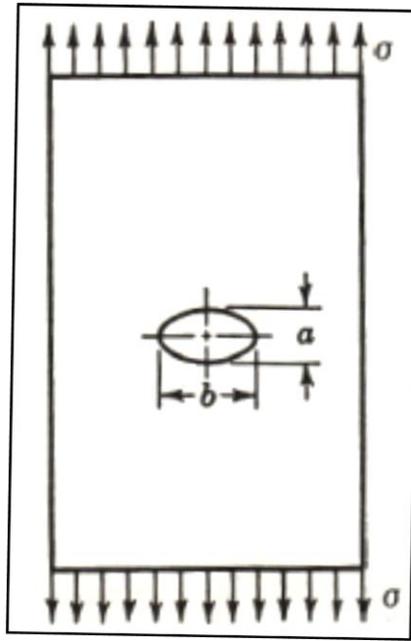
$$\sigma' = \sigma/2 \left(2 + \frac{d^2}{4r^2} \right) + \frac{3}{16} \cdot \frac{d^4}{r^4}$$

Siendo d el diámetro del orificio y r la distancia al centro del mismo.

Un pequeño orificio elíptico como el de la figura 18, da lugar a una distribución del mismo tipo. El esfuerzo máximo, en los bordes del orificio, en los extremos del eje horizontal del mismo, viene dado por:

$$\sigma_{\max} = \sigma/2 \left(1 + \left(2 \frac{b}{a} \right) \right)$$

Figura 18. Efecto de un cambio brusco de sección elíptica



Fuente: SINGER, Ferdinand L.; PYTEL, Andrew. *Resistencia de materiales*. p.421.

El esfuerzo máximo que aumenta con el valor de la relación b/a . por tanto, en un orificio muy estrecho, o una grieta, perpendicular a la dirección del esfuerzo que producirá una alta concentración de esfuerzos y la ruptura local del material, por lo que la grieta tenderá a aumentar; este crecimiento de la grieta se puede evitar efectuando dos orificios de diámetro no demasiado pequeños, en los extremos de aquella, lo que equivale en definitiva a aumentar el radio de curvatura del contorno del orificio en los extremos del eje perpendicular a la dirección del esfuerzo aplicado, y lo cual hace disminuir sensiblemente la concentración de esfuerzos en estos puntos. Los valores de los factores de concentración de esfuerzos, para algunos casos de cambio brusco de sección, aparecen tabulados en el anexo 1.

Llamando k al factor de concentración de esfuerzos, los esfuerzos máximos para cargas axiales, de torsión y de flexión vienen dados por:

$$\sigma = k (P/A), T = k (Tr/J), \sigma_f = k (Mc/I)$$

Los factores de concentración de esfuerzos para cargas repetidas o alternadas son, a veces, aunque no siempre, algo más bajo que los valores teóricos para cargas estáticas; varían también, con el tamaño y características de constitución o estructura interna del material.

2.5.3. Teorías sobre la falla o ruptura

Se han propuesto varias teorías sobre la falla, con el objetivo de predecir, con arreglo al comportamiento del material en los ensayos de tensión o compresión simple, las condiciones en que se producirá la ruptura bajo cualquier tipo de cargas combinadas.

2.5.3.1. Teoría del esfuerzo máximo

La teoría del esfuerzo máximo, propuesta por Rankine, es la más antigua y la más sencilla de todas, se basa en la hipótesis de que la falla tiene lugar cuando el mayor de los esfuerzos principales alcanza un valor límite, que puede ser el punto de fluencia determinado en un ensayo a tensión simple, o el esfuerzo último si el material es frágil.

La teoría no tiene en cuenta el efecto de los otros esfuerzos principales, ni el valor que pueda alcanzar el esfuerzo cortante sobre otros planos distintos de los principales.

2.5.3.2. Teoría de la deformación máxima

De acuerdo con esta teoría, atribuida a Saint Venant, en un material dúctil la fluencia empieza cuando la deformación principal máxima alcanza el valor de la deformación para la que empieza la fluencia en el ensayo de tensión simple, o cuando la deformación principal mínima (es decir compresión) alcanza el valor de la deformación en el punto de cedencia del ensayo a compresión simple.

Sin embargo, observando la ley de Hooke, en el caso de un estado triaxial de esfuerzos. En realidad, los resultados de esta teoría no concuerdan en muchos casos con la experiencia.

2.5.3.3. Teoría del esfuerzo cortante máximo

También se llama teoría de Guest, y supone que la cedencia aparece cuando el esfuerzo cortante máximo alcanza el valor del esfuerzo cortante máximo correspondiente al ensayo de tensión simple en el punto de cedencia. Como el esfuerzo cortante máximo es igual a la semidiferencia de los esfuerzos principales, la condición para la ruptura es:

$$\tau_{\max} = \frac{1}{2} (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) = \frac{1}{2} \sigma_{pc}$$

2.5.3.4. Teoría de la cedencia de Von Mises

Conocida también, como teoría de la distorsión máxima, supone que la cedencia puede ocurrir, en un estado general triaxial de esfuerzos, cuando la media cuadrática de las diferencias entre los esfuerzos principales es igual al mismo valor en un ensayo a tensión simple.

Los resultados experimentales indican que, de todas las teorías sobre la ruptura, en los materiales dúctiles la que da resultados más adaptados a realidad es la teoría de la distorsión máxima de von Mises; y en segundo lugar, la teoría del esfuerzo cortante máximo. En materiales frágiles, como la fundición, se prefiere en general, la teoría del esfuerzo principal máximo.

2.5.4. Métodos de la energía

Igualando el trabajo exterior realizado por las fuerzas aplicadas a un sólido elástico (durante la deformación de éste) a la energía interna almacenada en el mismo, se obtiene un método de determinación de deformaciones totales, cuyo fundamento es el principio de conservación de la energía.

Este método, es sumamente útil y tiene numerosas aplicaciones. Se comienza por obtener las expresiones de la energía elástica de deformación U almacenada en un cuerpo bajo la acción de diferentes tipos de esfuerzos.

2.5.4.1. Carga axial

Cuando se aplica gradualmente una carga axial a una barra de sección constante, la carga P va aumentando desde cero hasta su valor final, en el que se alcanza la deformación total δ . Se supone que, en todo momento, la fuerza exterior está equilibrada por las fuerzas internas en la barra. El trabajo realizado por la fuerza P aplicada, y almacenado en el sólido en forma de energía elástica de deformación, es el producto del valor medio de la fuerza $\frac{1}{2} P$, por su desplazamiento $\delta = PL / AE$. Por tanto:

$$U = \frac{1}{2} (P^2L / AE)$$

Si la sección de la barra es variable, puede aplicarse esta fórmula a cada segmento diferencial de longitud dx e integrar a lo largo de la barra, obteniéndose:

$$U = \int_{(L,0)} \frac{1}{2} (P^2 / AE) dx$$

2.5.4.2. Carga de torsión

Una barra de sección circular constante, la energía almacenada es igual al producto del valor medio del momento torsionante, desde cero hasta T , por el ángulo total de torsión, es decir:

$$U = \frac{1}{2} T\theta = \frac{1}{2} T (TL / JG) = \frac{1}{2} (T^2L / JG)$$

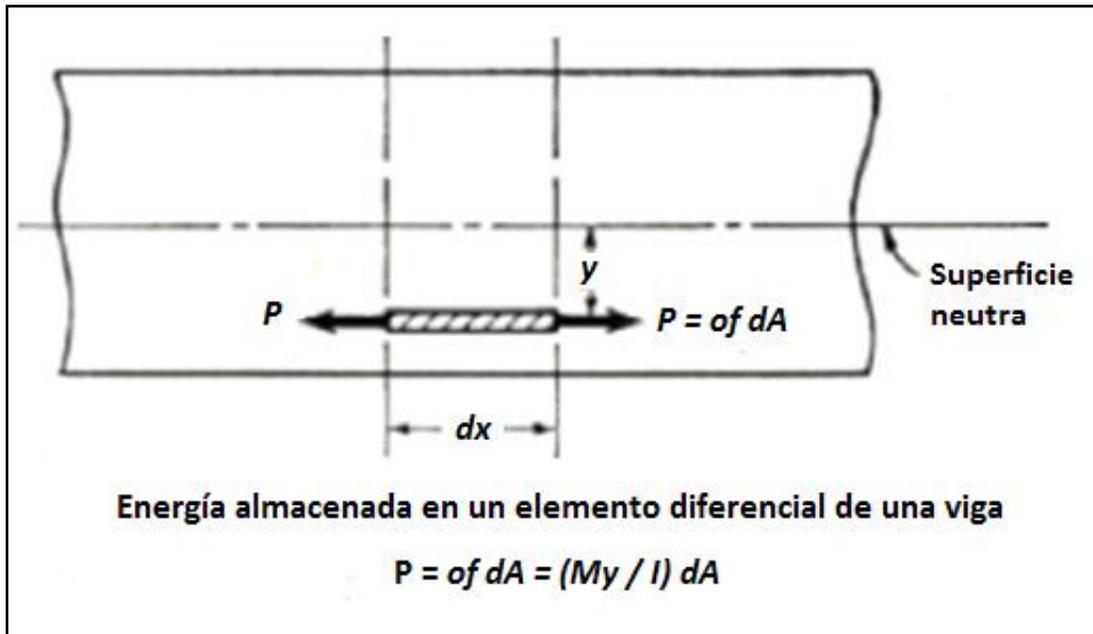
Si el momento de torsor es variable, o lo es el diámetro de la sección, se puede aplicar esta fórmula a cada segmento diferencial de la longitud dx e integrar a lo largo de la barra, obteniéndose:

$$U = \int_{(L,0)} (T^2 / 2JG) dx$$

2.5.4.3. Carga de flexión

Considerando un segmento de una viga cualquiera, aislado mediante dos secciones transversales a la distancia dx , como se indica en la figura 19.

Figura 19. **Energía almacenada en un elemento diferencial de una viga**



Fuente: SINGER, Ferdinand L.; PYTEL, Andrew. *Resistencia de materiales*. p. 427.

Un elemento de sección dA dentro de este segmento, se puede considerar como una pequeña barra diferencial cargada axialmente, donde $P = \sigma_f dA = (My / I) dA$, con lo que la energía de deformación almacenada en él viene dada por:

$$[U = (P^2L) / (2AE)] \quad (P^2 / 2AE) dx = (M^2 / 2EI^2) dx * y^2 dA$$

Extendiendo este resultado a toda la sección recta de la viga, se obtiene la energía de deformación almacenada en el segmento de viga de longitud dx , y cuyo valor es:

$$dU = (M^2/2EI^2) dx \int y^2dA = (M^2 / 2EI) dx$$

y para la longitud total de la viga:

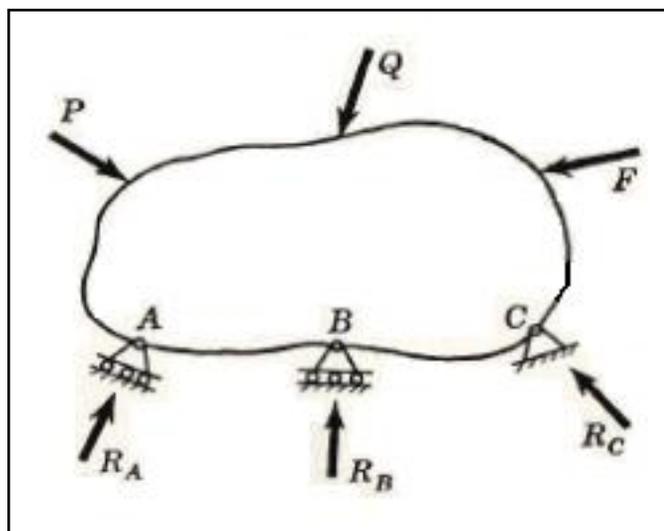
$$U = \int (M^2 / 2EI) dx$$

2.5.4.4. Desplazamientos

En lugar de igualar directamente el trabajo de las fuerzas exteriores a las expresiones de la energía de deformación, el problema de hallar los desplazamientos se simplifica considerablemente, aplicando el teorema de Castigliano, o el método del trabajo virtual.

El teorema de Castigliano establece que el desplazamiento del punto de aplicación de una fuerza exterior, en su dirección, es igual a la derivada parcial de la energía elástica de deformación con respecto a esta fuerza. Para demostrarlo, se va a considerar el sólido elástico de la figura 20, articulado en C y apoyado sobre rodillos en A y B.

Figura 20. **Sólido elástico articulado y apoyado, sometido a varias fuerzas**



Fuente: SINGER, Ferdinand L.; PYTEL, Andrew. *Resistencia de materiales*. p. 428.

Si se aplican, independientemente las fuerzas P, Q, F, el trabajo realizado por ellas se almacena en el cuerpo en forma de energía elástica de deformación. Se observa que las reacciones no producen trabajo, pues en las articulaciones no se tiene desplazamiento alguno, y en los apoyos libres, como se desplazan sobre el plano de éstos, o sea perpendicularmente a su dirección, tampoco.

La energía de deformación será, entonces, una función de segundo grado de las fuerzas exteriores. Suponiendo ahora, que una de las fuerzas, A, experimenta un pequeño incremento dQ. El incremento correspondiente de la energía de deformación es:

$$dU = (\partial U / \partial P) dP + (\partial U / \partial Q) dQ + (\partial U / \partial F) dF + \dots$$

Para calcular el desplazamiento $\delta = \partial u / \partial Q$, no es preciso hacer la integración para luego derivar; es preferible derivar dentro del signo integral antes de integrar, lo cual puede hacerse, ya que Q no es función de x. Con esto, el desplazamiento de Q en su dirección viene dado por:

$$\delta = \partial U / \partial Q = \int (P \partial P / \partial Q) / AE dx + \int (T \partial T / \partial Q) / JG dx + \int (M \partial M / \partial Q) / EI dx$$

Si en el punto, cuyo desplazamiento se trata de obtener no hay aplicada fuerza alguna, o lo está en dirección distinta de la que interesa, se puede aplicar una fuerza ficticia Q en la dirección en la cual se quiere hallar el desplazamiento, fuerza, que después de derivar, pero antes de integrar, se puede igualar a cero.

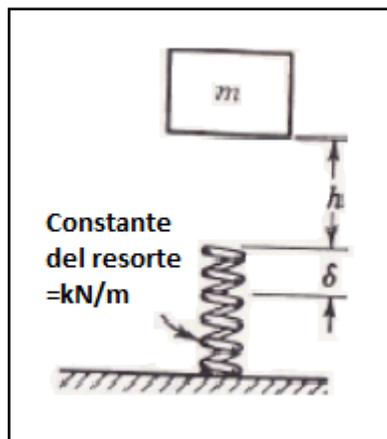
2.5.5. Carga dinámica o de impacto

Las deformaciones producidas en un sólido elástico por el choque de una masa que se mueve con una cierta velocidad en el momento del impacto dan lugar a que el sólido actúe como un resorte, aunque ésta no sea la función para la que se ha diseñado.

Si la constante de resorte equivalente, para una estructura determinada y un determinado punto y dirección del impacto, se define como la carga necesaria para producir una deformación unitaria, en cada caso se puede determinar el valor de dicha constante.

En realidad, no es necesario determinar el valor de la constante del resorte equivalente, De momento, se considerará que el problema del impacto es análogo, en todo caso, al de un cuerpo que cae desde una cierta altura y que es detenido en su movimiento por un resorte, como lo indica la figura 21.

Figura 21. **Constante del resorte y deformación producida por la masa**



Fuente: SINGER, Ferdinand L.; PYTEL, Andrew. *Resistencia de materiales*. Pág. 435.

La masa m tiene velocidad nula en el momento de soltarla, así como en el momento en que el resorte alcanza su máxima deformación dinámica δ . En estas condiciones, la variación de la energía cinética es cero entre estas dos posiciones, por lo que el trabajo total producido por m también es nulo:

$$Mg(h + \delta) - \frac{1}{2} k\delta^2$$

Debido a la aplicación brusca de una carga, la deformación, y como consecuencia los esfuerzos, que son directamente proporcionales a la misma, son el doble de los que produciría la misma carga estática o gradualmente aplicada. La relación entre la máxima deformación dinámica y la deformación estática de un valor que se puede llamar coeficiente de impacto. Se determina fácilmente escribiendo la ecuación en la forma:

$$\delta = \delta_{st} + \delta_{st} \sqrt{1 + 2h / \delta_{st}} = \delta_{st} (1 + \sqrt{1 + 2h / \delta_{st}})$$

Donde el coeficiente de impacto es:

$$\delta / \delta_{st} = 1 + \sqrt{1 + 2h / \delta_{st}}$$

Multiplicando mg por este coeficiente resulta una fuerza equivalente P (equivalente al impacto de mg), que puede emplearse en las fórmulas de carga estática para determinar el esfuerzo o la deformación máxima. O bien, si se prefiere, el esfuerzo producido por la aplicación estática de mg puede multiplicarse por el coeficiente de impacto.

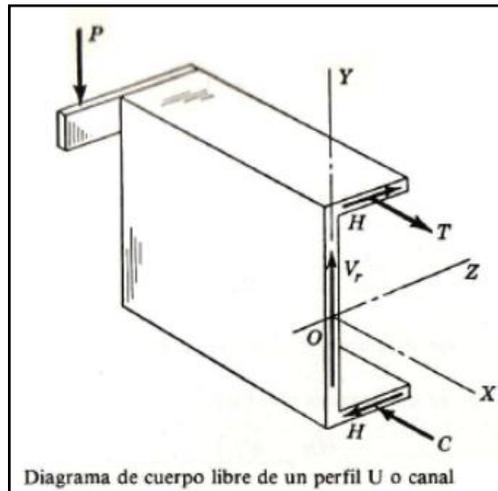
$$\delta_{max} = 1 + \sqrt{1 + 2h / \delta_{st}}$$

2.5.6. Centro de torsión

En cualquier sección de una viga, siempre que no se trate de flexión pura (momento flexionante constante), existen esfuerzos cortantes. Estos esfuerzos dan lugar a una fuerza cortante interna o resistente, cuya resultante ha de ser igual, opuesta y colineal con la fuerza cortante exterior; si esto no ocurre, la flexión vendrá acompañada de torsión de la viga. La flexión sin torsión tiene lugar solamente si la fuerza resultante de las fuerzas cortantes exteriores pasa por el llamado centro de torsión es un punto de la sección recta por el que debe pasar el plano que contiene las fuerzas exteriores (plano longitudinal) que producen la flexión para que la viga se deforme sin torsión.

En el presente caso en particular, el chasis de las cámaras de pintura viene conformado por un perfil U o canal, utilizado como viga en voladizo, cuyo diagrama de cuerpo libre viene representado por la figura 22.

Figura 22. Diagrama de cuerpo libre de un perfil U o canal



Fuente: SINGER, Ferdinand L.; PYTEL, Andrew. *Resistencia de Materiales*. p. 443.

Las fuerzas resistentes consisten en: la fuerza cortante vertical V_r que se supone actúa en el alma, el par resistente M_r formado por las fuerzas de tensión y de compresión T y C (que se han representado actuando en las alas), y las fuerzas cortantes horizontales H en las alas, que son las resultantes de los esfuerzos cortantes.

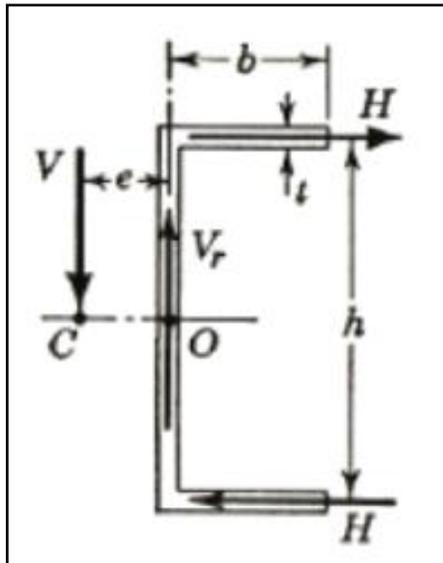
Puede parecer sorprendente, que la carga P no esté aplicada en el Plano longitudinal que pasa por el centro de gravedad de la sección, pero las condiciones de equilibrio demuestran que deben aplicarse tal como se indica la figura 22. De momento veamos cómo se cumplen las seis ecuaciones o condiciones o condiciones de equilibrio estático en el espacio tridimensional.

- $\sum X = 0$: se satisface por el equilibrio entre las fuerzas T y C, iguales y opuestas.
- $\sum Y = 0$: se cumple, porque la fuerza cortante vertical resistente V_r equilibra a la fuerza cortante vertical V producida por P.
- $\sum Z = 0$: se satisface por la igualdad de las fuerzas H, opuestas en las dos alas, superior e inferior.
- $\sum M_y = 0$: se cumple, porque las fuerzas verticales no dan lugar a momento alguno respecto del eje y, los momentos de T y C con respecto a Y son iguales y opuestos, y los producidos por las fuerzas H con respecto a un eje Y que no las corte son también iguales y opuestos.
- $\sum M_z = 0$: se satisface, porque el momento flexionante M es equilibrado por el momento resistente M_r producidos por T y C.

- $\sum M_x = 0$: esta condición ha de cumplirse para que no exista torsión, solamente puede satisfacerse si el momento de la fuerza aplicada con respecto al eje X, equilibra a los momentos de las fuerzas cortantes resistentes desarrolladas en la sección. Eligiendo el eje X, a continuación, se describe de manera que pase por el centro del alma, se elimina el momento de V_r . En dibujo de la sección, representado por las figuras 22 y 23, haciendo cero la suma de momentos con respecto al origen (O) resulta:

$$\sum M_o = 0] \quad V_e = Hh$$

Figura 23. **Corte de un perfil U o canal**



Fuente: SINGER, Ferdinand L.; PYTEL, Andrew. *Resistencia de Materiales*. Pág. 443

El valor de las fuerzas H en las alas es el producto del flujo cortante medio (por ser lineal su variación) por la longitud del ala, se tiene:

$$H = q_{med} * L = (1/2 * Vhtb/2I) b = Bhtb^2/4I$$

Sustituyendo este valor de H en la ecuación:

$$E = Hh/V = h^2b^2t/4I$$

2.5.7. Flexión asimétrica

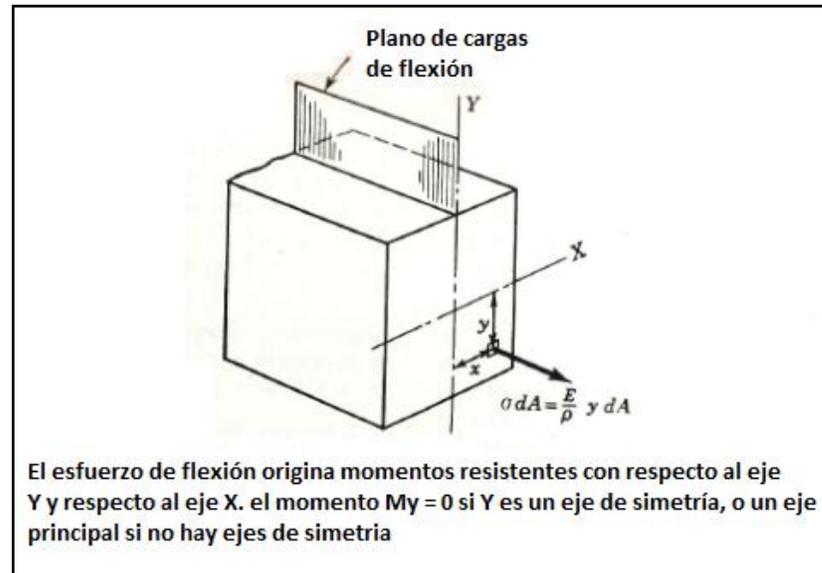
En la teoría de flexión se plantea la hipótesis de que las cargas transversales actúan en un plano longitudinal que pasa por uno de los ejes de simetría de la sección recta en estas condiciones, la línea neutra pasa por el centro de gravedad de la sección y es perpendicular al plano de las cargas.

Se han generalizado la aplicación de las fórmulas de flexión al caso de secciones con un sólo eje de simetría, cargadas de forma que este eje fuera la línea neutra.

En ambos casos, solamente es posible la flexión sin torsión si el plano de las cargas pasa por el centro de cortante, condición que se cumple automáticamente en el primer caso y había de ser satisfecha en el segundo, obteniendo su posición como se ha indicado.

Una última condición que se cumple en estos casos, aunque no se ha hablado de ella, es que el plano de las cargas ha de ser paralelo a uno de los ejes principales de inercia de la sección, o bien, ha de contenerlo. Empezando por el caso en que el plano de las cargas contenga un eje de simetría, tal como el eje Y, en la figura 24.

Figura 24. **Esfuerzo de flexión origina momentos resistentes**



Fuente: SINGER, Ferdinand L.; PYTEL, Andrew. *Resistencia de materiales*. p. 450.

Al deducir la fórmula de la flexión, se aplica la condición de equilibrio estático $\sum M_x = 0$, es decir, el momento flexionante se equilibra con el momento flexionante aplicado se equilibra con el momento resistente producido por los esfuerzos normales, $M_x = \int y (\sigma dA)$.

Si las cargas exteriores actúan en el plano longitudinal que pase por el eje Y, el momento externo M_y es nulo. Sin embargo, la fuerza diferencial σdA que actúa sobre un elemento cualquiera de la sección tiene un momento $x (\sigma dA)$ con respecto al eje Y. Ahora bien, si el eje Y es un eje de simetría, a cada elemento de área le corresponderá otro simétrico, y que producirá un momento $-x (\sigma dA)$ igual y opuesto al anterior, que lo neutraliza. Por tanto, $\int x (\sigma dA)$ será igual a cero.

Para una sección que no tenga ejes de simetría, el momento resultante, con respecto al eje Y, de las fuerzas de flexión es:

$$M_y = \int x (\sigma dA) = \int x (E/\rho y) dA = E/\rho \int xy dA.$$

Que para anularse y que se cumpla la condición $\sum M_y = 0$ exige la anulación de la integral $\int xy dA$. Esta integral es, precisamente, el producto de inercia de la sección P_{xy} , que se anula cuando X y Y son los ejes principales de inercia de la sección.

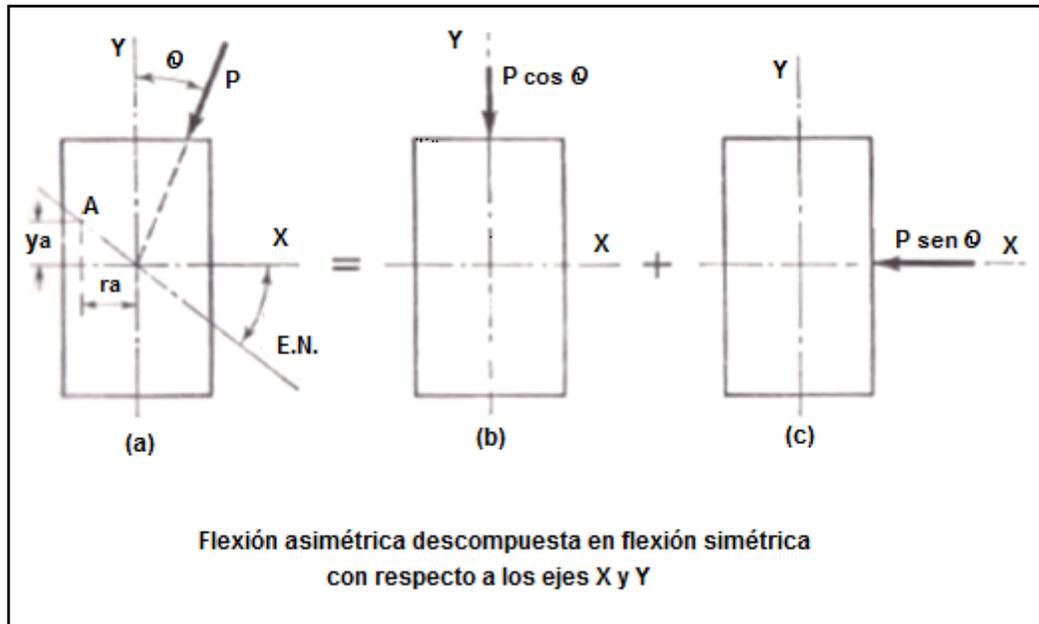
Se deduce, que la fórmula de la flexión sólo puede aplicarse cuando el plano longitudinal en que actúan las cargas es paralelo a uno de los ejes principales de inercia de la sección, o lo contiene. Estos planos se llaman planos principales de flexión.

Después de estas consideraciones se puede examinar el caso de la flexión asimétrica, es decir, cuando las cargas actúan en un plano longitudinal inclinado respecto de los planos principales de flexión.

Estos casos se presentan con frecuencia, en las viguetas o correas de un techado, que se colocan inclinadas según la pendiente de éste y soportan cargas verticales (el peso) que forman un ángulo considerable con los ejes principales de la sección.

En las estructuras, y más aún, en los elementos, las condiciones de deformación o de funcionamiento hacen que muchas veces las cargas actúen inclinadas con respecto a los planos principales de flexión. Se observa en primer lugar, el caso de una sección simétrica que, como se indica en la figura 25, está sometida a cargas inclinadas con respecto a los ejes de simetría.

Figura 25. Flexión asimétrica descompuesta



Fuente: SINGER, Ferdinand L.; PYTEL, Andrew. *Resistencia de materiales*. p. 451.

Sustituyendo la fuerza aplicada por sus componentes verticales y horizontales, se tienen los dos estados de carga inclinados en (b) y (c), cada uno de los cuales puede resolverse directamente aplicando las fórmulas de flexión, y superponer después los resultados obtenidos. En (b), el eje X es la línea neutra, mientras que en (c) lo es el eje Y.

Cada estado de cargas produce esfuerzos de flexión normales a la sección, por lo que el esfuerzo resultante en cada punto es la suma algebraica de los esfuerzos producidos por cada estado de cargas por separado, es decir:

$$\sigma = (M_x y / I_x) + (M_y x / I_y)$$

Siendo M_x el momento flexionante respecto del eje X producido por $P \cos \theta$, y M_y el momento flexionante respecto del eje Y producido por $P \sin \theta$. En función del momento flexionante total M , y para una sola carga, $M_x = M \cos \theta$ y $M_y = M \sin \theta$, de manera que la ecuación se puede escribir en la forma:

$$\sigma = (M \cos \theta) y / I_x + (M \sin \theta) x / I_y$$

En la figura 25, la línea neutra se ha dibujado con una inclinación α respecto del eje X- para determinar su posición, se dispone la condición de que un punto cualquiera A de la misma ha de tener un esfuerzo resultante nulo, ya que la línea neutra es el lugar geométrico de tales puntos.

Tal y como se ha representado la carga, los puntos de esfuerzo nulo han de estar en el segundo y cuarto cuadrantes, ya que solamente en éstos pueden tener signos opuestos los esfuerzos normales de flexión correspondientes a los estados de carga (b) y (c).

En estos dos cuadrantes, las coordenadas x & y tendrán signos más y menos. Dividiendo entre M y despejando y/x resulta:

$$\tan \alpha = I_x / I_y \tan \theta$$

2.6. Consideraciones para la construcción de la suspensión de la cámara de pintura móvil

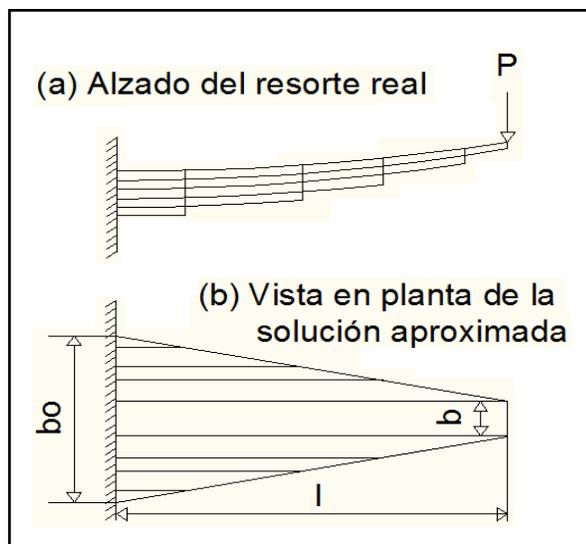
Las consideraciones para la construcción de la suspensión de la cámara de pintura móvil se tienen los principales tópicos en consideración.

2.6.1. Resortes de ballesta

Las tensiones y deformaciones en los resortes de ballestas rectangulares para pequeñas deformaciones la anchura de la sección transversal es grande comparada con el espesor, es necesario multiplicar por $(1 - \mu^2)$ la deformación dada por la ecuación para una viga estrecha donde μ es el modulo de Poisson. Los resortes de hojas múltiples se emplean mucho, especialmente en ferrocarriles y automóviles.

El estudio exacto de este tipo de resorte es complicado. Puede obtenerse una solución aproximada si se achaflanan las hojas más cortas en la totalidad de su longitud al curvarse. Si se cumplen estas condiciones la curvatura y, por lo tanto, la tensión, puede obtenerse sustituyendo el resorte real indicado en la figura 26(a) por el trapecio de la figura 26(b).

Figura 26. **Resorte de ballesta sustituido por un trapecio**



Fuente: SPOTTS, M.F. *Proyecto de elementos de máquinas*. p. 214.

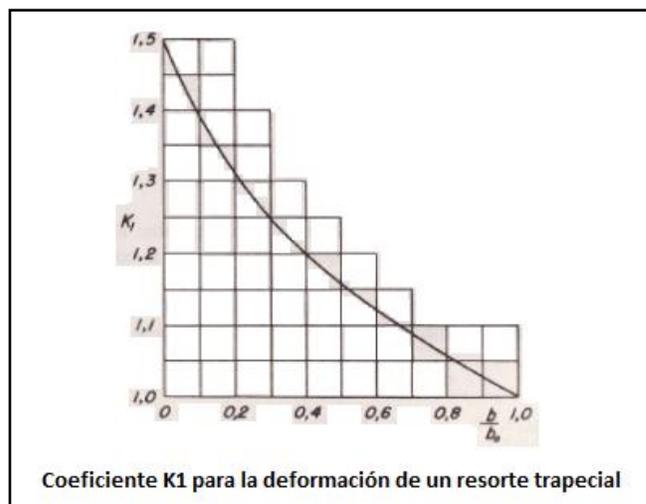
Para formar éste, se supone que cada una de las hojas más cortas se ha cortado a lo largo de su centro, que cada mitad se ha situado a cada lado de la hoja inmediatamente superior y que después se han soldado todos los bordes. La anchura b_0 en el apoyo es igual a la anchura de cada hoja multiplicada por el número de éstas.

Cuando el trapecio se curva bajo la carga, las hojas a cada lado de un borde soldado tienen la misma deformación y curvatura y por lo tanto la misma tensión. Para flechas pequeñas, la ecuación para el trapecio en voladizo con una carga en el extremo es la siguiente:

$$\delta = K_1 \frac{P l^3}{3 E I_0}$$

El factor K_1 depende de la relación de las anchuras b/b_0 y viene dado por curva de la figura 27.

Figura 27. **Coefficiente K_1 para la deformación de un resorte trapecial**



Fuente: SPOTTS, M.F. *Proyecto de elementos de máquinas*. p. 215.

El momento de inercia lo corresponde a la sección de la pared y vale $boh^3/12$ donde h es el espesor de la hoja. Si b es grande en comparación con h ha de tenerse en cuenta la observación anterior respecto a la deformación de las vigas anchas. Los resortes de hojas tienen frecuentemente un orificio a través de todas éstas para el perno de sujeción. Esta reducción de superficie juntamente con la concentración de tensiones se produce, usualmente, en el punto de máxima tensión por flexión y es frecuentemente, la causa de la rotura por fatiga. Otro efecto perjudicial se debe a la presión de enganche utilizada al montar el resorte.

Esta compresión también se produce usualmente en el punto de máxima tensión por flexión y produce una reducción de la resistencia a la fatiga. En la tabla XVII se da una lista de materiales adecuados para resortes de ballesta. Las observaciones anteriores, respecto al estado de la superficie y la capa descarburizada en la misma se aplican también, a los muelles de ballesta. Si se producen curvaturas bruscas en la región de tensiones elevadas debe tenerse en cuenta la concentración, particularmente para cargas no fijas.

Tabla XVII. **Resistencia a la tracción en Kg/cm², de los aceros con tratamiento térmico para resortes formados en caliente**

Temperatura de estirado °C	Acero al carbono 1095		Acero al cromo-vanadio 6150		Acero al cromo-níquel molibdeno 8660		Silicio-Manganeso 9262	
	Rotura	Fluencia	Rotura	Fluencia	Rotura	Fluencia	Rotura	Fluencia
450	942	633	1083	998	1012	949	1195	1040
510	928	591	977	907	935	837	1055	893
565	907	527	886	830	844	738	928	766
620	745	450	795	745	738	633	823	675

Fuente: SPOTTS, M.F. *Proyecto de elementos de máquinas*. p. 199.

2.6.2. Suspensiones traseras

La reacción contra el par motor del puente trasero y el empuje impulsor para el bastidor de automóvil es proporcionada generalmente, por las ballestas traseras semielípticas de varias hojas, las cuales juntas universales en cada uno de los extremos del eje propulsor. Esto se conoce por transmisión Hotchkiss, para distinguirla de la transmisión con un tubo que encierra el eje motor empleada en algunos automóviles.

Dichas ballestas o resortes son de 1,2 a 1,8 metros de largo, con un modulo del resorte (o sea, fuerza necesaria para aumentar en una unidad de longitud de flecha del resorte) de 16 a 25 Kg por cm de incremento de la flecha. Con la innovación en 1958, de resortes neumáticos o de aire, ofrecida como equipo en varios automóviles, se ha manifestado una tendencia hacia el empleo de resortes helicoidales en la parte de atrás, los cuales pueden sustituirse por resortes neumáticos sin grandes modificaciones de diseño, y de varillas y horquillas radiales adecuadas para tomar el empuje impulsor, a menos que se use una transmisión con tubo que encierre el eje motor.

2.6.3. Suspensiones de las ruedas delanteras

Casi en todos los automóviles se emplean suspensiones independientes de las ruedas delanteras, con el pivote de dirección (de la rueda) portado por un vástago que va entre dos de los extremos de una horquilla formada por dos bielas que tienen los otros dos articulados sobre los pivotes del bastidor del automóvil, como se muestra en la figura 28.

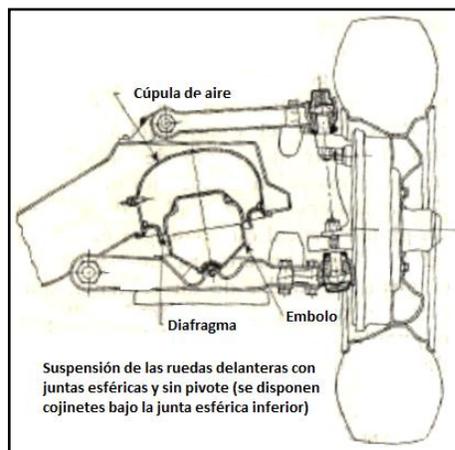
Figura 28. **Suspensión de las ruedas delanteras**



Fuente: MARKS, Lionel S.; BAUMEISTER, Theodore. *Manual del ingeniero mecánico de Marks*. p. 1592.

La suspensión de las ruedas también puede ser, directamente sostenido entre las dos bielas por medio de juntas esféricas como se muestra en la figura 29.

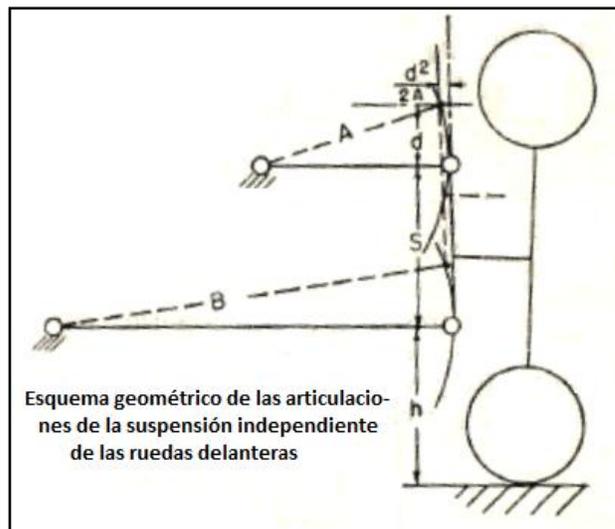
Figura 29. **Suspensión de las ruedas delanteras con juntas esféricas y sin pivote**



Fuente: MARKS, Lionel S.; BAUMEISTER, Theodore. *Manual del ingeniero mecánico de Marks*. p. 1592.

La biela superior es más corta que la inferior para permitir la deformación de los resortes sin que la llanta se mueva lateralmente en el punto que hace contacto con el terreno. Si el vástago de dirección de la figura 30 se levanta una magnitud d , su extremo superior se desplaza lateralmente, o sea, hacia el automóvil, la cantidad $d^2/2A$, y el inferior, $d^2/2B$.

Figura 30. **Esquema geométrico de las articulaciones de la suspensión independiente de las ruedas delanteras**



Fuente: MARKS, Lionel S.; BAUMEISTER, Theodore. *Manual del ingeniero mecánico de Marks*. p. 1592.

Para que el punto de este vástago, situado en su prolongación hasta el punto de contacto de la llanta y la carretera, no tenga movimiento lateral, debe verificarse, $hB = (h+s) A$, o sea, $h / (h+s) = A/B$. Una modificación de la suspensión corriente, indicada en la figura 31, hecha posible por juntas o articulaciones esféricas o de rótula, consiste en inclinar las bielas superiores con descenso hacia atrás, de modo que se le dé más inclinación hacia atrás al vástago de dirección cuando los resortes frontales estén comprimidos.

Esta disposición geométrica hace que el momento producido al frenar las ruedas delanteras desarrolle un par sobre las bielas inclinadas que tiende a levantar el frente del bastidor del automóvil. Haciendo que las piezas tengan proporciones adecuadas, es posible por este medio, reducir la picada del automóvil, o descenso en su frente, cuando se aplican los frenos.

2.7. Diseños estructurales de cámaras fija y móvil

Para la construcción de cámaras fijas y móviles de pintura, se consideraran los criterios de diseño estructurales que a continuación se describirán

2.7.1. Criterios de diseño del marco

El marco de las cámaras fijas y móviles se realizará con 4 postes auto portantes, de dos materiales, que son para el interior lámina de acero inoxidable 302, calibre 24 (0,61 mm) y para el exterior lámina de acero 1020, calibre 24 (0,61 mm). Dichos postes estarán conformados por dobleces y unidos a través de tornillos de acero inoxidable para lámina; para evitar corrosión galvánica entre los dos materiales, tendrán una arandela de neopreno.

El interior de los postes, serán forrados de fibra de vidrio para evitar la transmisión de frío y/o calor en el interior de las cámaras de pintura. Los postes estarán colocados en la superficie, con una base soporte de acero, que se fijara al suelo con tarugos de expansión, a la cimentación del taller si es una cámara fija o a la plataforma del chasis si es una cámara móvil.

La base soporte se realizará de lámina de acero 1020, calibre 1/8 de pulgada (3,17 mm). Los postes serán fijados a la platina soporte a través de

ganchos metálicos. La base soporte, estará encima de una franja de neopreno de 3 mm de grueso por el área de la platina, el neopreno servirá de un aislante de la superficie donde descansarán los postes para evitar corrosión; el neopreno también servirá, como aislante de vibraciones.

El neopreno se utilizará adentro de la base soporte, para aislar el poste de la base soporte, con dos objetivos principales; el primero es aumentar el coeficiente de fricción entre la base soporte y el poste para que así no se puedan resbalar entre; el otro objetivo es evitar corrosión galvánica entre el acero inoxidable 302 y el acero 1020.

2.7.2. Criterios de diseño de los muros, puertas, techo y piso

Los muros, puertas y techos de las cámaras fijas y móviles se realizarán con paneles de dos materiales, que son para el interior lámina de acero inoxidable 302, calibre 24 (0,61 mm) y para el exterior lámina de acero 1020, calibre 24 (0,61 mm). Los muros estarán colocados en la superficie, con un canal de soporte que se fijará al suelo con tarugos de expansión a la cimentación del taller si es una cámara fija o la plataforma del chasis si es una cámara móvil. El canal soporte se realizará de lámina de acero 1020, calibre 1/8 de pulgada (3,17 mm). Los muros serán fijados al canal soporte a través de ganchos metálicos.

Los muros estarán conformados de paneles con dobleces y unidos a través de tornillos de acero inoxidable para lámina; para evitar corrosión galvánica entre los dos materiales, tendrán una arandela de neopreno, el interior de los paneles, serán forrados de fibra de vidrio para evitar la transmisión de frío y/o calor en el interior de las cámaras de pintura.

La fijación de los muros entre los muros de las cámaras de pintura se realizará a través de ganchos metálicos. Las cámaras de pintura tienen una ventana en cada puerta, las ventanas son de vidrios especiales que soportan altas temperaturas.

El techo de las cámaras de pintura está conformado por una estructura o marco interno con tubo cuadrado de acero 1020, de 1 ¼ pulgada por lado, luego se conformaran las láminas de acero 1020 para la parte exterior del techo y acero inoxidable 302 para la parte interior del techo.

Dicha estructura se realizará debido a que la longitud comercial de las planchas de acero es de 2,44 metros. El techo estará reforzado por cargadores de acero inoxidable 302, que se instalarán en los paneles de los muros y unidos a través de de tornillos de acero inoxidable para lámina.

El techo estará fijado a los muros a través de ganchos metálicos. El piso de la cámara fija puede ser como mínimo, una torta de cemento liso. Esto obedece a que puede colocarse en cualquier tipo de suelo, exceptuando arena. El piso de la cámara móvil debe de ser lámina corrugada de tráfico pesado calibre 20 (0,91 mm).

2.7.3. Criterios de diseño de cimentación

La cimentación de concreto armado que debe soportar alrededor de 6 toneladas (incluido el automóvil, estructura de de la cámara de pintura, instalaciones eléctricas y mecánicas de la cámara de pintura, accesorios y usuarios) sobre un área aproximada de 3,70 metros x 7,30 metros. La cimentación de concreto tiene que ser de acuerdo al tipo de suelo en donde será colocada la cámara de pintura.

2.7.4. Criterios de diseño de chasis y suspensión

El chasis y suspensión de la cámara de pintura móvil debe soportar alrededor de 6 toneladas (incluido el automóvil, estructura de de la cámara de pintura, instalaciones eléctricas y mecánicas de la cámara de pintura, accesorios y usuarios) sobre un área aproximada de 3.70 metros x 7.30 metros.

La cámara de pintura móvil se puede realizar sobre la plataforma de un camión para 6 toneladas.

3. DISEÑO DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE Y PROTECCIÓN AMBIENTAL

El diseño de acondicionamiento de aire y protección ambiental tiene por objetivo proteger a los usuarios de las cámaras de pintura y protección del ambiente de los siguientes contaminantes del área de trabajo, como:

- **Polvos:** son creados cuando los materiales se quiebran y se convierten en finas partículas que flotan en el aire antes de caer por gravedad. Los polvos vienen de muchas fuentes, incluyendo moliendas, lijado, taladrado, triturado y rectificado.
- **Neblinas:** las neblinas se crean cuando los líquidos son atomizados o rociados, entre más pequeñas sean las gotas, durarán más tiempo suspendidas en el aire. Cuando se aplica la pintura en spray, los líquidos se convierten en neblina que no se adhieren o alcanzan totalmente el objeto que se haya rociado. Las pequeñas gotas flotantes remanentes pueden ser inhaladas por trabajadores.
- **Humos:** son pequeñas partículas producidas cuando los materiales sólidos como los metales son evaporados por, efecto del calor. Las partículas de humo son formadas cuando el material se enfría, se condensa y son transportados por las corrientes de aire. Los humos metálicos pueden provenir de operaciones de soldadura, esmerilado vaciado de materiales fundidos.

- Gases: los gases son sustancias que no son líquidas, ni sólidas a temperaturas y presión ambientales.
- Vapores: son creados cuando los líquidos se evaporan o sólidos se evaporan generalmente por calentamiento. La gasolina y el thinner son ejemplos de líquidos que se evaporan fácilmente. Algunos disolventes son volátiles otros son inflamables.

3.1. Confort

Se considera *confort* la cantidad de calor generada y disipada por el cuerpo humano, varía de manera considerable en función de la actividad y la edad, así como de la talla corporal y el género de la persona. El cuerpo humano posee un complejo sistema de regulación que funciona para mantener la temperatura interna a unos 98,6 °F (36,9 °C), independientemente de las condiciones ambientales. Por lo general, una persona normal y sana se siente más cómoda cuando el ambiente se mantiene en condiciones en las que el cuerpo puede conservar fácilmente el balance térmico con su entorno. La Norma 55 de ASHRAE, especifica las condiciones ambientales que satisfacen a 80 por ciento, o más, de los ocupantes de un recinto.

Los factores ambientales que afectan el balance térmico de una persona y que, por lo tanto, influyen en el confort térmico son: la temperatura de bulbo seco del aire circundante; la humedad del aire circundante; la velocidad relativa del aire circundante y la temperatura de toda superficie que incida directamente sobre cualquier parte del cuerpo y de esta manera puedan intercambiar radiación. Además, las variables personales que influyen en el confort son la actividad física y la vestimenta.

La energía generada por el metabolismo de una persona varía de manera considerable en función de la actividad que ésta realiza. Existe una unidad que expresa el índice metabólico por unidad de superficie corporal, a la cual se denomina *met*, definida como el índice metabólico (consumo calórico) de una persona en actitud sedentaria (sentada inmóvil). De acuerdo con esto, 1 met = 18,4 Btu/(hr-ft²) ó 58,2 W/m².

En la tabla XVIII se muestra la condición metabólica de calor típica para algunas actividades. Se parte del supuesto de que el adulto promedio posee una superficie corporal – en donde ocurren los procesos de transferencia de calor – de unos 19,6 ft². Por lo que disipará aproximadamente 360 Btu/hr (106 W) cuando esté sentado e inmóvil

Tabla XVIII. **Generación típica de calor metabólico para diferentes actividades**

Generación típica de calor metabólico para diferentes actividades		
Actividad	Btu/(hr-ft²)	Met
Descansar	13	0.7
Dormir	15	0.8
Estar reclinado	18	1.0
Sentado tranquilo	22	1.2
Parado relajado		
Caminar (sobre terreno plano)	37	2.0
0.89 m/s	48	2.6
1.34 m/s	70	3.8
1.79 m/s		

Continuación de la tabla XVIII.

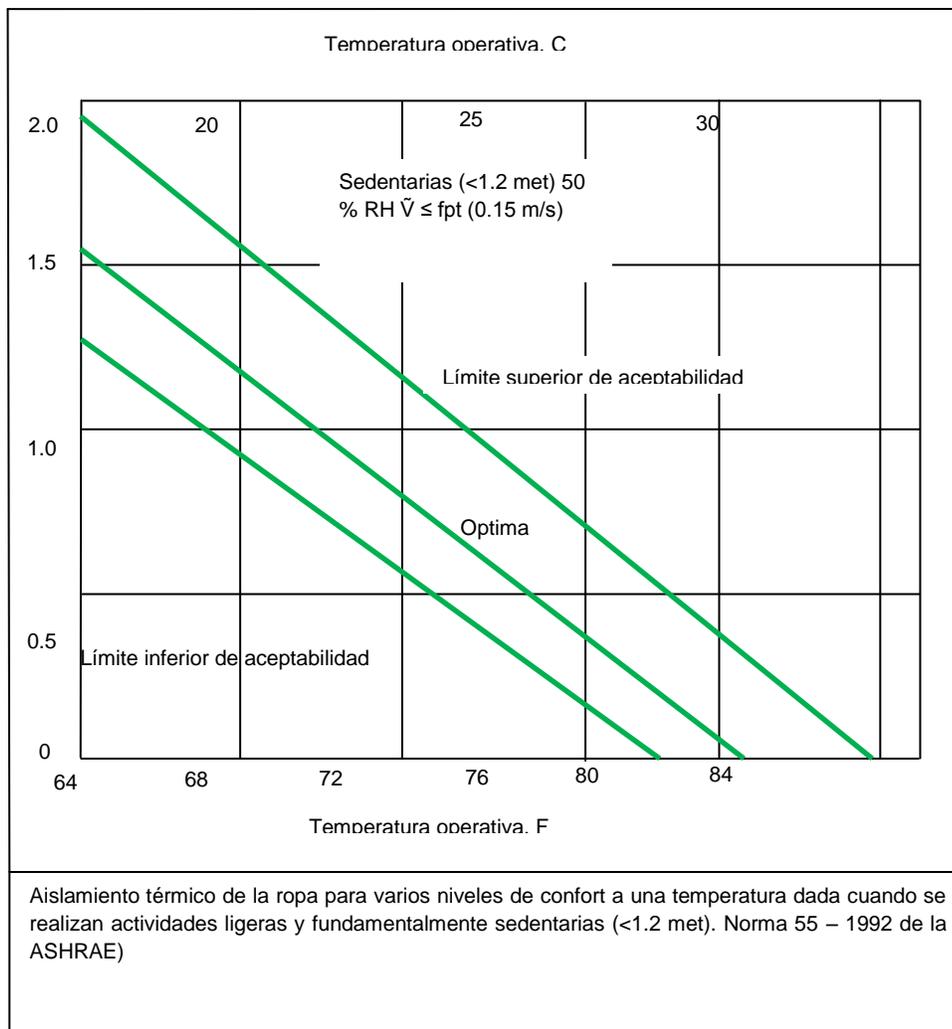
Generación típica de calor metabólico para diferentes actividades		
Actividad	Btu/(hr-ft²)	Met
Actividades de oficina	18	1.0
Leer sentado	18	1.0
Escribir a mano	20	1.1
Escribir en teclado	22	1.2
Archivar sentado	26	1.4
Archivar de pie	31	1.7
Caminar	39	2.1
Levantar/empacar		
Manejar/Pilotear	18 – 37	1.0 – 2.0
Automóvil	22	1.2
Aeronave, rutina	33	1.8
Aeronave, aterrizaje por instrumentos	44	2.4
Aeronave militar	59	3.2
Vehículo pesado		
Actividades de trabajo variadas	29 – 37	1.6 – 2.0
Cocinar	37 – 63	2.0 – 3.4
Limpiar la casa	41	2.2
Estar sentado, moviéndose vigorosamente las extremidades	33	1.8
Trabajar con máquinas de coser	37 – 44	2.0 – 2.4
Trabajo ligero en industria eléctrica	74	4.0
Manejo de bolsas de 50 kg	74 – 88	4.0 – 4.8
Trabajo pesado		
Actividades recreativas variadas	44 – 81	2.4 – 4.4
Bailar en reuniones	55 – 54	3.0 – 4.0
Ejercicios calisténicos	66 – 74	3.6 – 4.0
Tenis, individual	90 – 140	5.0 – 7.6
Basquetbol	130 – 160	7.0 – 8.7
Lucha libre de competencia		

Fuente: McQUISTON, Faye C.; PARKER, Jerald D.; SPITLER, Jeffrey D. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. p. 91.

La otra variable personal que afecta el *comfort* es el tipo y la cantidad de ropa que lleva puesta una persona. Normalmente, para calcular el aislamiento térmico de la vestimenta usualmente se concibe a ésta como el equivalente a una sola capa uniforme que cubre todo el cuerpo.

Su valor de aislamiento se expresa en términos de una unidad denominada clo –las primeras letras de *cloth*– la cual equivale a 0,880 (F - ft²-hr)/Btu [0,155 (m²-C)/W]. En la figura 31 aparecen las temperaturas y los valores de clo correspondientes al confort óptimo y los límites de aceptabilidad de 80 por ciento, tomados de la Norma 55.

Figura 31. **Aislamiento térmico de la ropa para varios niveles de *confort***



Fuente: McQUISTON, Faye C.; PARKER, Jerald D.; SPITLER, Jeffrey D. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. p. 92.

3.2. Índices de *comfort* ambiental

En el punto anterior se señaló que, además de los factores personales, como la vestimenta y la actividad, existen cuatro factores ambientales que afectan el *comfort*:

- Temperatura del aire o temperatura de bulbo seco, es fácil de medir.
- Humedad, puede calcularse, para una presión y una temperatura de bulbo seco determinadas, utilizando algunos términos de psicrometría. Estos términos son: las temperaturas de bulbo húmedo y punto de rocío, las cuales pueden medirse de manera directa, así como la humedad relativa y la tasa de humedad, las cuales deben determinarse de manera indirecta a partir de la medición de variables que pueden medirse directamente.
- Movimiento del aire, puede determinarse a partir de mediciones y hasta cierto punto, o establecido por las teorías de la mecánica de fluidos.
- Radiación, tiene que ver con la cantidad de intercambio radiante entre una persona y su entorno; este factor incluye el factor angular o factor de la configuración de la transferencia de calor radiante.

El índice básico utilizado para describir las condiciones radiantes en un espacio es la temperatura radiante media, que es la temperatura media de las superficies individuales expuestas en ese ambiente.

El instrumento comúnmente, utilizado para determinar la temperatura radiante media es el termómetro de globo de Vernon, el cual consiste en una esfera hueca de 6 pulgadas de diámetro cubierta con una capa de pintura negra no reflejante y un termómetro de termopar en su centro.

La temperatura de equilibrio que indica el globo (la temperatura de globo) es la temperatura resultante del balance de los intercambios de calor convectivo y calor radiante entre el globo y su entorno.

Pueden combinarse las mediciones del termómetro de globo, de la temperatura del aire y de la velocidad del aire para estimar de una manera práctica los valores de la temperatura radiante media, de la siguiente manera:

$$T_{mrt}^4 = T_g^4 + C \tilde{V}^{1/2} (T_g - T_a)$$

T_{mrt}	=	temperatura radiante media, R o K
T_g	=	temperatura de globo, R o K
T_a	=	temperatura del aire ambiental, R o K
\tilde{V}	=	Velocidad del aire, fpm o m/s
C	=	0,103 x 10 ⁹ (unidades inglesas)
	=	0,247 x 10 ⁹ (unidades del sistema Internacional)

Se han desarrollado otros índices para simplificar la descripción de las condiciones térmicas del ambiente y para tomar en cuenta los efectos combinados de dos o más de los factores ambientales que controlan el confort humano: temperatura del aire, humedad, movimiento del aire y radiación térmica.

Estos índices se clasifican en dos categorías, dependiendo de cómo fueron desarrollados: los índices racionales, que dependen de conceptos teóricos ya existentes, y los índices empíricos, que se basan en mediciones con sujetos o en relaciones simplificadas que no necesariamente se apegan a la teoría.

Los índices racionales tienen muy poco uso directo en el diseño, pero constituyen una base a partir de la cual se pueden obtener conclusiones útiles acerca de las condiciones de confort.

La temperatura efectiva (ET^*), considerada como el índice ambiental más común y con la gama más amplia de aplicaciones, es la temperatura de un ambiente con 50 por ciento de humedad relativa que provoca la misma pérdida total de calor desde la piel que la provocaría en un medio real.

Combinada la temperatura y la humedad en un solo índice, de manera que dos ambientes con la misma temperatura efectiva deben producir la misma respuesta térmica aun cuando las temperaturas y las humedades pueden no ser las mismas. La temperatura efectiva depende de la ropa que viste y de la actividad que realiza la persona; por lo tanto, no es posible generar un cuadro general utilizando este parámetro.

Los cálculos de la ET^* son tediosos y generalmente requieren rutinas de computadora. Para ayudar en estos cálculos se han definido una temperatura efectiva estándar (*standard effective temperatura, SET*) para condiciones interiores típicas. Estas condiciones típicas son: aislamiento de ropa = 0,6; índice de permeabilidad de la humedad = 0,4; nivel de actividad metabólica = 1,0 met; velocidad del aire < 20 fpm; temperatura ambiental = temperatura radiante media.

La temperatura operativa es el promedio de la temperatura radiante media y de la temperatura del aire ambiental, ponderado por sus respectivos coeficientes de transferencia de calor. Para aplicaciones prácticas, es la medida de las temperaturas radiantes y de bulbo seco, y a veces se le denomina temperatura de bulbo seco ajustada. La cual se define como la temperatura uniforme de un recinto cerrado imaginario en donde el individuo intercambia la misma cantidad de calor por radiación y por convección que la que intercambiaría un ambiente real.

Ambas, la temperatura efectiva y la temperatura operativa, se utilizan para definir las condiciones de confort en la Norma 55 de la ASHARAE. La temperatura operativa húmeda es la temperatura de un ambiente uniforme con 100 por ciento de humedad relativa en la que una persona pierde, a través de la piel, la misma cantidad de calor que perdería en un ambiente real.

En este caso, se toma en cuenta los tres mecanismos externos de transferencia que utiliza el cuerpo humano para perder calor: radiación y transferencia de masa. Un índice similar es la temperatura equivalente adiabática, que es la temperatura de un ambiente uniforme con 0 por ciento de humedad relativa en que una persona pierde a través de la piel la misma cantidad total de calor que perdería en un ambiente real. Puede observarse que la definición de estos es similar a la de la temperatura efectiva, excepto por las humedades relativas.

El índice de estrés por calor es la relación, entre la pérdida total de calor por evaporación requerida para mantener el equilibrio térmico y la máxima pérdida de calor por evaporación posible de un ambiente, multiplicado por 100, para condiciones de régimen permanente y para una temperatura cutánea que se mantiene estable a 95 °F.

En la tabla XIX se muestran las consecuencias de una exposición de 8 horas a varios niveles del índice de estrés por calor. Excepto por el factor de 100, el grado de humedad de la piel es esencialmente el mismo que en el índice de estrés por calor, que es la proporción entre la sudoración cutánea observada y la máxima sudoración posible en un ambiente definido por la temperatura de la piel, la temperatura del aire, la humedad, el movimiento del aire y la ropa. El nivel de humedad de la piel está más relacionado con una sensación desagradable y de falta de confort que con la sensación de calor.

La temperatura de globo de bulbo húmedo t_{wbg} es el índice de estrés por calor ambiental que combina la temperatura de bulbo seco t_{db} , una temperatura de bulbo húmedo naturalmente ventilado t_{nwb} y la temperatura de globo t_g . Es un parámetro que combina el efecto de los cuatro factores ambientales que afectan el *confort*. La ecuación que define este índice es:

$$T_{wbg} = 0.7t_{nwb} + 0.2t_g + 0.1t_{db}$$

La ecuación anterior es generalmente utilizada cuando la radiación solar es significativa. En ambientes cerrados el índice se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$T_{wbg} = 0.7t_{nwb} + 0.3t_g$$

Las ecuaciones anteriores son válidas para cualquier unidad consistente de temperatura. El índice de enfriamiento del viento (WCI) es un índice empírico utilizado para medir el efecto combinado del viento y la baja temperatura. Para velocidades del viento de menos de 50 mph (80 km/hr), el índice parece expresar de manera confiable la sensación de falta de confort ocasionada por el frío. Un índice derivado del WCI es la temperatura de viento frío equivalente,

que es la temperatura ambiental que, en presencia de aire tranquilo, produce el mismo WCI que la combinación real de la temperatura del aire y la velocidad del viento.

Tabla XIX. **Evaluación del índice de estrés por calor**

Evaluación del índice de estrés por calor	
Índice de estrés por calor	Implicaciones fisiológicas e higiénicas de exposiciones de 8 horas a varios niveles de estrés por calor
0	No hay estrés térmico
10 20 30	De poco a moderado estrés por calor. Si el trabajo requiere mayor actividad, destreza o atención de tipo intelectual, pueden esperarse decrementos, de sutiles a sustanciales, en el desempeño de las personas. En la realización de trabajo físico pesado se espera poco decremento en el rendimiento, a menos que la capacidad de las personas para realizar este tipo de trabajo sin estrés térmico sea marginal
40 50 60	Estrés severo por calor. Puede constituir una amenaza para la salud a menos que las personas sean físicamente aptas. Las personas que no hayan sido previamente aclimatadas requieren de periodos de descanso. Se espera algún decremento en el desempeño cuando se realiza trabajo físico. Es conveniente hacer una selección médica del personal, debido a que estas condiciones no son apropiadas para personas con problemas cardiovasculares o respiratorios, o con dermatitis crónica. Estas condiciones de trabajo también son inapropiadas para actividades que requieren un esfuerzo mental prolongado.
70 80 90	Estrés muy severo por calor. Es de esperarse que solo un pequeño porcentaje de la población sea capaz de trabajar en estas condiciones. Se debe seleccionar al personal: a) por medio de un examen médico y b) haciendo una prueba durante la actividad laboral (después de la aclimatación). Se deben tomar medidas especiales para asegurar la ingestión de agua y sal en cantidades suficientes. En estos casos sería deseable una mejora en las condiciones de trabajo por cualquier medio factible; de no ser así, se puede esperar un deterioro en la salud y un decremento de la eficiencia en el trabajo. Una ligera "indisposición", que en la mayoría de los trabajos no alcanzaría a efectuar el desempeño laboral, podría incapacitar a un trabajador para resistir este nivel de estrés.
100	El máximo nivel de estrés que puede ser tolerado diariamente por hombres jóvenes en buenas condiciones físicas y aclimatados.

Fuente: McQUISTON, Faye C.; PARKER, Jerald D.; SPITLER, Jeffrey D. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. p. 95.

3.3. Condiciones de *comfort*

La Norma 55 de la ASHRAE establece las condiciones requeridas para un ambiente térmico aceptable. La mayoría de los estudios de confort utilizan la escala de sensación térmica de la ASHRAE. Esta escala asigna un valor numérico a las palabras que describen las sensaciones térmicas, de acuerdo a la tabla XX.

Tabla XX. **Escala de sensación térmica**

Escala de sensación térmica	
Caliente	+3
Cálido	+2
Tibio	+1
Neutro	0
Ligeramente fresco	-1
Fresco	-2
Frío	-3

Fuente: McQUISTON, Faye C.; PARKER, Jerald D.; SPITLER, Jeffrey D. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. p. 96.

Se han desarrollado ecuaciones del balance de energía que hacen uso del índice del voto promedio pronosticado (PMV). El índice de PMV predice la respuesta media de un gran grupo de personas de acuerdo con la escala de sensación térmica de la ASHRAE. El PMV puede utilizarse para estimar el porcentaje de insatisfacción pronosticado (PPD). La Norma ISO 7730 incluye listados de computadora para facilitar el cálculo del PMV y del PPD para una amplia gama de parámetros.

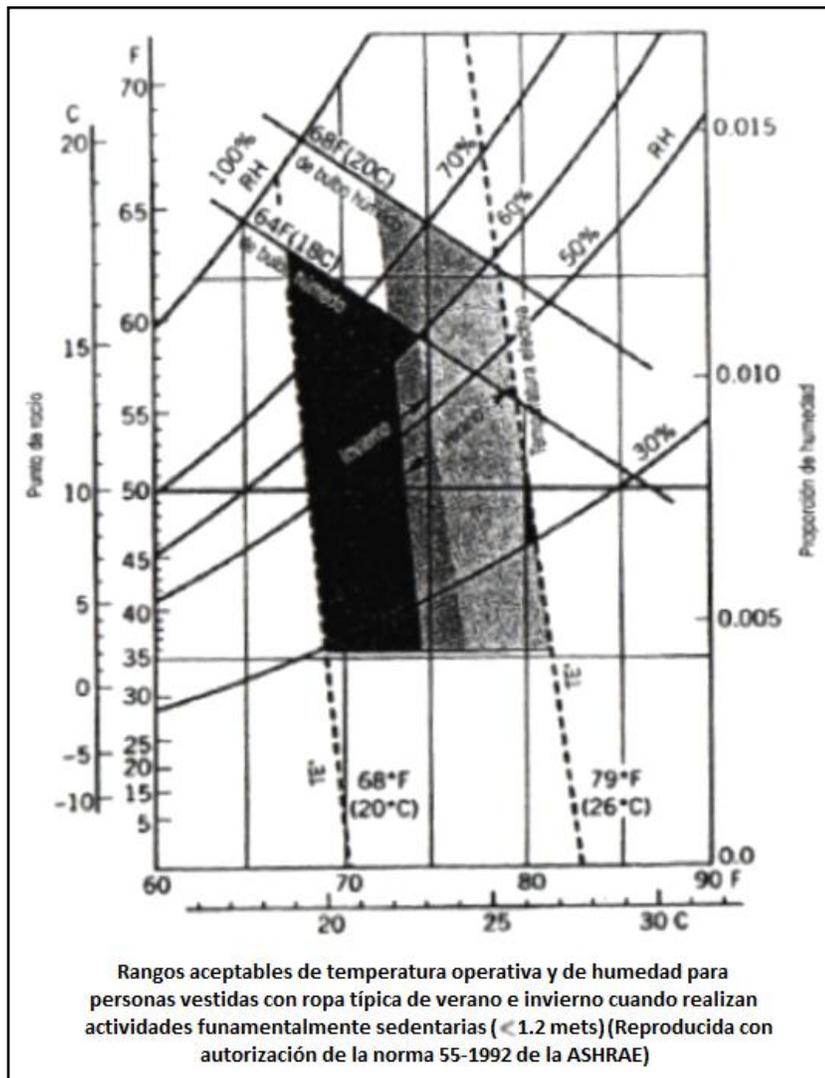
De acuerdo a la figura 32, aparecen los rangos aceptables de temperatura operativa y humedad para personas en ropa típica de verano y de invierno durante la realización de actividades ligeras y principalmente sedentarias (≤ 1.2 mets) los rangos están basados en un criterio de 10 por ciento de insatisfacción. Las coordenadas de las zonas de confort son:

- Invierno: temperatura operativa $t_{o=}$ 68 a 74 °F (20 a 23.5 °C), a 64 °F (18 °C) de bulbo húmedo, y $t_{o=}$ 69 a 76 °F (20.5 a 24.5 °C), con punto de rocío a 36 °F (2 °C) de temperatura efectiva (ET) y son sitios de *confort* o de sensaciones térmicas constantes.
- Verano: Temperatura operativa $t_{o=}$ 73 a 79 °F (22.5 a 26 °C), a 68 °F (20 °C) de bulbo seco, y $t_{o=}$ 74 a 81 °F (23.5 a 27 °C), con punto de rocío a 36 °F (2 °C). Los límites laterales de inclinación de la zona de verano corresponden a las líneas 73 y 79 °F (23 y 26 °C) de temperatura efectiva (ET). Las líneas de bulbo húmedo están basadas en una humedad de aproximadamente 0,20.

Como se muestra en la figura 32, los límites superiores e inferiores de humedad están basados en observaciones respecto a la resequedad de la piel, irritación de los ojos, problemas respiratorios, crecimiento microbiano y otros fenómenos asociados con el exceso o falta de humedad. Para evitar condensación en las superficies y materiales de un edificio se debe controlar la temperatura de los mismos. Como puede verse en la figura 32, las zonas de confort de invierno y verano se traslapan. En esta región, las personas en ropa de verano tienden a sentir una ligera sensación de frescura, mientras que las que llevan ropa de invierno tienen una ligera sensación de calor.

En realidad, los límites mostrados en la figura 32 no deben considerarse como absolutos, puesto que los individuos difieren considerablemente en su forma de reaccionar frente a las mismas condiciones.

Figura 32. Rangos aceptables de temperatura operativa y de humedad



Fuente: McQUISTON, Faye C.; PARKER, Jerald D.; SPITLER, Jeffrey D. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. p. 97.

3.4. Consideraciones de la calidad del aire en el interior

La Norma 62 de la ASHARE establece que el aire interior tiene una calidad aceptable cuando no contiene contaminantes en concentraciones consideradas como dañinas por las autoridades competentes y cuando la mayoría de los ocupantes (80 por ciento o más) expuestos a este ambiente no expresan insatisfacción. Cuando el aire tiene una calidad aceptable, los ocupantes no sólo sienten *comfort*, sino que disfruten de un ambiente libre de olores molestos y de niveles dañinos de contaminantes. Mantener el confort térmico, no sólo es deseable y útil para asegurar un ambiente de trabajo productivo, sino que en muchos casos tiene un efecto directo sobre la salud de los ocupantes del edificio. Además, el *comfort* térmico que proporciona el sistema de acondicionamiento de aire (A.A.), existen otros factores que se relacionan con el mantenimiento de un ambiente interior, limpio, saludable y libre de malos olores.

Con frecuencia estos factores se agrupan bajo el rubro denominado calidad del aire interior (IAQ). Para obtener una buena calidad del aire interior los gases y partículas contaminantes se deben mantener a un nivel aceptable en los recintos. Entre los contaminantes se incluyen dióxido de carbono, monóxido de carbono y otros gases y vapores tóxicos, así como materiales radioactivos, microorganismos patógenos, sustancias alérgicas y partículas suspendidas. La contaminación de los espacios interiores es causada por los ocupantes humanos y animales, la liberación de contaminantes de muebles y accesorios o por los procesos que tienen lugar dentro del recinto y por la introducción de aire contaminado del exterior. Los contaminantes pueden ser percibidos por la vista o por el olfato, como ocurre con las partículas suspendidas grandes y con los olores, pueden detectarse únicamente por medio de instrumentos o por el efecto que causan en los ocupantes.

Síntomas como jaquecas, náusea e irritación de los ojos o la nariz pueden constituir indicios de que la calidad del aire interior de un edificio es insatisfactoria. En ocasiones se dice que los edificios en los que un número inusual de ocupantes tienen problemas, padecen del síndrome del edificio enfermo.

Debido a que cada vez se le da más énfasis al lugar de trabajo que éste debe ser sano y confortable, así como el creciente número de litigios alrededor de este tema, los constructores, propietarios, administradores e ingenieros especializados en A.A. tienen la responsabilidad de estar bien informados y ser técnicamente competentes, así como totalmente éticos con respecto a las acciones que afectan la calidad del aire interior. La buena calidad del aire interior generalmente cuesta dinero, y las presiones para hacer economías tanto en la inversión original como en los costos de operación pueden a veces provocar que se tomen malas decisiones que causan padecimientos a las personas y que haya gastos adicionales aún más altos.

3.5. Contaminantes por el proceso de pintura

Los principales contaminantes por el proceso de pintura son los compuestos orgánicos volátiles, en un ambiente interior típico puede encontrarse una gran variedad de sustancias químicas orgánicas, provenientes de combustión, pesticidas, materiales de construcción y de acabados, agentes limpiadores y solventes, así como de plantas y animales. Por lo general, se encuentran en niveles que están por debajo de las normas recomendadas. Sin embargo, algunos ocupantes de los espacios son hipersensibles a las sustancias químicas, de tal modo que para ellos resultan problemáticos muchos ambientes interiores.

El formaldehído, uno de los gases más comunes de los compuestos orgánicos volátiles (VOC) es irritante para los ojos y las membranas mucosas, causa problemas asmáticos y reacciones inmunoneurológicas, e incluso es considerado como potencialmente cancerígeno.

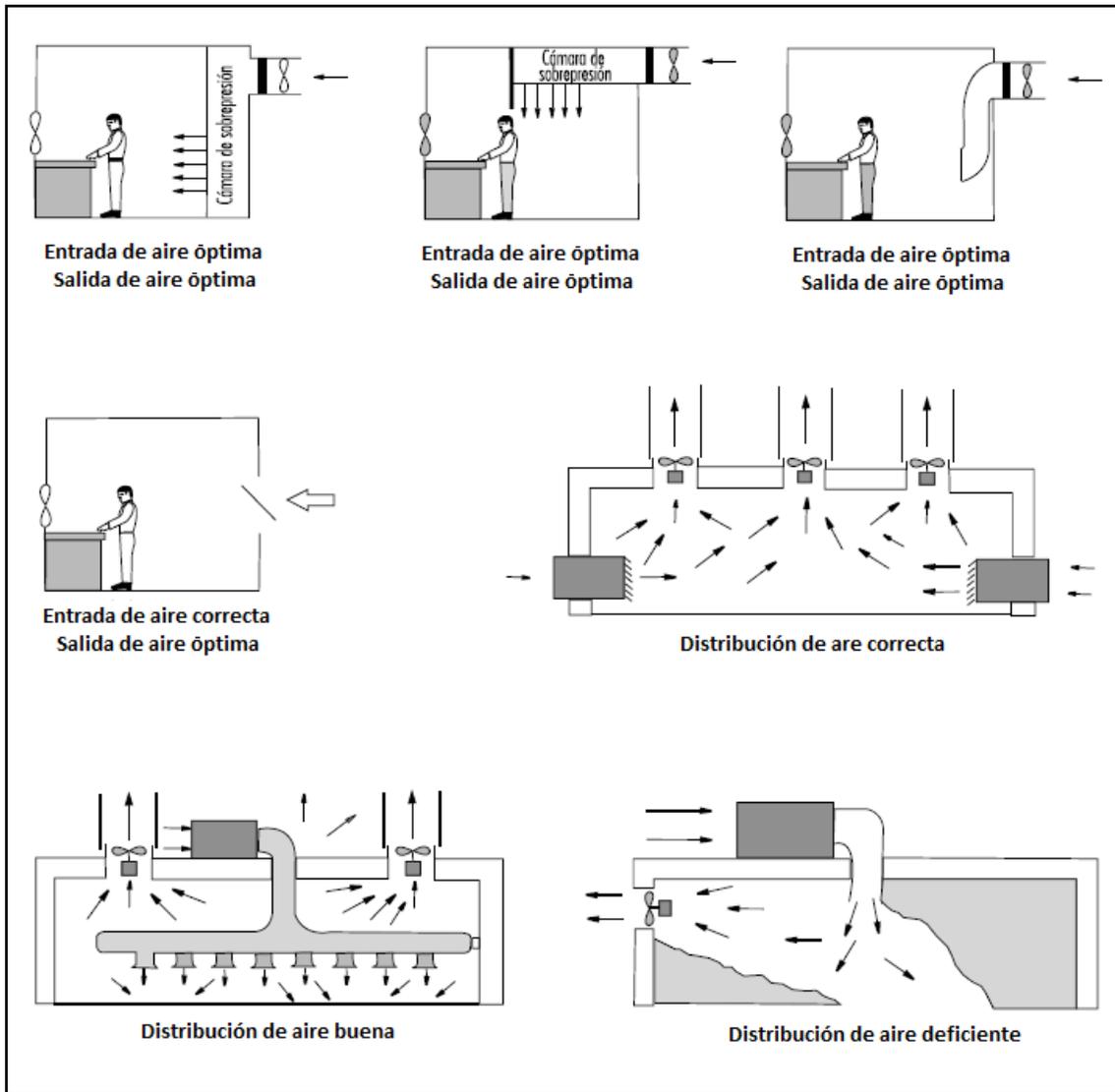
El formaldehído – utilizado en la manufactura de tapetes, cartón comprimido, aislamientos, textiles, productos de papel, cosméticos, champús, y plásticos fenólicos – entra a los edificios principalmente a través de los propios materiales de construcción, los cuales continúan emanando este gas durante largos períodos, principalmente, durante el primer año.

Los límites aceptables están dentro del rango de 1ppm para una estancia de 8 horas en promedio. En edificios habitacionales, parece que 0,1 ppm es el límite superior más prudente.

Partículas suspendidas, una muestra típica de aire ambiental podría contener hollín y humo, sílice, tierra, materia vegetal y animal en descomposición, pelusa, fibras de plantas y partículas metálicas, así como esporas, bacterias, polen y otros materiales vivos.

Las dimensiones de estas partículas van desde menos de 0,01 μ (10^{-8} m) el tamaño de algunas hojas e insectos. En la figura 33 se muestra las entradas y salidas de aire correctas e incorrectas.

Figura 33. Entradas y salidas de aire correctas e incorrectas



Fuente: McQUISTON, Faye C.; PARKER, Jerald D.; SPITLER, Jeffrey D. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. p.125.

La mezcla de las partículas suspendidas en el aire se denomina aerosol. El aire exterior que se introduce aun recinto puede sufrir una contaminación adicional dentro de éste, por las actividades humanas, el mobiliario y equipo, mascotas, etc.

Los organismos infecciosos, microscópicos y macroscópicos, pueden subsistir, e incluso multiplicarse, cuando las condiciones internas son favorables. El humo de tabaco ambiental (ETS) constituye uno de los principales problemas para el mantenimiento de una buena calidad de aire interior, y es objeto de una creciente preocupación debido a que existen evidencias de que contribuye a producir enfermedades pulmonares e incluso cáncer. Los alérgicos, que también, son un problema común en la sociedad moderna, pueden introducirse a los ambientes interiores. Además, algunos ocupantes pueden ser sensibles a ciertas partículas suspendidas provenientes de fibras, motas y polvo de alfombras y ropa de cama.

3.6. Métodos para el control de contaminantes y protección ambiental

Existen cuatro métodos básicos para mantener una buena calidad del aire interior en los edificios o en áreas de trabajo:

- Eliminación o modificación de las fuentes de contaminación
- Uso de aire exterior
- Distribución del aire del espacio
- Limpieza del aire

3.6.1. Eliminación o modificación de las fuentes de contaminantes

De los cuatro métodos básicos enlistados, el método de eliminación o modificación de las fuentes es el más efectivo para reducir los contaminantes no generados directamente por los ocupantes humanos o por las actividades que es necesario hacer dentro del espacio.

En el diseño de edificios nuevos o en remodelaciones, este método implica la especificación exacta de que materiales, muebles y equipos pueden introducirse al edificio. En los edificios ya existentes, el método implica la búsqueda y remoción de cualquier contaminante no deseable para las actividades que se realizan en el inmueble.

La eliminación del humo dentro de un inmueble constituye un enfoque aceptable para mejorar la calidad del aire de los edificios, en Guatemala ya existe una ley de la prohibición de fumar en edificios públicos y privados abiertos al público, de acuerdo al Decreto 74 – 2008, Ley anti tabaco en Guatemala, que entro en vigencia el 20 de febrero del 2009.

El almacenamiento de pinturas, solventes, limpiadores, insecticidas y otros compuestos volátiles dentro de un edificio o en algún lugar cercano a las tomas de aire, con frecuencia contribuye al deterioro de la calidad del aire del inmueble o lugar de trabajo. En algunos casos se ha encontrado que es necesaria la remoción de estos materiales para hacer más aceptable el ambiente interior.

3.6.2. Uso de aire exterior

El aire de suministro es el aire que se envía al espacio acondicionado para propósitos de ventilación, calefacción, refrigeración, humidificación o deshumidificación de dicho espacio. El aire de ventilación es la porción del aire de suministro constituida por aire exterior, el cual se mezcla con aire recirculado, a fin de mantener una calidad aceptable del aire interior que previamente ha sido tratado. Los espacios interiores ocupados durante cualquier cantidad de tiempo, requieren la introducción de aire exterior para mantener un ambiente aceptable. Puesto que el aire exterior normalmente debe acondicionarse antes de entrar a un espacio, por razones de economía, se debe utilizar una cantidad mínima de este aire, a fin de cumplir con los requerimientos de calidad del aire.

Dado que los economizadores y los edificios requieren refrigeración durante los meses templados o fríos, es frecuente que se utilice aire exterior para satisfacer la carga de enfriamiento. En algunos casos, la cantidad de aire de ventilación requerida para mantener una buena calidad del aire interior puede ser menor que la cantidad de aire de suministro realmente entregada al espacio acondicionado para mantener el confort. En otras situaciones la tasa mínima de aire de suministro puede ser parte de los requerimientos de ventilación para mantener una calidad aceptable del aire interior.

El aire exterior es aire que se toma de la atmósfera exterior, y que por lo tanto no circuló previamente a través del sistema. Una parte del aire exterior puede entrar al espacio acondicionado por infiltración a través de grietas e intersticios, o a través de los techos, los pisos o las paredes e un espacio o edificio; aunque por lo general, en los edificios provistos de sistemas de

acondicionamiento de aire, la mayor parte del aire exterior entra a los espacios acondicionados a través de las rejillas de ventilación.

Se supone que el aire exterior está libre de contaminantes que pudieran causar incomodidad o daño a las personas, pero esto no siempre es cierto. En algunas localidades en donde existen importantes fuentes de contaminación cercanas a un edificio o puesto de trabajo, el aire que rodea a éste puede no estar libre de los contaminantes objetos de preocupación. En la tabla XXI se muestran la principales normas de calidad del aire ambiental establecidas por la Environmental Protection Agency de Estados Unidos.

Tabla XXI. Principales normas de calidad del aire ambiental

Principales normas de calidad del aire ambiental establecidas por la Environmental Protection Agency de Estados Unidos						
Contaminante	Concentración de larga duración			Concentración de corta duración		
	µg / m ³	ppm	Periodo promedio	µg / m ³	ppm	Periodo promedio
Dióxido de azufre	80	0.03	1 año	365(a)	0.14(a)	24 horas
Partículas (PM10)	50(b)	-----	1 año	150((a)	-----	24 horas
Monóxido de carbono				40000(35(a)	1 hora
Monóxido de carbono				a)	9(a)	8 horas
Oxidantes (ozono)				10000(0.12©	1 hora
Dióxido de nitrógeno	100	0.055	1 año	a)		
Plomo	1.5	-----	3 meses(d)	235©		

(a) No debe estar arriba de los límites más de una vez por año.
 (b) Medida aritmética.
 (c) Se cumple con la norma cuando el número de días por año calendario con concentraciones máximas, promedio por encima de 0.12 ppm (235 µg / m³) es igual o menor que 1.
 (d) El periodo de tres meses es una cuarta parte de año calendario

Fuente: reimpressa con autorización de la norma 62-1989(1) de la ANSI-ASHRAE.

Fuente: McQUISTON, Faye C.; PARKER, Jerald D.; SPITLER, Jeffrey D. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. p. 105.

El aire recirculado es el aire que se retira del espacio acondicionado para ser reutilizado nuevamente como aire de suministro. Difiere del aire de retorno únicamente en el hecho de que parte de este último puede ser expulsado o reemplazado por medio de escapes o ventiladores. El aire de reposición es la porción del aire exterior que se suministra para reemplazar el aire expulsado al aire que se ha fugado por exfiltración. La exfiltración es la fuga de aire hacia el exterior a través de grietas e intersticios y a través de los techos, pisos y paredes de un espacio o edificio.

Se puede eliminar parte del aire de un espacio, expulsándolo directamente por medio de ventiladores extractores. Siempre debe haber un balance entre la cantidad de masa de aire que entra y la cantidad que sale de un espacio, así como entre la masa de aire que entra y que sale del sistema entero de suministro de aire. Igualmente, debe haber un balance entre la masa de cualquier contaminante que entra y sale de un espacio y la masa que entra y sale de todo el sistema de suministro de aire.

3.6.3. Distribución del aire en el espacio

En algunos casos, como cuando existen contaminantes en un edificio industrial, es deseable minimizar el proceso de mezclado del aire dentro de la zona ocupada. Esto puede lograrse hasta cierto grado por medio de la ventilación por desplazamiento, que consiste en suministrar al espacio aire a baja velocidad y a una temperatura ligeramente menor que la temperatura deseada para el recinto, desde rejillas de ventilación ubicadas cerca del nivel del piso. El movimiento del aire es esencialmente vertical en la parte inferior de la zona ocupada y se recirculará encima del espacio ocupado.

En estas circunstancias existe un gradiente vertical de temperaturas en la zona ocupada, y un buen diseño del sistema debe mantener el diferencial de temperatura por debajo de 5 °F (3 °C). En algunas áreas especializadas, como los cuartos de lavado, conviene contar con un flujo flotante unidireccional. En estos casos, el aire puede ser suministrado desde el techo y expulsado a través del piso, o viceversa; o también puede ser suministrado a través de una pared y expulsado a través de una pared opuesta.

En ocasiones se utiliza la ventilación localizada para suministrar calefacción o enfriamiento y/o para remover contaminantes de una estación de servicio o de un área donde exista esta necesidad. En los sistemas de acondicionamiento especializados, las personas que se encuentran en el área ocupada pueden tener cierto control sobre el ambiente local, normalmente esto se logra ajustando el volumen y la dirección del aire de suministro que entra.

Cuando se pueden localizar las fuentes de los contaminantes, los malos olores pueden removerse del espacio acondicionado antes de que se difundan por toda la zona ocupada.

Esto implica controlar el movimiento del aire local por medio de diferenciales de presión, ventiladores de extracción de aire o a través de una cuidadosa ubicación de los difusores del aire de entrada y de las rejillas del aire de retorno. Se debe tener cuidado en el diseño de este método de control, y se debe reconocer que no se puede controlar la dirección del aire únicamente por succión.

Ubicar una rejilla de aire de retorno o un ventilador de extracción de aire cerca de una fuente de contaminación suele ser insuficiente para remover todos los contaminantes antes de que lleguen a algunos de los ocupantes.

3.6.4. Limpieza del aire

En todo edificio se requiere al menos de un poco de aire exterior para suministrar el oxígeno necesario para la respiración y para diluir el dióxido de carbono y otros desechos producidos por los ocupantes. En muchos casos es deseable limpiar o filtrar el aire proveniente del exterior.

La limpieza o filtración del aire recirculado, en combinación con la introducción de aire exterior, la reducción de las fuentes internas y una buena distribución del aire, con frecuencia puede constituir una solución económicamente conveniente para el control de los contaminantes internos del aire. El diseño de un sistema apropiado para la limpieza del aire a menudo constituye la etapa final del proceso para asegurar que un sistema de CVAA proporcione un ambiente interior limpio y saludable.

3.6.4.1. Remoción del gas

El ASHRAE *Handbook*, *HVAC Applications*, publicado en 1995, contiene una explicación detallada del control de los contaminantes gaseosos del aire interior. El Manual *HVAC Systems and Equipment* de la ASHRAE, contiene lo relativo a la limpieza de gases industriales y control de la contaminación del aire. Se puede remover los contaminantes de un torrente de aire por medio de la absorción, la adsorción física, la quimioadsorción, la catálisis y la combustión. En algunos casos, durante estos procesos, también se eliminan algunas partículas suspendidas. Los absorbentes, generalmente se utilizan en sistemas de apoyo a la vida de los vehículos espaciales y submarinos. Se pueden utilizar absorbentes líquidos o sólidos para reducir el dióxido y el monóxido de carbono del aire a carbono, y así devolver el oxígeno al espacio acondicionado.

Los lavadores de aire, cuyo propósito puede ser controlar la temperatura y humedad dentro de los edificios, no sólo remueven los contaminantes gaseosos del torrente de aire por medio de la absorción, sino que también, pueden remover partículas suspendidas. Los gases contaminantes son absorbidos por los líquidos cuando la presión parcial del contaminante en el torrente es mayor que la presión del vapor de la solución, con o sin aditivo para ese contaminante. Aun cuando el agua en ocasiones mejorada por la adición de reactivos químicos – es el líquido de uso más común en el proceso de lavado, se pueden utilizar otros líquidos.

Los cuales deben mantenerse con una concentración de contaminantes suficientemente baja como para que no se transfieran olores indeseables al aire. Para evitar ese problema, se debe agregar continuamente líquido nuevo o renovado. Por lo general, se deben mover grandes cantidades de aire a través del agua sin que ocurra una excesiva caída de presión del torrente de aire. La adsorción es la adhesión de las moléculas a la superficie de un sólido (el absorbente), en contraste con la absorción, en la que las moléculas se introducen dentro de la sustancia. Los buenos adsorbentes deben tener grandes áreas superficiales expuestas al gas que está siendo adsorbido, así que éstos generalmente, tienen una superficie porosa.

El carbón activado es el absorbente más utilizado, debido a sus propiedades de adsorbencia superiores. Es el menos efectivo con los gases ligeros como el amoníaco y el etileno, y es el más efectivo con los gases que tienen una baja masa molecular. El carbón puede impregnarse con otras sustancias para permitir un mejor acomodamiento de los gases químicamente activos.

La quimioadsorción es similar de muchas maneras a la adsorción física, pero en este caso, la adhesión de las sustancias a la superficie del quimioadsorbente no es un fenómeno físico sino una reacción química, así que solo ciertos compuestos contaminantes reaccionan con determinados quimioadsorbentes.

En contraste con la adsorción física, la quimioadsorción mejora cuando aumenta la temperatura, cuando éste no genera calor (por el contrario, puede absorberlo), cuando generalmente es irreversible, le favorece la presencia de vapor de agua, y cuando constituye un fenómeno de capa molecular.

La catálisis está muy relacionada con la quimioadsorción, ya que en este caso las reacciones químicas también ocurren en la superficie; sin embargo, los contaminantes gaseosos no reaccionan estequiométricamente con el catalizador. Debido a que el catalizador no se consume cuando tiene lugar las reacciones químicas, este método de purificación del aire tiene una vida potencial mucho mayor que el que utiliza adsorbedores o quimioadsorbedores.

Las reacciones químicas pueden provocar la disociación del contaminante en moléculas más pequeñas o la combinación del gas contaminante con el oxígeno disponible en el torrente de aire o con alguna sustancia química suministrada específicamente para este propósito. Parece que sólo algunos catalizadores son efectivos para la purificación del aire a temperaturas ambientales.

La combustión catalítica permite la quema de gases indeseables a temperaturas más bajas que con una combustión simple, y ésta es la razón por la que se utiliza ampliamente en los escapes de los automóviles, para reducir la contaminación del aire en las ciudades.

En algunos casos son los malos olores, más que la salud, lo que preocupa; o también puede ocurrir que estos malos olores persistan aun después de que se han reducido a niveles aceptables todos los contaminantes conocidos. En tales casos el enmascaramiento de los olores o la neutralización de éstos pueden constituir el último recurso. Esto puede lograrse introduciendo olores agradables para disimular los olores ofensivos o mezclando dos vapores para disminuir sus respectivos olores.

3.6.4.2. Remoción de partículas: filtración

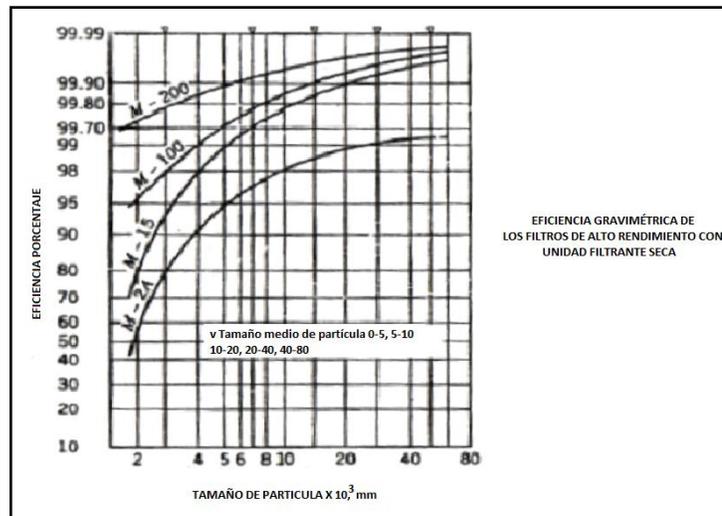
Ya se ha descrito la amplia variedad de partículas suspendidas que pueden encontrar tanto en el aire exterior como el aire interior. Con una gama tan amplia de tamaños, formas y concentraciones de partículas, es imposible diseñar un tipo de limpiador de partículas que sea adecuado en todos los casos.

Los recintos limpios de una instalación ensambladora de aparatos electrónicos requieren un sistema de remoción de partículas diferente al que requiere una oficina o un hospital. Las características más importantes de las partículas que afectan el desempeño de un limpiador de partículas del aire son las siguientes: su tamaño y forma; su gravedad específica; su concentración; sus propiedades eléctricas.

Los limpiadores de partículas del aire varían ampliamente en tamaño, forma, costo inicial y costo de operación. El factor que más influye en el diseño y elección de un filtro es el grado de limpieza requerida para el aire. Por lo general, el costo de los sistemas de filtrado se incrementa a medida que decrece el tamaño de las partículas por remover. Las tres características operativas que se utilizan para comparar los distintos tipos de limpiadores son: su eficiencia; su resistencia al flujo de aire; su capacidad de retención de polvo.

La eficiencia mide la capacidad de un limpiador de aire para remover las partículas suspendidas en un torrente de aire. En la figura 34 se muestra la eficiencia de cuatro tipos diferentes de filtros de alto desempeño, como una función del tamaño de las partículas.

Figura 34. **Eficiencia gravimétrica de los filtros de alto rendimiento con unidad filtrante seca**



Fuente: McQUISTON, Faye C.; PARKER, Jerald D.; SPITLER, Jeffrey D. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. p.105.

Se puede observar que mientras más pequeñas son las partículas, más difícil es filtrarlas. En aplicaciones de con filtro de tipo seco y con bajas concentraciones de polvo, debe tomarse en cuenta con el diseño de la eficiencia inicial – o eficiencia de filtro limpio – puesto que la eficiencia, en estos casos, aumenta la carga de polvo. La eficiencia promedio durante toda la vida del filtro es el valor más significativo para la mayoría de los tipos y aplicaciones. La resistencia del flujo de aire es la pérdida en la presión total a una tasa determinada de flujo de aire.

Este es un factor importante a considerar en los costos de operación del sistema. La capacidad de retención de polvo define la cantidad de un tipo de polvo en particular que puede retener un limpiador de aire cuando opera a una tasa de flujo de aire hasta el momento de alcanzar algún valor máximo de resistencia o hasta que su eficiencia caiga de manera significativa como resultado del polvo recolectado. En la tabla XXII, se proporcionan los datos típicos de ingeniería (tamaño físico, tasa de flujo determinada de caída de presión) para los cuatro filtros que se muestran en la tabla XXII.

Tabla XXII. **Datos de ingeniería. Filtros de unidad filtrante seca de alto rendimiento**

Datos de ingeniería. Filtros de unidad filtrante seca de alto rendimiento					
Tamaño estándar	Metro:	0.3 x 0.6 x 0.2		0.3 x 0.6 x 0.3	
Capacidad Nominal (a)	Pulgada:	ft ³ /min	m ³ /s	ft ³ /min	m ³ /s
Tipo de unidad filtrante	M-2 (b)	900	0.42	1025	0.48
	M-15	900	0.42	1025	0.48
	M-100	650	0.30	875	0.41
	M-200	450	0.21	630	0.29
Tipo de unidad filtrante	1725	0.81	2000	0.94	0.15
	1725	0.81	2000	0.94	0.35
	1325	0.62	1700	0.80	0.40
	920	0.43	1200	0.56	0.40
Área filtrante efectiva (todos los tipos de unidad filtrante)		29.8 ft ²	2.69 m ²	41.7 ft ²	3.87 m ²
<p>(a) Los filtros pueden operarse desde 50 hasta 120 por ciento de su capacidad nominal, con los correspondientes cambios de caída de presión.</p> <p>(b) El tipo M-2A está disponible en un grosor de 2 pulgadas y en tamaños estándar, con una caída nominal de presión de 0.28 in. wg a 500 fpm de velocidad frontal.</p>					

Fuente: McQUISTON, Faye C.; PARKER, Jerald D.; SPITLER, Jeffrey D. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. p.97.

Los mecanismos por medio de los cuales operan los filtros de partículas de aire son: retención en el coladero; intercepción directa; deposición inercial; difusión; efectos electrostáticos. Los tipos comunes de limpiadores de partículas suspendidas pueden clasificarse en cuatro grupos: filtros unitarios de unidad filtrante fibrosa; filtros de unidad filtrante reemplazable; limpiadores electrónicos de aire; limpiadores de aire combinados.

3.7. Diseños de acondicionamiento de aire y protección ambiental de cámaras de pintura fija y móvil

Los criterios de diseño de acondicionamiento de aire y protección ambiental de cámaras de pintura fija y móvil se desarrollan a continuación.

3.7.1. Criterios de diseño para la calidad del aire en el interior de las cámaras de pintura

Los criterios de diseño para la calidad del aire en el interior de las cámaras de pintura serán los siguientes: Se instalarán 2 tomas de aire exterior con una dimensión de 0,50 cm x 0,25 cm con sus respectivos ductos y rejillas.

En las tomas de aire exterior se colocarán filtros, de unidad filtrante reemplazable; las tomas de aire exterior se colocarán a una altura de 2,30 metros, para evitar de esta forma, la mayor concentración de contaminantes de las áreas de trabajo, como los polvos, neblinas, humos gases y vapores.

En el interior de las cámaras de pintura se colocarán 4 ventilas de inyección de aire, con una dimensión de 0,25 cm x 0,25 cm, con sus respectivos ductos y rejillas. Dos ventilas de inyección de aire se colocaran a 1,70 metros y Dos ventilas de inyección de aire se colocaran a 0,65 metros.

El flujo de aire deberá ser laminar, para poder realizar el trabajo de pintura de automóviles sin ningún inconveniente. Por el tipo de trabajo que se realiza, se programará de 15 a 20 renovaciones del volumen de aire por hora, del interior de las cámaras de pintura. Los ductos para el acondicionamiento de aire serán de lámina galvanizada calibre 26 (0,45 mm).

3.7.2. Criterios de diseño para el control de contaminantes y protección ambiental

Los criterios de diseño para el control de contaminante y protección ambiental serán los siguientes: se instalaran 4 rejillas de aire de retorno con una dimensión de 0,25 x 0,25 cm. Dos rejillas de retorno estarán interconectadas a través de ductos hacia una unidad filtrante seca de alto rendimiento, esta unidad filtrante estará interconectada con un ventilador tipo caracol, el ventilador tipo caracol estará interconectado con un motor eléctrico.

La unidad filtrante seca de alto rendimiento, procesará los vapores del proceso de pintura y el proceso de horneado de pintura de las cámaras de pintura, este tipo de unidad filtrante procesa, todo tipo de partículas y vapores del proceso de pintura es altamente eficiente, y en este caso en particular, es de tipo farmacéutico y/o hospitalario, las dimensiones de este filtro son 0,3 x 0,6 x 0,3 metros. Los ductos para el control de contaminantes y protección ambiental serán de lámina galvanizada calibre 26 (0,45 mm). El motor eléctrico, como la unidad filtrante, el ventilador tipo caracol ductos, etc. estarán fijados al techo de las cámaras de pintura, en cada base de soporte con una capa de neopreno de por lo menos $\frac{1}{4}$ de pulgada de grosor por el tamaño de la base de soporte, para evitar en un 60 a 85% las vibraciones generadas por el motor eléctrico.

4. DISEÑO DE INSTALACIÓN MECÁNICA NEUMÁTICA

4.1. Caudal de trabajo

Antes de escoger la dimensión de la tubería debe conocerse la cantidad de aire a fluir a través del sistema. Para instalaciones mayores conviene elaborar una tabla para el cálculo de la necesidad de aire. Para calcular dicha necesidad se multiplica el consumo de aire por la cantidad de herramientas y por su grado de utilización en la tabla XXIII se muestra una tabla para el cálculo de la necesidad de aire, las necesidades de aire para fines de dimensionamiento son litros por segundo.

Tabla XXIII. Para el cálculo de la necesidad de aire

TABLA PARA EL CÁLCULO DE LA NECESIDAD DE AIRE				
Herramientas	Consumo de aire L/S	Cantidad de piezas	Grado de utilización	Necesidad de aire LS
Llave de impacto < ½"	8	5	0.2	8
Apretadora M8	9	5	0.2	9
Apretadora M10	19	1	0.05	0.95
Taladro < 12 mm	5	6	0.3	9
Taladro > 12 mm	10	1	0.1	1
Rectificador	8	5	0.1	4
124Esmeriladora > 6"	10	5	0.15	7.5
Esmeriladora < 6"	27	2	0.15	8.1
Roscadora	6	3	0.1	1.8
Atornilladora	6	5	0.3	9
Pistola de limpieza	6	5	0.05	1.5
TOTAL DE NECESIDADES DE AIRE L/S				60
CORRECCIONES				
Desgaste de las herramientas 5%				3
Fugas 10%				6
Expansión 30%				18

Fuente: Manual INTECAP. *Construcción de una red de aire comprimido*. p. 65.

4.2. Presión de trabajo

La función de una red de aire comprimido es la de ofrecer aire con una presión que dé a cada herramienta la potencia necesaria. Lamentablemente, son inevitables ciertas pérdidas en forma de caída de presión. Calcular y compensar de modo correcto estas pérdidas es una parte importante del trabajo previo a la instalación de aire comprimido.

La regales: la caída de presión en instalaciones fijas, no puede sobrepasar 0,1 bar, desde la instalación del compresor hasta la llave de servicio que queda a mayor distancia del sistema. De esta caída de presión, la línea de servicio responde con 0,03 bar. La forma como los restantes 0,07 bar son distribuidos depende del modo de la instalación.

Es importante no subdimensionar los tubos fijos. Cambiar para una línea principal de mayor diámetro, resultará muchas veces más costoso que instalar desde el inicio una medida mayor de la que indican los cálculos de necesidades inmediatas.

Los accesorios son asimismo, más fáciles de sustituir sin necesidad e aumentar las dimensiones de la línea. La caída de presión desde la salida de servicio hasta la entrada de la herramienta, no debe exceder los 0,06 bar. Para las herramientas con consumo elevado se debe procurar una caída de presión más baja, por ejemplo 0,4 bar. Cuando la instalación este en funcionamiento las impurezas son retenidas en los filtros, cuente, por lo tanto con un aumento en la caída de presión de 0,3 bar sobre el filtro en sus funciones de limpieza.

¿Cuál es la presión con la que tendrá que contar en el sistema?

Sumar la presión prescrita a la herramienta, a la caída de presión que presentará la línea y los accesorios de acuerdo con el razonamiento antes descrito, se obtendrá así la presión al inicio de la línea principal. Como lo muestra la tabla XXIV.

Tabla XXIV. **Presión de herramienta, líneas y accesorios**

Descripción		Presión
Presión de la herramienta		6 bar
Caída de presión	Línea principal	0,1 bar
	Línea de distribución	
	Línea de servicio	
	Accesorios	0,6 bar
	Filtro obstruido	0,3 bar
Total		7,0 bar

Fuente: Manual INTECAP. *Construcción de una red de aire comprimido*. p. 61.

La presión al comienzo de la línea principal deberá, por tanto ser de 7 bar para que la herramienta sea suplida por la presión de aire prescrita de 6 bar. Observar que la presión de funcionamiento del compresor deberá ser superior para poder compensar la caída de presión dentro de la propia central de compresión.

4.3. Tipo de tuberías y accesorios a utilizar

Hay que considerar muchos factores para especificar un tamaño de tubería adecuado para transportar aire comprimido en plantas industriales. Algunos de esos factores y los parámetros involucrados se enuncian a continuación:

- Caída de presión: debido a que las pérdidas por fricción son proporcionales al cuadrado de la velocidad de flujo, es conveniente utilizar tamaños de tubería tan grandes como sea factible, para asegurar una presión adecuada en todos los puntos de uso en un sistema.
- Requerimientos de potencia en el compresor: la potencia requerida para alimentar el compresor se incrementa a medida que la caída de presión aumenta. Por lo tanto, es adecuado utilizar tuberías largas para minimizar la caída de presión.
- Costo de la tubería: los costos de las tuberías largas son mayores que los de las tuberías cortas, lo cual hace adecuado el uso de tuberías cortas.
- Costo de un compresor: en general, un compresor diseñado para operar a una presión mayor costará más, lo que hace adecuado el uso de tuberías grandes que minimizan la caída de presión.
- Costos de instalación: las tuberías pequeñas son más fáciles de manejar, aunque éste no es en general un hecho importante.
- Espacio requerido: las tuberías pequeñas requieren de un menor espacio y proporcionan menor interferencia con otro equipo u operaciones.
- Expansión futura: para permitir la adición de más equipo que utilice aire en el futuro, se prefieren tuberías mayores.
- Ruido: cuando el aire fluye a gran velocidad a través de tuberías, válvulas y accesorios, éste genera un alto nivel de ruido. Es mejor utilizar tuberías de gran tamaño para que las velocidades sean menores.

Es evidente que no existe un tamaño de tubería óptimo para cada instalación y el diseñador deberá evaluar el funcionamiento total de algunos de los tamaños antes de realizar la especificación final. Una ayuda para iniciar el proceso, la tabla XXV enumera algunos tamaños sugeridos para sistemas de tuberías de aire comprimido.

Tabla XXV. **Tamaños sugeridos para sistemas de tuberías de aire comprimido**

Tamaños sugeridos para sistemas de tuberías de aire comprimido		
Velocidad de flujo máximo (cfm)		
Aire libre	Aire comprimido	Tamaño de tubería (pulgadas) (Calibre 40)
4	0.513	1 / 8
8	1.025	1 / 4
20	2.563	3 / 8
35	4.486	1 / 2
80	10.25	3/4
150	19.22	1
300	38.45	1 1 / 4
450	57.67	1 1 / 2
900	115.3	2
1400	179.4	2 1 / 2
2500	320.4	3
3500	448.6	3 1 / 2
5000	640.8	4

Nota: Los tamaños que se enlistan son las tuberías de acero Calibre 40 estándar más pequeñas que transportarán la velocidad de flujo dada a una presión de 100 lb/pulg² relativas (690 kPa) con una caída de presión de no más de 5.0 100 lb/pulg² (34.5 kPa) en 100 pies (30.5 m) de tubería.

Fuente: MOTT, Robert L. *Mecánica de fluidos aplicada*. p. 503.

4.3.1. Clases de tuberías

Las tuberías son conductos formados por tubos, los cuales transportan el aire comprimido desde el compresor hasta los lugares de servicio. Las tuberías pueden clasificarse en rígidas, semirígidas y flexibles. Las tuberías rígidas son aquellas que no poseen movimientos relativos, son usadas en las instalaciones permanentes a altas presiones y emplean tubos fabricados de base metálica.

Las tuberías rígidas más utilizadas se encuentran las de acero de peso normalizado, usadas cuando las instalaciones requieren de grandes diámetros (mayor de 4 pulgadas). Tuberías de cobre: usadas cuando las instalaciones son de reducido diámetro y están localizadas en medios poco corrosivos. Cuando se instalen tuberías de cobre debe tenerse en cuenta su alta fragilidad en presencia de vibraciones, su elevado costo y su limitación en cuanto se refiere a accesorios.

Tuberías semirígidas: poseen cierta capacidad de deformarse, la cual es útil en su instalación y mantenimiento. Estas tuberías están fabricadas en gran parte de materiales termoplásticos como el P.V.C. y el polietileno. Las tuberías semirígidas pueden conducir aire a moderadas presiones, son livianas y de un costo relativamente bajo. Pueden soportar medios corrosivos y ligeros desplazamientos sin sufrir daños.

Las tuberías flexibles: conocidas como mangueras, permiten un gran campo de aplicación, debido a que pueden soportar deformaciones, vibraciones, medios corrosivos y una gran gama de presiones, según sean los materiales empleados en su fabricación. Estas mangueras básicamente están constituidas por un forro interior liso, resistente a la neblina de aceite, una capa intermedia resistente a la presión y de un forro externo flexible, que le

proporciona resistencia a los solventes y a la abrasión. Entre los materiales más utilizados en la fabricación de mangueras se encuentran: Nylon, P.V.C. flexible, terlene caucho y lona. Como se muestra en la tabla XXVI. Se tienen la resistencia de los materiales en las tuberías.

Tabla XXVI. **Resistencia de materiales en las tuberías**

Resistencia de los materiales en tuberías		
Material	Tensión Máxima del material	
	Psi	Kg/cm ²
Fundición	4000 – 8000	280 – 560
Acero	18000	1265
Cobre blando	6800	480
semiduro	9000	630
duro	11300	800
Latón rojo	8000	560
Latón aluminio	12500	880
Latón 70/30	12500	880
Nylon	2000 – 6000	140 – 420

Fuente: Manual INTECAP. *Instalación de compresor*. p. 15.

4.3.2. Accesorios en la tubería

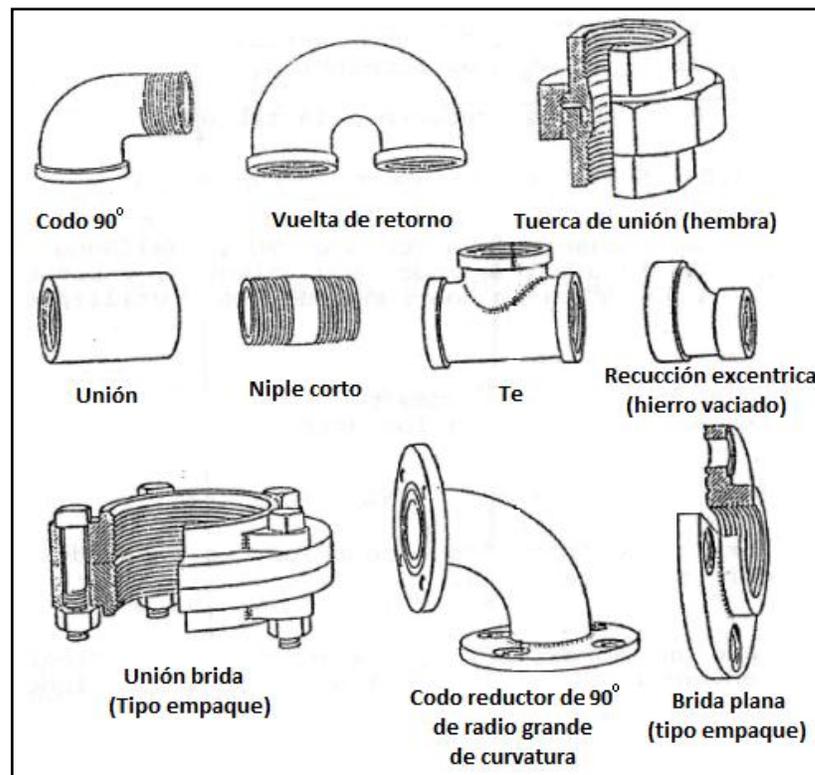
En toda instalación de tuberías es indispensable la utilización de accesorios, éstos se utilizan para poder adaptar la tubería a la forma del edificio y para poder cumplir satisfactoriamente las necesidades de las máquinas neumáticas. Entre los accesorios más utilizados están:

- Niples y uniones: accesorios que sirven como enlace entre tubos del mismo diámetro. La unión posee rosca hembra mientras el niple tiene rosca doble macho.
- Adaptadores: elementos de unión que admiten el enlace de tuberías con distintas roscas.
- Reducciones: elementos que acoplan conducciones de diferentes diámetros, estos sirven para aumentar o disminuir el diámetro según sea la dirección del flujo.
- Codos: acoplamientos rígidos que cambia la dirección el flujo a 30, 45, 60, 90 grados, son usados cuando el espacio es limitado o cuando el diseño de la tubería lo amerite. Los codos pueden ser: codos iguales cuando poseen dimensiones iguales en sus extremos y codos desiguales cuando hay variación de diámetros en los extremos.
- Tees: elemento de conducción que sirve para acoplar tres tuberías; el diámetro de estas tuberías pueden ser iguales o desiguales ,según sean las características de la tee.
- Cruces: son elementos de conexión, los cuales sirven para acoplar cuatro tuberías en un mismo plano, son utilizadas para hacer derivaciones de una línea. Las cruces pueden ser de cruz igual si poseen una misma dimensión en sus extremos o cruz desigual, si hay variación en uno o dos de sus extremos.
- Tapones: son elementos roscados que impiden el paso del fluido hacia una dirección no deseada. Se les llama tapones para tubos cuando

poseen rosca hembra y, simplemente tapas cuando están provistos de rosca macho.

- Acoples rápidos: son dispositivos que sirven para unir fácil y velozmente elementos neumáticos con la red. Son utilizados cuando se tiene la necesidad de estar acoplando diferentes máquinas o dispositivos neumáticos a un mismo punto de conexión. Los acoples rápidos, cuentan internamente con un dispositivo el cual cierra automáticamente el paso de aire al desconectar el equipo impidiendo así, cualquier escape innecesario de aire. En la figura 35 se muestran accesorios de tuberías rígidas

Figura 35. **Accesorios en tuberías rígidas**



Fuente: Manual INTECAP. *Instalación de compresor*. p. 17.

4.3.3. Longitud de la tubería

La resistencia de aire al flujo de aire comprimido a través de un conducto se incrementa por la presencia de accesorios y por lo tanto, la capacidad de conducción se ve reducida. Para poder expresar dichas resistencias se ha optado hacerlo en longitudes de tubo recto. Las resistencias así expresadas son sumadas a la longitud real de la tubería y la suma es llamada la longitud equivalente de la tubería. La resistencia que ocasionan los accesorios varían dependiendo de su diámetro. Para determinar la longitud de la tubería debida a la existencia de accesorios se pueden utilizar dos métodos:

Método 1: se relacionan los accesorios directamente con longitudes de tubo recto, son variables según sea el diámetro de los accesorios y se utiliza la tabla XXVII. Relaciona las pérdidas de presión de aire en accesorios de tubería (tabulando como longitud equivalente de tubo recto en pies).

Tabla XXVII. **Pérdidas de presión de aire en accesorios de tubería**

Pérdidas de presión de aire en accesorios de tubería							
Tipo de accesorio	Tamaño nominal de la tubería (pulgadas)						
	1 / 2	3 / 4	1	1 1 / 4	1 1 / 2	2	2 1 / 2
Codo	1.55	2.06	2.62	3.45	4.02	5.17	6.16
Válvula de compuerta	0.36	0.48	0.61	0.81	0.94	1.21	1.4
Válvula de ángulo	8.65	11.4	14.6	19.1	22.4	28.7	34.3
Válvula de globo	17.3	22.9	29.1	38.3	44.7	57.4	68.5
Tee	0.62	0.82	1.05	1.38	1.61	2.07	2.47
Tee Reductora	1.55						

Fuente: Manual INTECAP. *Instalación de compresor*. p. 19.

Método 2: se relacionan los accesorios con la resistencia, que ocasionaría un codo de 90 grados; hallando así un número determinado de codos equivalentes, y éstos, a su vez, se convierten en una longitud recta utilizando la fórmula:

$$\text{Longitud Equivalente} = \frac{\text{No de codos equivalentes} * (25 \times \text{diámetro de tubería})}{\text{debidos a los accesorios}} \quad 12$$

Para relacionar los accesorios con los codos equivalentes se utilizará la tabla XXVIII. Relaciona las pérdidas de presión de aire en accesorios de tuberías (tabulada en términos de codos equivalentes, un codo equivalente = resistencia de un codo de 90 grados).

Tabla XXVIII. **Pérdidas de presión de aire en accesorios de tubería, en términos de codos equivalentes**

Pérdidas de presión de aire en accesorios		
Nombre de la parte	Codos equivalentes	
	Tubo de hierro	Tubería de cobre
	3.0	4.0
Caldera	3.0	4.0
Radiador	2.0	3.0
Válvula de ángulo del radiador	12.0	17.0
Válvula de globo abierta	0.5	0.7
Válvula de compuerta abierta	1.8	1.2
Te con desviación de 100%	4.0	4.0
50%		

Continuación de la tabla XXVIII.

Pérdidas de presión de aire en accesorios		
Nombre de la parte	Codos equivalentes	
	Tubo de hierro	Tubería de cobre
Caldera	3.0	4.0
Radiador	3.0	4.0
Válvula de ángulo del radiador	2.0	3.0
Válvula de globo abierta	12.0	17.0
Válvula de compuerta abierta	0.5	0.7
Te con desviación de		
100%	1.8	1.2
50%	4.0	4.0
33%	9.0	11.0
25%	16.0	20.0
Codo de 90°	1.0	1.0
Codo de 90° con curva grande	0.5	0.5
Codo 45°	0.7	0.7
Retorno (U) abierto	1.0	1.0
Unión de reducción	0.4	0.4

Fuente: Manual de INTECAP. *Instalación de compresor*. p. 20.

4.3.4. Diámetro de la tubería

La dimensión del diámetro en una tubería es de suma importancia, debido a que las pérdidas de presión que sufre un fluido cuando transporta en ella, están directamente relacionadas con su diámetro.

Por ello es importante calcular el diámetro óptimo, el cual posee la capacidad de transportar un caudal determinado con pérdidas de presión aceptables; estas pérdidas oscilan comúnmente entre un 3% a un 6% de la presión nominal.

Pasos a seguir para determinar el diámetro óptimo en una instalación neumática:

- Calcular el consumo de aire del equipo: el cual es el resultado de la suma de los consumos individuales de todos los equipos y máquinas neumáticas que se desean instalar.
- Determinar el caudal requerido por la instalación: el cual es el resultado de la suma del consumo de aire del equipo + un 5% de pérdidas en fugas o escapes + 20 a 25% de futuras ampliaciones.
- Determinar la presión de la instalación: la cual viene dada por la presión máxima requerida para el acondicionamiento del equipo neumático. Determinar la pérdida de presión admisible; la cual es la pérdida basada en la variación de presión que puede sufrir la instalación sin repercutir en el funcionamiento del equipo neumático.
- Determinar la longitud equivalente: para poder determinar, la longitud debida a los accesorios, se debe tomar un diámetro arbitrario; debido a que esta longitud varía según sea el diámetro de la tubería. La longitud equivalente viene dada por la ecuación:

Longitud equivalente = Longitud de tubería + Longitud por accesorios

Para poder determinar la longitud debida a los accesorios, se debe tomar un diámetro arbitrario; debido a que esta longitud varía según sea el diámetro de la tubería.

Calcular la pérdida de presión en la tubería, el factor de pérdida (F) se determina en la tabla XXIX, con el diámetro de la tubería en pulgadas y el caudal de aire requerido por la instalación en pies³/min. Y viene dado por la ecuación:

$$\text{Pérdida de presión} = \frac{\text{Factor de pérdida (F)} \times \text{longitud equivalente (lb / plg}^2\text{)}}{\text{factor de tubería (R)} \times 1000}$$

Tabla XXIX. **Factor de pérdida de presión por fricción en las tuberías de hasta 4 pulgadas de diámetro**

Factor de pérdida de presión por fricción en las tuberías									
Pies ³ de aire libre por minuto	Diámetro nominal (pulgadas)								
	1 / 2	3 / 4	1	1 1 / 2	1 3 / 4	2	2 1 / 2	3	4
05	12.7	1.2	0.5	----	----	----	----	----	----
10	50.7	7.8	2.2	0.5	----	----	----	----	----
15	114	17.6	4.9	1.1	----	----	----	----	----
20	202	30.4	8.7	2.0	0.9	----	----	----	----
30	256	70.4	19.6	4.5	2.0	----	----	----	----
40	311	125.3	34.8	5.1	3.6	1.5	----	----	----
50	----	196	54.4	17.6	5.6	2.2	----	----	----
60	----	282	78.3	18.2	8	2.9	----	----	----
70	----	285	106.6	24.7	10.9	3.8	1.1	----	----
80	----	303	139.2	32.3	14.3	4.8	1.5	----	----
90	----	616	176.2	40.9	18.1	6	1.9	----	----
100	----	785	490	50.3	22.3	13.4	2.3	----	----
150	----	----	870	111.6	50.3	23.9	5.2	1.6	----
200	----	----	----	202	89.4	53.7	9.3	2.9	2.7
300	----	----	----	434	201	94.7	20.9	6.6	4.3
400	----	----	----	----	----	150	37.1	11.7	6.2
500	----	----	----	----	----	215	58	18.3	5.5
600	----	----	----	----	----	294	83.5	26.3	11.1

Continuación de la tabla XXIX.

Factor de pérdida de presión por fricción en las tuberías									
Pies ³ de aire libre por minuto	Diámetro nominal (pulgadas)								
	1 / 2	3 / 4	1	1 1 / 2	1 3 / 4	2	2 1 / 2	3	4
700	----	----	----	----	----	382	113.7	35.8	14
800	----	----	----	----	----	456	148.4	46.7	17.3
900	----	----	----	----	----	600	188	59.1	21
1000	----	----	----	----	----	723	232	73	25
1100	----	----	----	----	----	830	280.6	88.2	29.3
1300	----	----	----	----	----	----	344	105.2	33.9
1400	----	----	----	----	----	----	292	123.4	39
1500	----	----	----	----	----	----	----	----	44.3
1600	----	----	----	----	----	----	----	----	50.1
1700	----	----	----	----	----	----	----	----	56.1
1800	----	----	----	----	----	----	----	----	62.7
1900	----	----	----	----	----	----	----	----	69.3
2000	----	----	----	----	----	----	----	----	105.3
2500	----	----	----	----	----	----	----	----	156
3000	----	----	----	----	----	----	----	----	277
4000	----	----	----	----	----	----	----	----	433

Fuente: Manual de INTECAP. *Instalación de compresor*. p. 23.

El factor de pérdida (F) se determina en la ilustración 4, con el diámetro de la tubería en pulgadas y el caudal de aire requerido por la instalación en pies³/min:

$$\text{El factor de la tubería (R) se obtiene} = \frac{\text{presión de la instalación} + \text{presión manométrica}}{\text{presión manométrica}}$$

Se cuantifica la pérdida de presión en porcentaje con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de pérdida de presión} = \frac{\text{Pérdida de presión} \times 100}{\text{Presión de la instalación}}$$

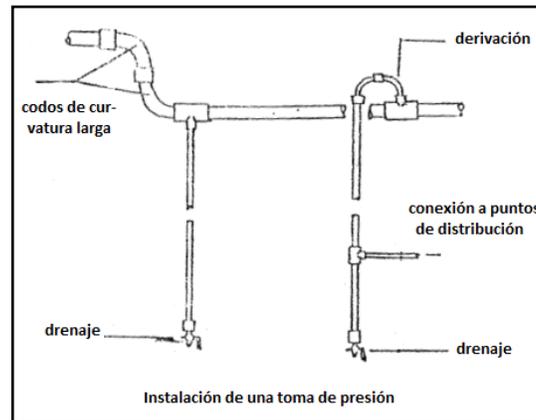
Se compara la pérdida admisible de presión con la pérdida de presión en la tubería; si esta última es mayor se debe aumentar el diámetro de la tubería. El diámetro óptimo de la tubería neumática se determina por tanteos, al variar el diámetro de la tubería y corroborar que la pérdida de presión en la tubería sea igual o menor que la pérdida de presión admisible.

4.3.5. Instalación de las tuberías y sus accesorios

Es de suma importancia una buena instalación de la tubería debido a que su trazado y montaje afectan directamente a la eficiencia del sistema neumático. Una buena instalación proporciona un buen servicio, prolongando la vida de sus componentes y reduciendo considerablemente la probabilidad de fallas de los equipos neumáticos. A continuación ciertos lineamientos generales que deben tomarse en cuenta cuando se realicen montajes de tuberías de aire comprimido:

- La tubería principal debe ser un circuito cerrado y no abierto o ramificado; para que la presión y el caudal sean lo más uniformes posibles en cualquier punto de la tubería.
- Las conducciones deben ser lo más cortas posibles, de tener el mínimo de curvas cerradas e innecesarias para evitar que se incremente la pérdida de presión.
- La red debe tener cierta pendiente a favor del sentido del flujo para que la humedad condensada sea dirigida hacia los purgadores, por acción de la gravedad y por el sentido del caudal. Esta pendiente debe ser aproximadamente de 1 pie por cada 40 pies de largo.
- Los purgadores deben colocarse en los puntos más bajos de las pendientes y no debiendo de exceder una longitud de 100 pies entre ellos; evitando, así la acumulación excesiva de condensado, que podría afectar a las herramientas y equipos neumáticos si llegan a ellos.
- Los reguladores de presión deben estar ubicados en los ramales de distribución o cerca del punto de uso, para evitar pérdidas innecesarias que puedan afectar el rendimiento de las herramientas o equipos.
- Las líneas derivadas o de distribución deben partir de la parte superior de la conducción principal y cambiar su sentido en 180 grados con una curvatura preferiblemente de radio largo. Cada línea derivada debe de poseer su columna de condensado y su respectivo purgador. En la figura 36 se muestra una instalación de toma de presión.

Figura 36. **Instalación de una toma de presión**



Fuente: Manual de INTECAP. *Instalación de compresor*. p. 25

Las instalaciones permanentes de tubería rígida deben instalarse adecuadamente para evitar transmitir las vibraciones del compresor y los esfuerzos no deseados causados por las contracciones y dilataciones de los materiales, debidos a los cambios de temperatura. Las vibraciones y los esfuerzos se deben minimizar o evitar para que no causen deterioro en las tuberías, en los equipos o que provoquen la aparición de fugas.

Las vibraciones excesivas que se producen en el compresor se pueden eliminar en la tubería por medio de la colocación una tubería flexible intermedia entre el compresor y la tubería rígida. Los esfuerzos dañinos causados por los esfuerzos internos de las tuberías se pueden minimizar por medio de abrazaderas que posean revestimiento interno de algún elastómero o por medio de untas de dilatación, las cuales logran fijar la conducción, y le permite a su vez, una ligera libertad de desplazamiento radial y axial, respectivamente. Se deben evitar las fugas de accesorios en los puntos de conexión debe emplearse algún tipo de sellante, como el cáñamo impregnado de adhesivo o por una cinta plástica de teflón.

Las tuberías deben estar libres de materias extrañas como viruta metálica, óxido o suciedad; para evitar daños en las válvulas, lubricadores, filtros y elementos de trabajo.

4.4. Cálculo del compresor a utilizar

Antes de establecer qué compresor se ha de utilizar, se deben considerar si es de una o de dos etapas para las necesidades de la instalación mecánica neumática para la cámara de pintura. A continuación se describen algunos datos aplicables a la mayoría de los compresores:

- Una etapa: el costo inicial es menor. Baja presión (menos de 150 psi). Adecuado para servicio intermitente: no es tan eficiente (menos del 70%) el costo de operación es un poco más alto. El costo de mantenimiento es algo mayor.
- Dos etapas: construido para mayor duración. La eficiencia suele ser mayor (más del 75%). Es mejor para servicio continuo. Para alta presión (más de 150 psi), requiere menos mantenimiento, ahorra hasta 25% de energía eléctrica.

Es difícil dar una regla fija para seleccionar el compresor correcto. Hay demasiadas variaciones en las condiciones de operación. Además, hay muchas discusiones en cuanto equipo para uso intermitente o continuo. En muchos casos, un tanque de mayor capacidad contrarresta la demanda periódica excesiva de aire comprimido. Esto permite que el taller consuma, por períodos cortos, el aire almacenado con más rapidez que la capacidad real del compresor.

Por ejemplo, la capacidad de salida de un compresor puede ser de 20 p³/min (pies cúbicos por minuto). Durante períodos de 2 ó 3 minutos (si hay suficiente aire almacenado enviado a través de una válvula reductora, a una presión mayor a la necesaria) el taller podría consumir 30 p³/min. Esto sólo funciona cuando el uso máximo es 3, 4 ó 5 veces por hora.

¿Qué es servicio intermitente? Una pistola para limpieza está en servicio intermitente, porque la válvula se abre durante unos 30 segundos cada 15 a 30 minutos. Pero si un trabajo requiere esta descarga de aire, una vez por minuto durante 15 segundos, se aproxima al servicio continuo. De acuerdo con la tabla XXX son los p³/min usados para los principales aparatos neumáticos.

Tabla XXX. **Caudal utilizado para los principales aparatos neumáticos**

p³/min usados para los principales aparatos neumáticos		
Presión de aire (psi)	Tipo de aparato	Consumo promedio de aire libre en p ³ /min
70-100	Lijadora pequeña*	5,0
70-100	Pistola de aire (Limpieza, etc.)	2,5
120-150	Pistolas engrasadoras*	3,0
70-100	Martillo neumático*	16,5
70-100	Garrucha de 1 tonelada	1,0
120-150	Abridor de puertas	2,0
70-100	Pulverización de pintura* (producción)	2,25
70-100	Aplicación de pintura* (retoque)	8,5
70-100	Elevador hidráulico (para 8,000 libras. Agregar 0.65 p ³ /min pro cada 1,000 libras adicionales)	5,25
*Considerar los aparatos de funcionamiento continuo de uso normal. Todos los demás aparatos son intermitentes. Considerar herramientas neumáticas tales como llaves de torsión, taladros, sistemas de expulsión, embragues neumáticos, como continuos. Encontrar su consumo nominal antes de seleccionar el compresor.		

Fuente: Manual de Ingersoll Rand. *Aire comprimido*. p. 24.

De acuerdo a la tabla XXXI se describen los requisitos de aire para accesorios neumáticos.

Tabla XXXI. **Requisitos de aire**

Descripción	Elementos	Caudal unitario p ³ /min	Caudal total p ³ /min
Pistolas para limpieza de 2.5 p ³ /min c/u	7	2,5	17,5
Garrucha	1	1	1
Abridores de puertas de 2 p ³ /min c/u	2	2	4
Elevador hidráulico p ³ /min c/u	1	5,25	5,25
Caudal total en p ³ /min, de la instalación neumática a instalar			27,75

Fuente: Manual de Ingersoll Rand. *Aire comprimido*. p. 24.

Con la tabla XXXII, describe el tamaño y tipo de compresor para óptimo servicio en un taller.

Tabla XXXII. **Tamaño y tipo de compresor para óptimo servicio**

Tamaño y tipo de compresor para óptimo servicio				
Intercalación y corte del compresor (psi)	Aire intermitente a) utilizado (p ³ /min totales)	Aire continuo b) utilizado (p ³ /min totales)	HP requeridos en el compresor	
			Dos etapas	Una etapa
70-100	Hasta 6,6	Hasta 1,9	1	½
	6,7-10,5	2,0 - 3,0		¾
	10,6-13,6	3,1 - 3,9		1
	Hasta 14,7	Hasta 4,2		
70-100	13,7 – 20,3	4,0 – 5,8	1 ½	1 ½
	14,8 – 22,4	4,4 – 6,4		2
	20,4 – 25,6	5,9 – 7,6	2	
	22,5 – 30,4	6,5 – 8,7		
70-100	30,5 – 46,2	8,8 – 13,2	3	
	46,3 – 60,0	13,3 – 20,0		5
	60,1 - 73,0	20,1 – 29,2		7 ½
	73,1 – 100,0	2,3 – 40,0		10

Continuación de la tabla XXXII.

120-150	Hasta 3,8	Hasta 1,1	1	$\frac{1}{2}$
	3,9 – 7,3	1,2 – 2,1		
	7,4 – 10,1	2,2 – 2,9		
	10,2 – 12,6	2,8 – 3,6		
120-150	10,2 – 15,0	3,0 – 4,3	1 $\frac{1}{2}$	1 $\frac{1}{2}$
	12,7 – 20,0	3,7 – 5,7		
	15,1 – 20,0	4,4 – 5,7		
	20,1 – 25,9	5,8 – 7,4		
120-150	26,0 – 39,2	7,5 – 11,2	3	
	39,3 – 51,9	11,3 – 17,3		
	52,0 – 67,5	17,4 – 27,0		
	67,6 – 92,5	27,1 – 37,0		
145-175	Hasta 11,9	Hasta 3,4	1	
	12,0 – 18,5	3,5 – 5,3		
	18,6 – 24,2	5,4 – 6,9		
	24,3 – 36,4	7,0 – 10,4		
145-175	36,5 – 51,0	10,5 – 17,0	5	
	51,1 – 66,0	17,1 – 26,4		
	66,1 – 88,2	26,5 – 35,3		
<p>a) Estas cifras no se deben considerar como capacidad real del compresor en volumen de aire libre. Se ha utilizado un factor para tener en cuenta la operación intermitente.</p> <p>b) Usar estas cifras cuando la naturaleza del aparato es tal que requieren suministro continuo de aire comprimido en su operación normal. Las cifras representan el aire libre real entregado por los compresores listados.</p>				

Fuente: Manual de Ingersoll Rand. *Aire comprimido*. p. 24.

4.5. Tipo de unidad de mantenimiento a utilizar

Las unidades de mantenimiento son de varios tipos, pero tienen en común: condensador de humedad, filtro de aires, válvula reguladora de presión, manómetro y lubricador.

4.5.1. Condensador de humedad

Son depósitos relativamente voluminosos que permiten la condensación de la humedad y de partículas de aceite que están presentes en el aire comprimido; esto se logra por medio de la adherencia de las partículas más pesadas del aire en las paredes internas del condensador y por medio de una cierta variación de temperatura que experimenta el aire cuando atraviesa el condensador.

Los condensadores de humedad, también llamados trampas de humedad, están ubicados en un nivel inferior de la red de distribución, estando fabricados comúnmente de lámina de acero con juntas soldadas, provistos de una válvula de seguridad, manómetro y una válvula que evacúa el drenado de una forma automática o manual.

Cuando el drenador es de tipo automático se debe observar su correcto funcionamiento diariamente, y si el drenador es manual se debe abrir diariamente a las veces que se necesite.

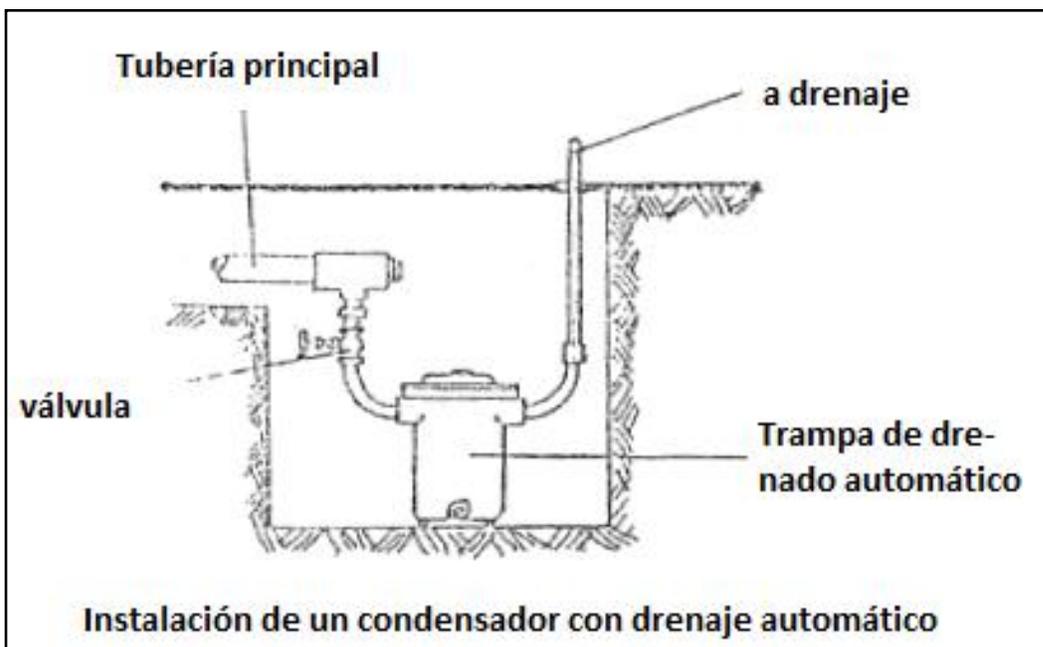
Debido a que si se eleva demasiado el nivel condensado, este pasaría nuevamente al sistema de distribución, afectándolo en su rendimiento. Entre los problemas que ocasiona la presencia de condensado en un sistema neumático se tiene:

- Provoca corrosión en la tubería y en casi todos los componentes de la instalación neumática.
- Lava la lubricación de la herramienta o equipo neumático.

- Provoca un desgaste prematuro de la instalación y el equipo.
- Causa una deficiente operación en las válvulas y cilindros neumáticos. Incrementa el costo y programas de mantenimiento.

En la figura 37 se muestra la instalación de un condensador con drenaje automático.

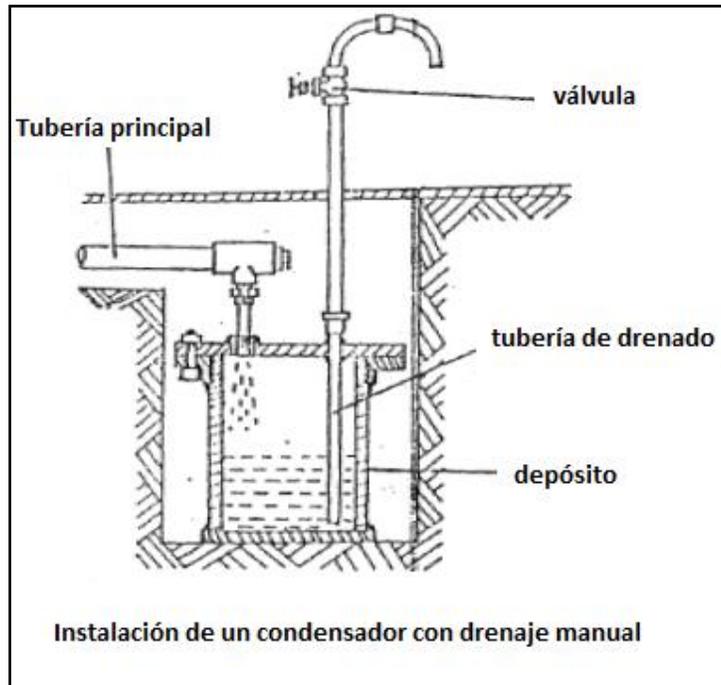
Figura 37. **Instalación de un condensador con drenaje automático**



Fuente: Manual de INTECAP. *Instalación de compresor*. p. 28.

En la figura 38 se muestra la instalación de un condensador con drenaje manual.

Figura 38. **Instalación de un condensador con drenaje manual**



Fuente: Manual de INTECAP. *Instalación de compresor*. Pág. 28

4.5.2. Filtro de aire

Es un dispositivo capaz de eliminar las impurezas del aire, como: polvo, sólidos abrasivos, aceites, condensadores y toda materia extraña; permitiendo llevar aire limpio al regulador, lubricador y posteriormente al equipo neumático.

Son fabricados de tela metálica fina, materiales sintéticos o de productos sinterizados. Factores que deben tomarse en cuenta para la selección de los filtros son:

- Tamaño de las partículas a separar: ésta depende de las válvulas y de los elementos de la maquinaria neumática.
- Capacidad del filtro: debe ser la mayor posible para reducir la fricción del aire al atravesarlo y para asegurar su buen funcionamiento aunque hubiera una limpieza descuidada en su mantenimiento.
- Accesibilidad: asegura el desmontaje y montaje rápidamente para evitar un paro muy largo. Si es empleado en un trabajo ininterrumpido, conviene montar 2 en paralelo para que mientras se limpie o cambien un filtro, funcione el otro.
- Disponibilidad de repuestos: capacidad de poder contar con piezas de repuesto o filtros de recambio si se tratan del tipo desechable.
- Capacidad de separa y almacenar líquidos: el filtro debe contar con un depósito con capacidad suficiente para manejar el líquido separado; y almacenarlo, evitando así, la saturación con agua del elemento filtrante.

A continuación se describen los principales tipos de filtros para unidades de mantenimiento.

4.5.2.1. Filtro mecánico

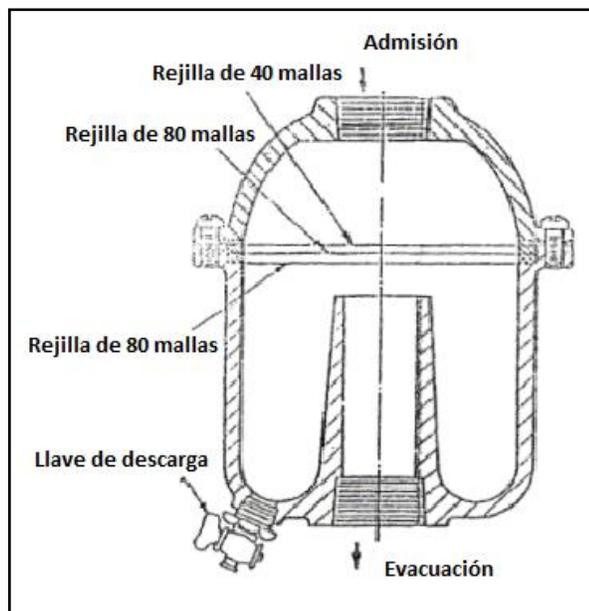
En este tipo de filtro, el aire comprimido es conducido a imprimir un movimiento giratorio a cuatro rotores; las partículas extrañas que se encuentran en la corriente de aire se despiden hacia las paredes por efecto de la fuerza centrífuga y a continuación, hasta el fondo del aparato, en donde se recolectan en un depósito.

Una vez que la corriente de aire ha atravesado los rotores, para a un grupo de anillos lavadores que se encuentran en la parte superior del filtro, de los cuales el aire sale limpio y seco.

4.5.2.2. Filtro de rejilla

Empleado desde hace muchos años, es de fabricación simple y robusta. El aire comprimido es forzado a pasar por rejillas de diferentes calibres, a su paso las partículas extrañas se adhiere a dichas rejillas; haciendo así el filtrado del aire. La disposición de las rejillas puede ser en forma plana o cilíndrica, en la figura 39 se describe un filtro de rejilla plano.

Figura 39. Filtro de rejilla plano



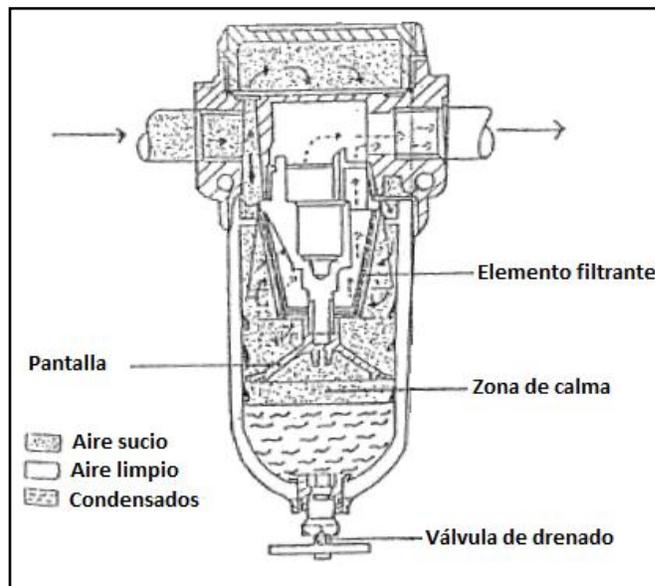
Fuente: Manual de INTECAP. *Instalación de compresor*. p. 31.

4.5.2.3. Filtro de borde

Este filtro posee en su interior un elemento filtrante que puede ser fabricado con: una resina fenólica impregnada de celulosa fundida y polimerizada para asegurar su cohesión e impermeabilización completa ante los líquidos y gases; por metal sinterizado, por una piedra porosa o por otros materiales porosos.

Cuando el filtro está en funcionamiento, la corriente de aire penetra en el por la parte superior y se dirige desde la cámara exterior, atraviesa el cilindro del filtro y llega a la cámara interior como aire perfectamente limpio. Los filtros de este tipo pueden separar partículas de hasta 0,0005 milímetros de diámetro, en la figura 40 se muestra la sección transversal de un filtro de borde.

Figura 40. Filtro de borde



Fuente: Manual de INTECAP. *Instalación de compresor*. p. 32.

4.5.2.4. Filtros de descarga automática

Son filtros que evacúan las partículas extrañas o el condensado automáticamente, es decir, sin necesidad del operario; esta operación se realiza por medio de un orificio de descarga accionado por la presión del aire o por un flotador que acciona cuando la humedad recogida alcanza un nivel predeterminado.

Entre las ventajas del mecanismo de descarga automática están: se reduce la posibilidad de que el dispositivo de descarga se obture, que las partículas sólidas se evacúen más convenientemente, se reduce sensiblemente el desgaste del dispositivo de descarga, se puede montar en puntos de difícil acceso y la caída de presión a través del filtro es baja.

Cuando los requerimientos de aire, son pureza, se utilizan filtros de carbón activado y en las industrias, en las cuales se requiere de un aire completamente estéril (industrias farmacéuticas y químicas) se utilizan filtros especiales, los cuales le incorporan al aire agentes esterilizantes.

4.5.3. Válvula reguladora de presión

Son válvulas que suministran una presión adecuada para el funcionamiento del equipo neumático; la presión puede ser ajustada de 0 hasta la presión de la conducción. La válvula reguladora también protege al equipo neumático de los aumentos o disminuciones de la presión de conducción evitando así, que funcione defectuosamente en los momentos críticos del ciclo de trabajo. Entre las válvulas más utilizadas éstas se describen a continuación.

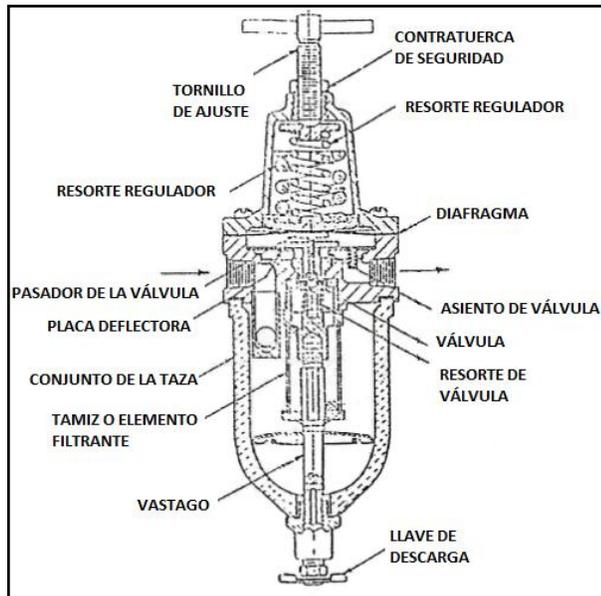
4.5.3.1. Válvula reguladora de diafragma

Está constituida internamente por un diafragma de caucho sintético consistente a los lubricantes y reforzados con tejido de nylon. El diafragma permite efectuar el movimiento necesario para abrir y cerrar la válvula. El soporte inferior de un resorte se monta a un lado del diafragma y el pasador se encuentra en contacto con el otro lado del diafragma.

Un tornillo de ajuste comprime un resorte y éste a su vez el diafragma, accionando así la válvula; es decir, que la presión a la que el aire sale de la válvula, está determinada por la presión al que está sometido el resorte el cual acciona indirectamente por medio del diafragma, la abertura de la válvula.

La válvula actúa automáticamente para mantener una presión de descarga relativamente constante. Por ello, si la presión de aire aumenta momentáneamente, el diafragma hace que la válvula se desplace hacia arriba para cerrarse, logrando así, un estrangulamiento y con ello se reduce o regula la presión. Una vez regulada la válvula a la presión deseada, por medio del tornillo de ajuste, éste se inmoviliza por medio de una tuerca de seguridad impidiendo así la variación del ajuste deseado, en la figura 41 se muestra una sección de un regulador de diafragma.

Figura 41. **Sección de un regulador de diafragma**



Fuente: Manual de INTECAP. *Instalación de compresor*. p. 35.

4.5.3.2. **Válvula reguladora de émbolo**

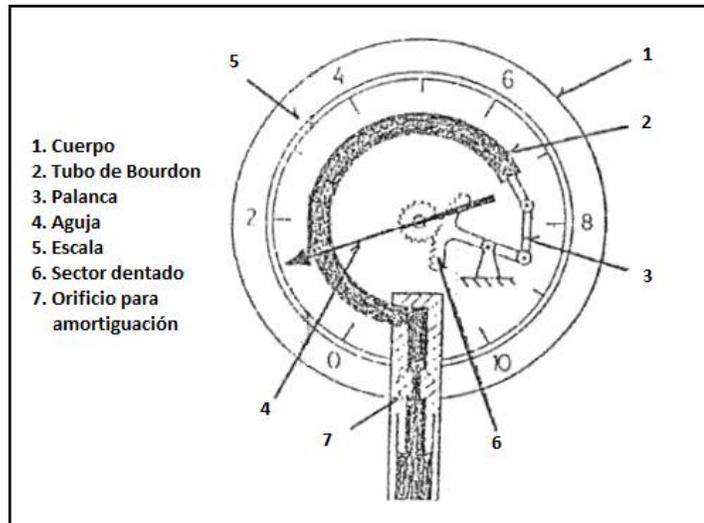
Este tipo de válvula posee un émbolo conformado por una empaadura de copa de caucho sintético que apoya en un gran disco metálico de refuerzo; este émbolo está sometido a una tensión suministrada por un resorte en válvulas pequeñas y por dos en válvulas grandes. En esta válvula el aire penetra en la cámara que se encuentra en contacto con el lado inferior de la empaquetadura de copa del émbolo, circula entre la parte superior de la junta sintética y el asiento de la válvula, y se descarga por el portillo de escape. Si la presión en el lado de admisión de la válvula aumentase momentáneamente, tendería a impulsar el émbolo hacia arriba, con lo que la junta de la válvula se acercaría al asiento y se ejercería una acción de estrangulamiento mayor para regular la presión en el lado de descarga.

Una variación de la válvula de émbolo; es la que emplea una junta de anillo en O; esta junta es montada sobre un émbolo de aluminio el cual, en su movimiento, genera una mínima fricción y determina que el ajuste de la presión sea muy sencillo. La carrera larga del dispositivo del émbolo permite efectuar una regulación muy precisa de la presión. Esta válvula reductora es casi siempre una unidad compacta, integrada comúnmente a la par del filtro y lubricador. Generalmente, los reguladores de presión van montados en los ramales de distribución o directamente cerca del punto de uso para evitar pérdidas que puedan afectar al rendimiento de las herramientas. Las válvulas se deben colocar en una sola posición la cual es señalada por una flecha que indica la dirección del aire, ya que las características de su diseño sólo permiten regular el flujo en un solo sentido.

4.5.4. Manómetro Bourdon

Es el medidor de presión más utilizado en la industria por su adaptabilidad a los diferentes rangos de presión y a las fluctuaciones repentinas de la misma, que pueden hacer que los otros tipos de instrumentos fallen. El manómetro Bourdon posee en su interior un tubo metálico con ciertas propiedades elásticas, en forma de C o espiral con su extremo sellado y acoplado a un mecanismo indicador. Cuando la presión se aplica al extremo una fuerza suficiente para mover un sector dentado y éste a su vez le provee de movimiento a una aguja indicadora, la cual se monta sobre una escala numérica. El tubo de Bourdon se sujeta en su extremo abierto a una base proporcional a su movimiento en el extremo sellado. Unos sectores dentados sirven para multiplicar la magnitud del movimiento del tubo, para hacer que la lectura de la medición sea más fácil de obtener y que posea una mayor precisión, en la figura 42, se muestra un manómetro Bourdon.

Figura 42. **Manómetro Bourdon**



Fuente: Manual de INTECAP. *Instalación de compresor*. p. 38.

Instalación del manómetro Bourdon:

- La instalación del manómetro debe ser perpendicular a la tubería.
- Las tuberías de conexión deben ser lo más cortas posibles y poseer un diámetro interno superior a los 6 mm.
- El manómetro debe instalarse encima de la toma de presión, de manera que en la tubería de medición no se acumule condensado; si no puede instalarse de esta forma es necesario proveer una posibilidad de drenaje.
- La toma de presión debe estar en un punto donde el flujo sea lo más uniforme posible, idealmente sería en un tramo largo recto, lejos de curva y cambios de sección.

- El manómetro se debe ubicar en un lugar donde las vibraciones no sean excesivas, debido a que éstas provocarían un desgaste prematuro y una inexactitud en las mediciones.
- Cuando hay grandes golpes repentinos de presión en la instalación, se deben proteger los manómetros por medio de dispositivos, tales como los reductores de golpes de presión o diafragmas.
- Instalar una válvula de cierre en la línea de medición para poder preveer un cambio o calibración posterior del manómetro sin necesidad de afectar a la restante instalación.

4.5.5. Lubricador

La lubricación desempeña un papel muy importante en un sistema neumático debido a que reduce la fricción y el desgaste de las válvulas; empaques, cilindros y demás elementos de trabajo; prolongando así su eficiencia y su vida útil. El lubricador y el lubricante deben ajustarse a las necesidades y requerimientos de la maquinaria neumática; debido a que un exceso de lubricación aumentaría la fricción, la acumulación interna de aceite y hasta el atascamiento de válvulas y elementos de pequeña holgura. Por el contrario, si fuera insuficiente, provocaría un desgaste prematuro y una baja eficiencia en el funcionamiento del equipo neumático. La forma de ajuste más frecuente en los lubricadores es por medio de un tornillo de cabeza estriada o por medio de una válvula de aguja. La mayoría de los lubricadores poseen visores por los cuales se pueden observar y medir el goteo del lubricante, que ingresa al sistema; también poseen una taza de plástico transparente, la cual permite precisar la cantidad de aceite que el lubricador contiene, evitando así, que disminuya por debajo del nivel mínimo de funcionamiento.

El funcionamiento del lubricador se basa en la igualdad de presiones entre el depósito del lubricador y la línea de aire comprimido, esto se logra por medio de un orificio que posee un tubo en forma de venturi. Esta presión eleva el aceite por un tubo de aspiración hasta una cámara colocada por encima del punto de goteo. A medida que el aceite va cayendo en el tubo de venturi y entra a la corriente de aire, se pulveriza y forma una neblina de aceite que lubrica las piezas de los elementos neumáticos.

Los lubricantes más utilizados son derivados del petróleo, aunque últimamente se está incrementando el uso de lubricantes sintéticos. Antes de utilizar un lubricante debe tenerse en cuenta las especificaciones del fabricante de la maquinaria neumática, en cuanto a su viscosidad, cantidad y naturaleza; debido a que no todo el equipo neumático posee una igualdad en sus características internas y de funcionamiento. Entre las características más importantes que deben poseer los lubricantes empleados en sistemas neumáticos están:

- Baja viscosidad: ésta garantiza su fluidez en bajas temperaturas y pequeñas holguras, como el SAE 5, SAE 10 ó SAE 15.
- Debe reducir la fricción y desgaste de las piezas en movimiento.
- Debe reducir las fugas internas del aire.
- No debe reducir las fugas internas del aire.
- No debe dar lugar a la formación de espumas.
- Debe ser estable a la presión y resistir oxidación.

- No debe precipitar gomas o lodos.
- Debe proteger las piezas contra la corrosión.
- Debe ser de buena calidad para garantizar sus propiedades.

4.6. Diseños de instalaciones mecánicas neumáticas de cámaras de pintura fija y móvil

Los criterios de diseño de instalaciones mecánicas neumáticas se desarrollan a continuación.

4.6.1. Criterios de diseño de tipo de tubería y accesorios a utilizar

Para la cámara de pintura fija, la tubería de línea principal y de distribución, será de tubería galvanizada de $\frac{3}{4}$ de pulgada de diámetro, la longitud aproximada, sumando la línea principal y la de distribución no son más de 30 metros lineales de tubería. Para la cámara de pintura fija, la tubería de línea de servicio, será de tubería galvanizada de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro, la longitud aproximada de la línea de servicio no son más de 15 metros lineales de tubería.

Para la cámara de pintura móvil, el diámetro será el mismo para las tuberías de la línea principal, distribución y de servicio; el material será tubería P.V.C., esto es debido a que puede soportar mucha vibración, debido a que dicha cámara estará en constante movimiento o traslado de lugar para poder operar, según sea la necesidad del usuario.

La tubería de la línea principal y de distribución contará con válvulas de globo, para poder interrumpir la distribución de aire comprimido, y realizar cambios y/o mantenimiento en la tubería. La tubería de distribución contará con un filtro separador con drenaje para tener la red de aire comprimido libre de condensado. La instalación neumática contará con cinco líneas de servicio. La presión de la tubería principal y de distribución será 7 bar y la presión de trabajo de 6 bar.

4.6.2. Criterios de diseño del compresor y unidad de mantenimiento a utilizar

Para las cámaras de pintura, se utilizará un compresor de 7,5 HP de dos etapas, con una capacidad de 17,4 a 27 pcm de aire continuo a utilizar, 52 a 67,6 pcm de aire intermitente a utilizar; el tamaño del tanque es de 120 galones.

El presente compresor tiene la capacidad para que se utilicen a la vez: 2 pistolas de aire (2,0 pcm cada una), 2 lijadoras (5,0 pcm cada una) y 1 brocha de aire (8,5 pcm).

La unidad de mantenimiento tendrá las siguientes características: condensador de humedad; filtro de aire de borde, con válvula de drenado de condensado; válvula reguladora de presión de diafragma; manómetro Bourdon para el monitoreo de la presión en cada línea de servicio y un lubricador para reducir la fricción y el desgaste de las válvulas, empaques cilindros etc. Para prolongar así la eficiencia y vida útil de las herramientas neumáticas.

5. DISEÑO TERMODINÁMICO

Antes de diseñar cualquier sistema térmico debe hacerse una estimación del máximo probable de pérdida de calor que tendrá cada recinto o espacio acondicionad. Las pérdidas de calor pueden ser de dos tipos:

- El calor transmitido a través de las paredes, techos, pisos, ventanas y otras superficies.
- El calor requerido para calentar el aire del exterior que entra al espacio.

A la suma de las pérdidas de calor se les denomina carga térmica. El problema de la pérdida real de calor es transitorio, debido a que la temperatura exterior, la velocidad del viento y la radiación solar cambian continuamente. El método del balance térmico relacionado con la carga de enfriamiento durante el verano, también puede utilizarse para condiciones invernales.

Este método toma en cuenta los cambios en la radiación solar, la temperatura exterior y la capacidad de almacenamiento de energía de la estructura. Sin embargo, durante los meses más severos del invierno pueden presentarse largos períodos de clima muy frío, nublado y con tormentas, con pocas variaciones en la temperatura exterior.

En estos periodos la perdida de calor desde el espacio acondicionado será relativamente constate y, en ausencia de ganancias internas de calor, tendrá su máximo en las primeras horas de la mañana.

Por lo tanto, para propósitos de diseño, la pérdida de calor a menudo se calcula para las primeras horas de la mañana, bajo el supuesto de que hay una transferencia de calor en régimen permanente. También se utiliza el análisis transitorio para estudiar los requerimientos reales de energía de una estructura cuando se realizan estudios de simulación. En estos casos se toman en cuenta los efectos de la radiación solar y de las ganancias de calor internas.

5.1. Condiciones exteriores de diseño

El sistema térmico ideal es aquel que proporcionará sólo el calor suficiente para compensar la pérdida de calor desde la estructura. Sin embargo, las condiciones climáticas varían considerablemente de un año a otro, y los sistemas térmicos diseñados para enfrentar las peores condiciones climáticas registradas tendrían un exceso de capacidad la mayor parte del tiempo.

Por lo general, la falta de un sistema térmico para mantener las condiciones de diseño durante breves períodos de clima severo, no es tan grave, excepto para algunos procesos industriales. El anexo 2 contiene temperaturas exteriores que han sido registradas para algunas localidades seleccionadas de Estados Unidos, Canadá y el mundo. Estos datos están basados en los registros de estaciones meteorológicas oficiales, las cuales realizaron observaciones horarias (cada hora) durante los últimos 12 años.

El anexo 2 contiene las condiciones básicas de diseño para calcular tanto la carga de calefacción, como la carga de enfriamiento; no obstante, solamente se comentarán los datos para la carga de calefacción. Las columnas 2, 3, 4 y 5 de las tablas del apéndice A, para las condiciones de calefacción, proporcionan los datos de cada ciudad (latitud y longitud), su altura sobre el nivel del mar y la presión atmosférica estándar local.

Las columnas 6 y 7 dan la frecuencia acumulativa anual (99,6 y 99 por ciento) de la ocurrencia de la temperatura de bulbo seco dada; es decir, aquella que será igualada o excedida 99,6 o 99 por ciento de las 8760 horas del año. Las columnas 8 y 9 dan la velocidad media del viento (MWS), coincidente con el 99,6 por ciento de la temperatura de bulbo seco de la columna 6, y la dirección del viento en grados, medida en el sentido de las manecillas del reloj a partir del norte.

Se puede suponer, para los cálculos de la carga de calefacción, que la humedad específica exterior es igual al valor que tiene para el aire saturado a la temperatura de bulbo seco. En general, la temperatura de diseño exterior debiera tener un valor de 99 por ciento tal como se especifica en las Normas de energía de la ASHRAE.

Si la estructura es construcción ligera (con baja capacidad de retención del calor), está mal aislada o tiene una considerable cantidad de ventanas, o si el control de la temperatura es de suma importancia, entonces debe considerarse el valor de 99,6 por ciento. En el diseño se debe tener presente que si la temperatura exterior cayera por debajo del valor de diseño durante un período prolongado, la temperatura interior podría no alcanzar el nivel de confort.

El usuario de la cámara de pintura tiene ciertas expectativas respecto a desempeño del equipo, por lo que el diseño debe informarle claramente los diversos factores que se deben de considerar en la construcción de la cámara de pintura. También debe considerarse la posibilidad de que ocurran condiciones locales anormales. Constituye una buena práctica hacer acopio de conocimientos relativos a las condiciones locales de diseño.

5.2. Condiciones internas de diseño

En la mayoría de los casos el sistema nunca va a ser ajustado para que opere en las condiciones de diseño. De hecho, es prácticamente imposible controlar el medio para operar en el punto de diseño. Por lo tanto, el uso y ocupación del espacio acondicionado es una consideración general desde el punto de vista de la temperatura de diseño. Posteriormente, cuando se calculan los requerimientos de energía de la maquinaria, deberán considerarse las condiciones reales del espacio acondiciona y del ambiente exterior, incluyendo las ganancias de calor interior. Por lo general, se utiliza una temperatura de diseño de 70 grados F o 22 grados C se encuentra en la parte más baja de la zona de confort, se debe analizar cuidadosamente si conviene mantener una humedad más alta, ya que esto podría provocar condensaciones severas sobre las ventanas y otras superficies, dependiendo de las características del aislamiento de las ventanas y paredes y del tipo de construcción.

Incluso los equipos cuyo tamaño ha sido bien calculado, operan la mayor parte del tiempo por debajo de su capacidad máxima y con una eficiencia reducida. Por tanto, siempre que las dimensiones de un equipo sean mayores a las requeridas, se agravará esta condición y disminuida la eficiencia global del sistema. El valor de diseño de la humedad relativa debe ser compatible con un ambiente interior saludable y con la integridad térmica de la envoltura de la cámara de pintura. No es raro que existan cámaras de pintura dentro de una estructura. Estos espacios, generalmente se encuentran a una temperatura intermedia entre las temperaturas exterior e interior de diseño explicadas. Es necesario conocer la temperatura de un espacio sin calefacción para calcular la pérdida de calor, la cual puede estimarse suponiendo una transferencia de calor de régimen permanente y haciendo un balance térmico en un espacio.

5.3. Pérdidas de calor por transmisión

Se denomina q a la conducción térmica, es el mecanismo de transferencia de calor entre las partes de un continuo, a causa de la transferencia de energía a nivel atómico entre partículas o grupos de partículas. La ecuación de Fourier expresa la conducción de régimen permanente en una dimensión.

$$q = k A dt/dx$$

Donde:

q = tasa de transferencia de calor, Btu/hr o W.

k = conductividad térmica, Btu/(hr – ft – F) o W/(m – C).

A = área normal de flujo de calor, ft² o m².

dt/dx = gradiente de temperatura

La anterior ecuación incorpora un signo negativo debido a que q fluye en la dirección positiva de x cuando dt/dx es negativa. La convección térmica es la transferencia de energía por medio de la conducción y el transporte de masa.

La convección está asociada con los fluidos en movimiento, generalmente a través de un tubo, un ducto o a lo largo de una superficie, todo el calor transferido a través de las paredes, techos, plafones, ventanas, pisos y puertas es sensible a la transferencia de calor, a la cual se le denomina pérdida de calor por transmisión de calor, y se calcula a partir de:

$$q = UA (t_i - t_o)$$

El coeficiente de transferencia de calor global se determina como se indicó anteriormente, donde el área es el área neta del componente para el cual se calculó U. Se hace un cálculo por separado para cada una de las superficies de cada recinto de la estructura. En caso de que se realice manualmente los cálculos, se llevará un registro para asegurarse de que está haciendo una estimación completa de las pérdidas de calor. Una hoja de registro constituye un instrumento conveniente para ordenar los coeficientes y las áreas. Deben hacerse sumatorias parciales para cada recinto y una sumatoria general para la estructura completa. Los programas de hojas de cálculo para computadoras personales facilitan mucho la elaboración de los cálculos de la carga, o se puede elaborar un programa especial para realizar los cálculos e imprimir los resultados.

5.4. Infiltración

En la mayoría de las estructuras ocurre el fenómeno de infiltración o fuga de aire. Esto significa una pérdida de calor, ya que el aire frío del exterior debe calentarse hasta que alcance la temperatura de diseño interior; además debe agregársele humedad para que alcance el mismo nivel que el valor de diseño. El calor sensible requerido (para incrementar su temperatura) está dado por la siguiente ecuación:

$$q_s = m_o c_p (t_i - t_o)$$

Donde:

m_o = tasa de flujo volumétrico del aire de infiltración, lbm / hr o kg / s

c_p = capacidad térmica específica del aire, Btu / (lbm – F) o J / (Kg – C)

Se utilizan varios métodos para estimar la infiltración de aire en las estructuras. Se desarrollarán dos métodos. En uno de ellos la estimación se basa en las características de las ventanas, paredes y puertas, y en el diferencial de presión entre el interior y el exterior.

Se le conoce como método de las fisuras o rendijas de las ventanas y puertas. Al otro enfoque se le denomina método del cambio de aire, el cual se basa en el número supuesto de cambios de aire que ocurren por hora, de acuerdo con observaciones empíricas. Generalmente, se considera que el método de las fisuras es más preciso, siempre que éstas y los diferenciales de presión puedan evaluarse de manera apropiada.

Sin embargo, la predicción precisa de la tasa de infiltración de aire se ve restringida por la información limitada que existe sobre las características de las fugas de aire de todos los componentes diferentes que constituyen la estructura. Los diferenciales de presión son difíciles de predecir, debido a las condiciones variables del viento y al efecto de chimenea que ocurre en edificios altos.

5.4.1. Método del cambio de aire

Se requiere experiencia y buen juicio para obtener resultados satisfactorios con este método. A menudo, los ingenieros experimentados hacen un cálculo del número de cambios de aire por hora (ACH) que experimenta un recinto, con base en la valoración realizada acerca del tipo de construcción y uso del recinto. El rango suele fluctuar de 0,5 ACH (muy bajo) a ACH (muy alto). Por ejemplo, los edificios de oficinas modernos experimentan una tasa de infiltración muy baja, la cual puede acercarse a 0,1 ACH.

Este enfoque resulta satisfactorio para los cálculos de la carga de diseño. La tasa de infiltración está relacionada con los ACH y con el volumen del espacio, de la siguiente manera:

$$Q = (ACH) (V) / (C)$$

Q = tasa de infiltración, cfm ó m³ / s

V = volumen total del espacio, ft³ ó m³

C = constante, 60 para unidades inglesas y 3,600 para unidades del SI

5.4.2. Método de las fisuras

El aire exterior se infiltra al espacio interior a través de las fisuras alrededor de las puertas, ventanas, salidas de la instalación eléctrica y de las juntas entre las paredes y los pisos, e incluso a través del propio material de construcción. La cantidad depende del área total de las fisuras, del tipo de fisuras y del diferencial de presión ente ambos lados de las fisuras. La tasa de flujo volumétrico de la infiltración puede calcularse así:

$$Q = AC \Delta P^n$$

Donde:

A = área de filtración efectiva de las fisuras

C = coeficiente de flujo, el cual depende del tipo de fisura y de la naturaleza del flujo dentro de la fisura

ΔP = diferencial de presión entre el exterior y el interior, $P_o - P_i$

n = exponente que depende de la naturaleza del flujo en el interior de la fisura, $0,4 < n < 1,0$

Se requieren datos experimentales para utilizar directamente la ecuación anterior; no obstante, esta relación es útil para comprender el problema. Las curvas muestran con claridad el comportamiento de la ecuación anterior. El diferencial de presión de la ecuación de la tasa de flujo volumétrico de la infiltración es el resultado de tres efectos diferentes:

$$\Delta P = \Delta P_w + \Delta P_s + \Delta P_p$$

Donde:

ΔP_w = diferencial de presión debido al viento

ΔP_s = diferencial de presión debido al efecto de chimenea

ΔP_p = diferencial de presión debido a la presurización del recinto

Cada uno de los diferenciales de presión se toma como positivo cuando causa un flujo de aire hacia el interior del recinto. El diferencial de presión debido al viento se debe al incremento o decremento de la velocidad del aire, y se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\Delta P_w = \rho / 2g_c (V_w^2 - V_i^2)$$

Donde ΔP_w tiene como unidad la lbf / ft² o el de Pa cuando se utilizan unidades del Sistema Internacional. La velocidad V_f es la velocidad final del viento en los alrededores del recinto. Puede observarse que ΔP_w es positiva cuando ($V_w > V_f$), lo cual da un incremento en la presión. La presión V_f no es conocida ni es fácil de predecir, en donde se utiliza un coeficiente de presión definido por:

$$C_p = \Delta P_w / \Delta P_{wt}$$

Para tomar en cuenta el hecho de que V_f no es igual a cero. El diferencial de presión ΔP_{wt} es el diferencial que se obtiene cuando V_f es igual a cero. El coeficiente de presión puede ser positivo o negativo. Finalmente, la ecuación para el coeficiente de presión se reescribe así:

$$\Delta P_w / C_p = \rho / 2g_c V_w^2$$

5.5. Fuentes de calor

Se puede estimar la energía calorífica producida por las personas, luces, motores y maquinaria que se encuentran dentro de un espacio acondicionado, pero siempre que esta energía se incluya en los cálculos debe procederse con mucho cuidado. Ciertos recintos pueden no estar ocupados durante las tardes, los fines de semana y otros períodos; sin embargo, estos espacios deben ser calentados hasta una temperatura razonablemente confortable antes de ser ocupados. De hecho en algunas situaciones se genera tanta energía calorífica, que debe utilizarse aire exterior para calentar estos espacios. Las fuentes de calor en este caso pueden ser a través de resistencias eléctricas, flama a base de gasolina, diesel o el calor generado a través de una caldera.

5.6. Diseños termodinámicos de cámaras de pintura fija y móvil

Los diseños termodinámicos de cámaras de pintura fija y móvil, se describen a continuación.

5.6.1. Criterios de diseño para condiciones internas y externas

Los criterios de diseño para condiciones internas y externas para las cámaras de pintura, varían dependiendo el lugar donde se instalarán; como uno de los objetivos del presente trabajo de graduación es comercializar las cámaras de pintura a talleres pequeños y medianos en la República de Guatemala se tomarán como mercado objetivo las cabeceras departamentales de: Guatemala 1540 metros sobre el nivel del mar (msnm) aproximadamente; Quetzaltenango 2250 msnm aproximadamente; Escuintla 350 msnm aproximadamente; Alta Verapaz 1350 msnm aproximadamente e Izabal 50 msnm, aproximadamente.

Otros parámetros que se deben tenerse en cuenta para los criterios de diseño son: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, presión atmosférica local, velocidad media del viento, dirección del viento, humedad específica. Tomar en cuenta para las cámaras de pintura fijas el tipo de edificio o estructura en donde se instalarán.

5.6.2. Criterios de diseño de pérdidas de calor e infiltración

Las pérdidas de calor transferido son a través de las paredes, techos, ventanas, pisos y puertas y es sensible a la transferencia de calor los cuales se tomarán en cuenta.

Para la infiltración o fuga de aire se tomará en cuenta el método de las fisuras, el aire exterior se infiltra al espacio interior a través de las fisuras alrededor de las puertas, ventanas, juntas entre paredes y los pisos, e incluso a través de los paneles de las cámaras de pintura.

Para evitar la fuga de aire a través de las fisuras alrededor de las puertas, ventanas, juntas entre paredes, pisos, paneles, etc., se colocará silicón de alta temperatura para evitar dicha fuga.

Para evitar la fuga de aire a través de los ensambles de los paneles de las paredes y techo de las cámaras de pintura, se tomó en cuenta, porque están conformados en forma geométrica de medio hexágono, la unión lateral derecha será hembra y la unión lateral izquierda será macho. Esta consideración se tomó para que el ensamble con la ayuda del silicón sea hermético en un 98%.

5.6.3. Criterios de diseño para fuentes de calor

La fuente de calor que se utilizará en las cámaras de pintura de automóviles, son reflectores incandescentes de 300 watts, construidos especialmente para que el rendimiento calorífico sea muy elevado aunque el luminoso sea pequeño.

Se decidió utilizar reflectores incandescentes debido a que la regulación de la temperatura se puede realizar de una forma casi inmediata con la ayuda de termo coplas, sensores de humedad y sistemas de control automático, que dependen de las especificaciones del tipo de pintura que se debe aplicar a los automóviles.

6. PROPUESTA DE PATENTE DE INVENCION O DISEÑO INDUSTRIAL DE CÁMARAS DE PINTURA

Actualmente se observa la más poderosa evidencia de que el ingenio, o la facultad creadora, juegan un importante papel en el logro de merecidos éxitos. En el trabajo científico o en el tecnológico, son las consecuencias de decisiones tomadas tempranamente en un proyecto, las que son más probables de llamarse creadoras, aquéllas que se hacen en las últimas etapas de un proyecto, a éstas que con más probabilidades, se les llama ingeniosas o hábiles. En cualquier punto del trabajo científico principal, pero especialmente casi al principio de un proyecto, el científico o el ingeniero se enfrentan a un número enorme de posibles cursos de acción.

Es imposible para él evaluar cada alternativa explícitamente, a pesar de que la lógica del enfoque de una tabla de decisiones pueda ayudar. El individuo verdaderamente creador, a quien se le llama genio, tiene la misteriosa facultad para sugerir una línea de esfuerzos o solución potencial de problemas que no sólo es poco usual y original, sino que a su vez en ulteriores investigaciones es especialmente efectiva en la resolución del problema o ayuda a una comprensión científica posterior.

La facultad creadora es una medida de la elección hecha para llegar a la solución de un problema. El grado de facultad creadora atribuido a una solución particular se mide por:

- El grado en que la elección hecha tiene éxito en la resolución del problema.

- El grado en que la elección hecha es poco usual con respecto de aquellas elecciones de solución que podrían realizarse más comúnmente.

Según esta definición, la facultad creadora mide no sólo la imaginación inherente al concepto de diseño escogido para la resolución de un problema, sino también la efectividad con que se realiza la solución del problema. La facultad creadora no está normalmente asociada con malas soluciones, sin importar qué tan novedosas puedan ser.

En un tiempo se creyó que la facultad creadora era un don divino que dividía a la humanidad en dos especies, la creadora y la no creadora. Sin embargo, esta creencia ha dado paso a la opinión de que la facultad creadora es un continuo a lo largo de la cual residen los individuos. Este moderno punto de vista sostiene que la facultad creadora la posee en algún grado todo el mundo.

6.1. Descripción de la propuesta de cámaras de pintura fija y móvil

La propuesta de cámaras de pintura fija y móvil responde a satisfacer la necesidad de brindar a talleres de enderezado y pintura, pequeños y medianos, adquirir una cámara de pintura a un costo accesible, observando normas nacionales e internacionales de fabricación, calidad y protección del ambiente.

Este tipo de cámaras de pintura por lo general se importan de países como México y Colombia. En la República de Guatemala se pueden fabricar dichas cámaras de pintura y ahorrar los costos de importar tecnología, impuestos, mano de obra extranjera, etc. El ahorro de estos costos puede llegar hasta un 40% del valor total de la cámara de pintura.

La iniciativa del diseño mecánico y propuesta de patente de invención o diseño industrial de cámaras de pintura fija y móvil para automóviles, responde al impulso de investigar, desarrollar e innovar en un mercado objetivo poco explotado.

6.2. Dibujos y diagramas de cámara de pintura fija

Confidencial por tratarse de una Patente o Diseño Industrial y presentados únicamente al asesor de tesis, Coordinador de Área Térmica, Coordinador del Área de Diseño de Máquinas y Director de Escuela de Ingeniería Mecánica.

6.3. Dibujos y diagramas de cámara de pintura móvil

Confidencial por tratarse de una Patente o Diseño Industrial y presentados únicamente al asesor de tesis, Coordinador de Área Térmica, Coordinador del Área de Diseño de Máquinas y Director de Escuela de Ingeniería Mecánica).

6.4. Resumen de propuesta de cámaras de pintura fija y móvil

Las cámaras de pintura fija y móvil son recintos donde se realizan dos trabajos. El primero es la aplicación de pintura sobre la superficie de automóviles o piezas de la carrocería de automóviles ya terminadas en su trabajo de enderezado y listas para la aplicación de la misma (pintura).

El segundo trabajo es el horneado de la pintura aplicada en los automóviles de acuerdo a las especificaciones técnicas del tipo de pintura; condiciones ambientales como: altura, temperatura, humedad en donde se realizará el trabajo.

Para la realización de las cámaras de pintura se tomaron los siguientes factores:

- Legislación nacional aplicable a la fabricación, comercialización y uso de cámaras de pintura.
- Normas nacionales e internacionales (principales) de calidad aplicables a la fabricación, comercialización y uso de cámaras de pintura.
- Normas nacionales e internacionales (principales) de protección del ambiente, aplicables a la fabricación, comercialización.
- Diseño estructural aplicado a la elaboración de las cámaras de pintura.
- Diseño de acondicionamiento de aire y protección ambiental, aplicado a la elaboración de cámaras de pintura.
- Diseño de instalación mecánica neumática, aplicado a la elaboración de cámaras de pintura.
- Diseño termodinámico, aplicado a la elaboración de cámaras de pintura.

7. PROCEDIMIENTO PARA OTORGAR PATENTES DE INVENCIÓN, MODELOS DE UTILIDAD Y REGISTRO DE DIBUJOS Y DISEÑOS INDUSTRIALES (DECRETO No. 57 – 2000, LEY DE PROPIEDAD INDUSTRIAL)

El procedimiento para otorgar patentes de invención, modelos de utilidad y registro de dibujos y diseños industriales se circunscribe en el artículo 103 (reformado por el artículo 54 del Decreto No. 11-206 del Congreso de la República). El apéndice A, indica una la ruta para la solicitud de una patente o modelo de utilidad,

7.1. Presentar el formulario de solicitud

El solicitante de una patente podrá ser una persona individual o jurídica. La solicitud de patente de invención deberá presentarse al registro y deberá contener: Los datos generales del solicitante o de su representante legal, acreditando dicha representación. Lugar de constitución cuando se trate de una persona jurídica. Nombre de la invención y del inventor y su dirección.

Pueden conocerse los efectos derivados de la presentación de una solicitud internacional cuando estén establecidos en un tratado o convenio del que la República de Guatemala sea parte. En ese caso, el examen de forma, la publicación de la solicitud y cualquier otro aspecto del procedimiento deben quedar regidos por lo establecido en el tratado o convenio y por los reglamentos específicos que emita el Organismo Ejecutivo a sugerencia del Ministerio de Economía.

Artículo 105. Documentos anexos: descripción del invento, en original y una copia. Reivindicaciones, en original y una copia. Dibujos en original y una copia. Resumen en original y una copia. Comprobante original de pago del impuesto correspondiente, ya sea Patente de invención, Modelo de utilidad ó Diseños Industriales. Mandato con el que se acredita la representación, (documento de Poder). Documento de Cesión de Derechos, (en caso que el Inventor no sea el solicitante). La solicitud y los documentos que la acompañan serán recibidos por el Registro y gozarán de garantía de confidencialidad por un plazo máximo de dieciocho meses, contados a partir de la fecha de presentación de la solicitud, o bien, desde la fecha de la prioridad invocada, según sea el caso.

7.2. Fecha de presentación de la solicitud

Artículo 106. El Registro le anotará fecha y hora de la presentación a la solicitud de patente, le asignará número de expediente y entregará al solicitante un recibo de la solicitud y de los documentos presentados. Sin perjuicio de lo establecido en al artículo 113 de esta ley (Ley de Propiedad Industrial y su Reglamento), el Registro procederá conforme el párrafo anterior, aún si la solicitud o contiene toda la información o no adjuntan todos los documentos a que se refieren los artículos anteriores, siempre que la misma cumpla al menos con los siguientes requisitos: expresa con claridad que se solicita una patente. Contiene información que permita identificar al inventor, al solicitante y al representante de éste, en su caso, e identifica dirección para recibir notificaciones. Se acompaña de un ejemplar de la descripción de la invención, de los dibujos que correspondieran y el comprobante de pago de la tasa establecida.

7.2.1. Unidad de la invención

Artículo 107, una solicitud de patente sólo podrá comprender una invención, o un grupo de invenciones vinculadas entre sí de manera que conformen un único concepto inventivo.

7.3. Examen de forma

Artículo 113 (reformado por el artículo 57 del Decreto No. 11-2006 del Congreso de la República). El registro examinará si la solicitud cumple con los requisitos de los artículos 103 y 105 de esta ley. En caso de observarse alguna omisión o deferencia y dentro de un plazo que no exceda de un (1) mes contado a partir de la fecha de presentación de la solicitud, el registro deberá requerir al solicitante que efectúa las correcciones necesarias o presente los documentos omitidos. Si el solicitante no cumple con lo requerido dentro de un plazo de tres (3) meses contados a partir de la fecha de la notificación, la solicitud se tendrá por abandonada.

7.4. Edicto

Artículo 115, el contenido del edicto, se refiere al artículo 114 y debe contener: el número de solicitud. La fecha de presentación de la solicitud. El nombre y el domicilio del solicitante y del inventor. El nombre del representante del solicitante si lo hubiese. El país u oficina, fecha y número de cada solicitud cuya prioridad se hubiese reclamado. El símbolo de clasificación, cuando se hubiesen asignado. El nombre de la invención. El resumen, de conformidad con el artículo 112 de esta ley. Un dibujo representativo de la invención, si lo hubiere, seleccionado por el Registro. Fecha y firma del Registrador o funcionario del Registro que éste designe para tal efecto.

7.5. Publicación

Artículo 114: al cumplirse el plazo de dieciocho meses contando desde la fecha de presentación de la solicitud de patente o, cuando se hubiese invocado un derecho de prioridad, desde la fecha de prioridad aplicable, el Registro ordenará que se publique la solicitud emitiendo el edicto correspondiente. No obstante, previa petición escrita del solicitante, el Registro podrá ordenar la publicación de la solicitud antes de que trascorra el plazo establecido. No se ordenará la publicación de una solicitud que hubiese sido objeto de desistimiento o de abandono.

El edicto deberá publicarse en el diario oficial por una sola vez, a costa del interesado, dentro de los seis meses siguientes a su entrega. Si la publicación del edicto no se efectúa, o bien, si el solicitante no presenta al registro el ejemplar del diario oficial dentro de los dos meses siguientes a la fecha de la misma, la solicitud se tendrá por abandonada.

A partir del día siguiente de la fecha de publicación del edicto, o de la fecha de vencimiento del plazo establecido en el párrafo tres del artículo 105 de esta ley, lo que ocurra primero, el expediente correspondiente podrá ser consultado por cualquier persona interesada para fines de información, salvo que antes se hubiese presentado y aprobado el desistimiento de la solicitud.

7.6. Período de observaciones

Artículo 116: toda persona, dentro los tres meses siguientes a la publicación del edicto, presentar por escrito ante el Registro, las observaciones con relación a la patentabilidad de la invención, incluyendo informaciones o documentos que estime pertinentes.

El Registro notificará al solicitante de la patente las observaciones presentadas para que, dentro del plazo de los tres meses siguientes, pueda manifestar sobre las mismas y presentar la información y documentación que estime pertinentes. La presentación de observaciones no suspenderá la tramitación de la solicitud. Quien las formule no pasará por ello a ser parte en el procedimiento y, una vez otorgada la patente, tampoco tendrá impedimento para presentar una acción de nulidad contra la misma.

7.6.1. Comentarios de las observaciones.

Artículo 117: trascurridos tres (3) meses después de la fecha de publicación del edicto o de notificadas al solicitante de la patente las observaciones presentadas si fuese el caso.

7.6.2. Notificación de la orden de pago.

Artículo 117: el Registro procederá a fijar la tasa correspondiente para cubrir el examen de fondo, el cual deberá hacerse efectivo dentro del mes siguiente a la fecha de la notificación al solicitante de la orden de pago respectiva, pues de lo contrario la solicitud se tendrá por abandonada. Posteriormente, procederá a efectuar el examen de fondo de la solicitud, previa presentación por el solicitante del comprobante del pago de la tasa fijada.

7.7. Examen de fondo

Artículo 117: dicho examen tendrá por objetivo determinar si la invención reivindicada se ajuste a lo que disponen los artículos 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 107, 108, 109, 110, y 111 de la Ley de Propiedad Industrial y su reglamento, así como lo que establece el artículo 104, cuando fuere pertinente.

El examen podrá ser realizado por personal del Registro, por técnicos independientes, por entidades públicas o privadas. Al realizar el examen de fondo, los técnicos independientes y las entidades públicas o privadas que realicen el examen a solicitud del Registro pueden ser nacionales o extranjeros.

Al realizarse el examen de fondo se tomará en cuenta la información aportada por el solicitante o, en su caso, por quien haya formulado observaciones, incluyendo lo relativo al informe de búsqueda realizado por el examinador, así como los exámenes de novedad o de patentabilidad efectuados por otras oficinas de propiedad industrial y referidos a la misma materia de la solicitud. El registro podrá considerar suficientes los resultados de dichos exámenes para acreditar el cumplimiento de las condiciones de patentabilidad de la invención.

La cuestión de si una invención es o no patentable por falta de novedad o nivel inventivo se resolverá caso por caso según corresponda, considerando los hechos pertinentes, por ejemplo, entre otros: el alcance y contenido del estado de la técnica; las diferencias entre el estado actual de la técnica y la reivindicación; el nivel de destreza común en la técnica pertinente y factores secundarios apropiados como el éxito comercial, necesidades largamente sentidas, pero no resueltas, el fracaso de otros y resultados inesperados.

7.7.1. Requisitos

Artículo 118: (reformada por el artículo 59 del Decreto No. 11-2006 del Congreso de la República) Otros documentos, para los efectos del examen de fondo, el Registro podrá requerir al solicitante que presente, dentro de un plazo de tres (3) meses contados a partir de la notificación respectiva, prorrogable a un mes más en casos calificados por el Registro, una copia sin legalización y

con traducción simple de cualquier material contenido en un expediente administrativo o judicial del extranjero relacionado con la solicitud en trámite, incluyendo entre otras: la propia solicitud; los resultados de los exámenes de novedad o patentabilidad; la patente u otro título de protección que se hubiese concedido; toda la resolución o fallo por el cual se hubiese rechazado, denegado u otorgado la solicitud de patente y toda resolución o fallo en que la patente u otro título de protección concedido haya sido revocado, anulado, invalidado o cancelado.

A petición del solicitante, o bien de oficio, el Registro podrá suspender la tramitación de la solicitud de patente cuando algún documento que deba ser presentado por el solicitante conforme a este artículo no se haya emitido en el país en cuestión. El solicitante podrá formular las observaciones y comentarios que estime pertinentes respecto a la información o documentos que proporcione. Si del examen de fondo resultare que previo al otorgamiento de la patente es necesario completar la documentación presentada, corregir, modificar o dividir la solicitud, el Registro lo notificará al solicitante para que, dentro de los (3) meses siguientes, cumpla con lo requerido o presente los comentarios o documentos que convinieran en sustento de la solicitud. Este procedimiento podrá realizarse cuantas veces lo estime necesario el Registro.

7.7.2. Resolución sobre la solicitud de la patente de invención

Artículo 119: (reformado por el artículo 60 del Decreto No. 11-2006 del Congreso de la República), resolución sobre la solicitud de patente, cumplidos los trámites y requisitos que establece esta ley, el Registro resolverá sobre la solicitud de patente. Si ésta fuere rechazada total o parcialmente, la resolución respectiva deberá contener los motivos y fundamentos jurídicos de tal rechazo.

Si se resolviera concediendo la patente solicitada, el Registro ordenará que se proceda a la inscripción correspondiente, previa acreditación del pago de la tasa correspondiente dentro del mes siguiente a la notificación de la solución de concesión de la patente. Si la patente se otorgara parcialmente, el Registro ordenará en la resolución misma, que el solicitante presente, dentro de los tres (3) meses siguientes a la notificación de la resolución, el documento relacionado con las reivindicaciones, de conformidad con la aprobación. La inscripción debe contener: el número de expediente; la fecha de presentación de la solicitud; el nombre y domicilio del solicitante y del inventor; el símbolo o símbolos de clasificación, cuando se hubiesen asignado; el nombre de la invención; un resumen, en los términos que establece el artículo 112 de esta ley; un dibujo representativo de la invención, si lo hubiere, seleccionado por el Registro; el país u oficina, fecha y número de solicitudes cuya prioridad se hubiesen reclamado; firma y sello del registrador.

7.8. Otorgamiento de la patente ó registro

Artículo 120. Certificado de patente: efectuada la inscripción de la patente, el Registro expedirá el certificado correspondiente que contendrá los datos de la inscripción, agregando al mismo una copia de la descripción, de las reivindicaciones, de los dibujos y del resumen. El certificado deberá contener también, mención expresa de que la patente se otorga sin perjuicio de mejor derecho de tercero y bajo la exclusiva responsabilidad del solicitante.

7.9. Vigencia de la protección

La vigencia de la protección a partir de la fecha de presentación de la solicitud al Registro de la Propiedad Intelectual es: patentes de invención 20

años; patentes de modelos de utilidad 10 años; registro de dibujos y diseños industriales 10 años, renovables por 5 más.

7.10. Pago de anualidades para mantener vigente la patente o el registro

El pago de anualidades para mantener vigente la patente o el registro, (al inicio del tercer año después de ingresada la solicitud en el Registro de la Propiedad Intelectual), se solicita la orden de pago en el Departamento de Patentes.

CONCLUSIONES

1. El diseño mecánico y propuesta de patente de invención o diseño industrial de cámaras de pintura fija y móvil en Guatemala, sí es posible debido a que se cuenta con el conocimiento de leyes, normas nacionales e internacionales de fabricación, calidad y protección del ambiente.
2. La implementación de diseños mecánicos de máquinas térmicas y propuestas de patentes de invención o diseños industriales de las mismas pueden competir desde los puntos de vista tecnológicos, económicos y ambientales; siempre y cuando sean técnicamente funcionales, respondan y satisfagan las necesidades del mercado objetivo. Asimismo, los costos de fabricación, comercialización y ganancia sean competitivos en comparación de artículos fabricados en el extranjero.
3. Para la implementación de criterios de fabricación, comercialización y uso de cámaras de pinturas, se desarrollarán a través de la fabricación de un modelo real.
4. La oferta económica de cámaras de pintura fija y móvil se puede realizar a través de un banco de desarrollo, fundaciones u organizaciones no gubernamentales que velan por el desarrollo de pequeñas y medianas empresas, etc.
5. El mercado objetivo, para la comercialización de cámaras de pintura fija y móvil, para talleres pequeños y medianos, se encuentran en las principales cabeceras departamentales de Guatemala, Escuintla, Quetzaltenango, Alta Verapaz e Izabal.

RECOMENDACIONES

1. Crear concursos de diseño mecánico temáticos, para estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica, con el fin de despertar ingenio, competitividad y creatividad.
2. Impulsar proyectos de diseño mecánico factibles, a través de incentivos económicos no reembolsables, para estudiantes de pregrado de la carrera de Ingeniería Mecánica.
3. Desarrollar una cultura de protección ambiental, innovación y ahorro energético en los estudiantes de Ingeniería Mecánica.

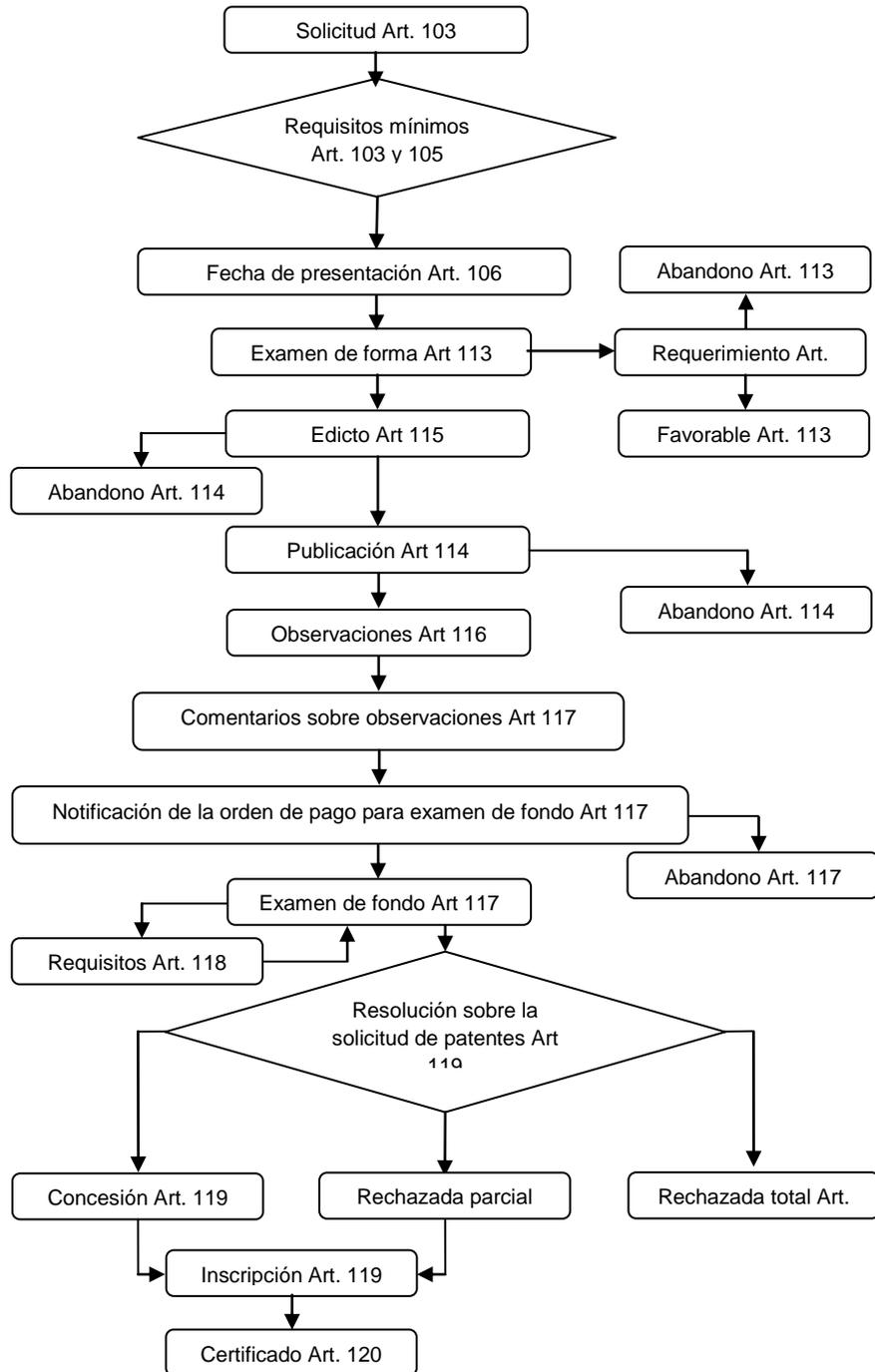
BIBLIOGRAFÍA

1. ALGER, John R.; HAYS, Carl V. *Síntesis creadora en el diseño*. México: Herrero Hermanos, 1969. 108 p.
2. ASKELAND, Donald R. *La ciencia e ingeniería de los materiales*. México: Grupo Editorial Iberoamérica, 1987. 556 p.
3. AVNER, Sydney H. *Introducción a la metalurgia física*. 2ª ed. México: McGraw–Hill, 1994. 695 p.
4. BEER, Ferdinand P.; JOHNSTON, E. Russell Jr. *Mecánica de materiales*. 2ª ed. Colombia: McGraw–Hill, 1993. 738 p.
5. CENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. *Termodinámica*. 4ª ed. México: McGraw–Hill, 2003. 829 p.
6. FITZGERALD, Robert W. *Mecánica de materiales*. México: Alfaomega, 1996. 557 p.
7. MARKS, Lionel S; BAUMEISTER, Theodore. *Manual del Ingeniero Mecánico*. México: Uteha, 1960. 2596 p.
8. MOTT, Robert L. *Mecánica de fluidos aplicada*. 4ª ed. México: Prentice-Hall. 1996. 580 p.
9. McQUISTON, Faye; PARKER, Jerald D.; SPITLER, Jeffrey D. *Calefacción, ventilación y aire acondicionado*. México: Limusa–Willey, 2003. 623 p.

10. NASH, William A. *Resistencia de materiales*. México: McGraw–Hill, 1986. 299 P.
11. OSSORIO, Manuel: *diccionario de ciencia jurídica, política y sociales*. Argentina: Heliasta. 1981. 797 p.
12. SINGER, Ferdinand L; PYTEL, Andrew. *Resistencia de materiales*. 3ª ed. México: Harla, 1982. 560 p.
13. SPOTTS, M.F. *Proyecto de elementos de máquinas*. 2ª ed. España: Reverte, 1976. 684 p.
14. WARK, Kenneth Jr. *Termodinámica*. 2ª ed. México: McGraw-Hill, 1999. 923 p.
15. Guatemala. *Constitución de la Republica de Guatemala*, Guatemala: Tipografía Nacional 1985. 180 p.
16. Guatemala. *Ley de propiedad industrial y su reglamento*, Acuerdo Gubernativo Numero 89-2002. 142 p.

APÉNDICE

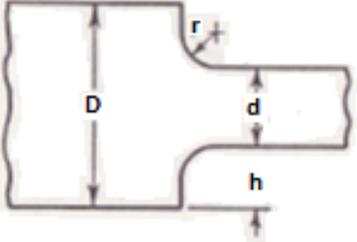
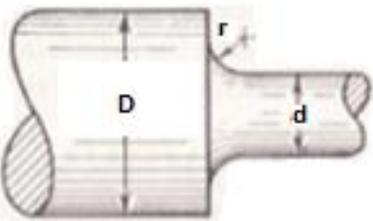
Ruta para la solicitud de una patente o modelo de utilidad



Fuente: elaboración propia.

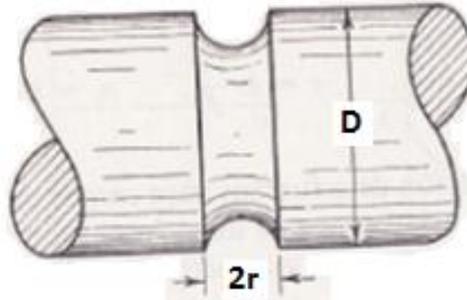
ANEXO 1

Factores de concentración de esfuerzo

Factores de concentración de esfuerzo							
I. Variación en escuadra con enlace, en una barra rectangular							
							
(a) Tensión		r/d					
	h/r	0,05	0,10	0,20	0,27	0,50	1,0
	0,5	1,70	1,60	1,53	1,47	1,39	1,21
	1,0	1,93	1,78	1,67	1,59	1,42	1,22
	1,5	-----	1,89	1,72	1,65	1,43	1,23
2,0	-----	1,95	1,80	1,70	1,44	1,23	
(b) Flexión		r/d					
	h/r	0,05	0,10	0,20	0,27	0,50	1,0
	0,5	1,61	1,49	1,39	1,34	1,22	1,07
	1,0	1,91	1,70	1,48	1,38	1,22	1,08
	1,5	2,00	1,73	1,50	1,39	1,23	1,08
2,0	-----	1,74	1,52	1,39	1,23	1,09	
II. Variación en escuadra, con enlace, en eje de sección circular							
							
(a) Tensión: Aproximación como en caso I (a)							
(b) Flexión: Aproximación como en el caso I (a)							
(c) Torsión		r/d					
	D/d	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04	0,10
	2,00	-----	3,0	2,25	2,00	1,82	1,44
	1,33	-----	2,7	2,16	1,91	1,76	1,40
	1,20	3,00	2,5	2,00	1,75	1,62	1,34
1,09	2,20	1,88	1,53	1,40	1,30	1,11	

Continuación de anexo 1

III. Garganta semicircular en ejes de sección circular



(a) Tensión	$\frac{r}{D - 2r}$	0,05	0,15	0,30	0,40	0,52	0,75
	k	2,57	2,16	1,81	1,65	1,51	1,36
(b) Flexión	$\frac{r}{D - 2r}$	0,05	0,10	0,20	0,30	0,50	0,75
	k	2,20	1,86	1,59	1,45	1,30	1,18
(c) Torsión	$k = \frac{2D}{D + 2r}$						

Fuente: SPOTTS, M.F. *Proyectos de elementos de máquinas*. p.230.

ANEXO 2

Condiciones de diseño para calefacción y refrigeración

Condiciones de diseño para calefacción y refrigeración (Estados Unidos, Canadá y resto del mundo), en unidades inglesas																			
Estación	Latitud grados	Long. grados	Altud (sobre el nivel del mar)	Calef.		VMV/DMV ABS 99.6% 0.4%				Enfriamiento TBS/TMBH 0.4% 1% 2%						HE 1% gr	Rango de TBS F		
				99.6%	99%	VMV, mph	DMV, grad.	VMV, mph	DMV, grad.	TBS, F	TMBH, F	TBS, F	TMBH, F	TBS, F	TMBH, F				
Alaska	61.17	150.02	13	-14	-9	4	10	8	290	71	59	68	57	65	56	58	66	64	12.6
Arizona	32.12	110.93	2556	3.1	34	7	140	12	300	104	68	102	66	100	65	71	87	111	29.4
California	37.82	122.38	15	3.7	39	5	160	13	300	83	63	78	62	74	61	63	75	73	16.7
Florida	28.43	81.32	105	3.7	42	8	330	9	290	94	76	93	76	92	76	79	88	139	16.6
Hawái	21.35	157.93	15	6.1	53	5	320	15	60	89	73	88	73	87	73	75	84	120	12.2
Boston	42.37	71.03	30	7	12	17	320	14	270	91	73	87	71	84	70	74	83	113	15.3
Chicago	41.98	87.90	673	-6	-1	10	270	12	230	91	74	88	73	86	71	75	85	123	19.6
Mainland	39.18	76.67	154	-3	2	7	320	12	270	93	75	91	74	88	73	76	86	125	18.8
Minnesota	44.88	93.22	837	-16	-11	9	300	14	180	91	73	88	71	85	70	74	84	116	19.1
Maine	46.87	68.02	623	-14	-10	10	270	13	250	85	69	82	67	79	66	70	77	104	19.5
Montana	41.80	108.53	3570	-13	-7	10	230	10	240	93	63	90	62	87	61	64	84	78	25.8
Atlanta	33.85	84.42	1033	1.8	23	12	320	9	300	93	75	91	74	88	73	78	87	128	17.3
Las Vegas	36.08	115.17	2178	2.7	30	7	250	12	230	108	66	106	66	103	65	70	93	92	24.8
Omaha	45.32	75.67	374	-13	-8	9	290	10	250	86	70	83	69	80	67	71	80	106	18.5
Quebec	46.47	73.76	118	-12	-7	7	250	11	230	86	71	83	70	80	68	72	80	106	17.6
Australia	33.95 S	151.18 E	10	4.2	44	2	320	12	300	90	68	85	67	82	68	72	79	111	12.1
China	31.17 N	121.43 E	22	2.6	29	6	290	8	200	94	81	92	81	89	80	82	89	157	11.5
Francia	49.02 N	2.53 E	357	1.8	23	10	60	9	60	86	69	82	68	79	66	69	79	97	18.7
Alemania	52.47 N	13.40 E	160	1.1	15	8	80	8	150	86	66	82	65	79	64	67	79	86	16.7
India	13.00 N	80.18 E	52	6.8	69	2	290	8	270	101	77	99	77	97	77	82	90	159	14.6
Israel	31.78 N	35.22 E	2473	3.3	36	6	270	10	290	89	65	86	64	84	63	69	79	104	18.4
Japón	35.77 N	140.38 E	144	2.3	25	5	330	11	10	89	78	87	78	85	76	78	85	141	13.5
México	19.45 N	99.08 W	7239	3.9	42	5	90	11	380	84	57	82	57	80	56	61	73	92	24.8
Rusia	55.75 N	37.63 E	51.1	-10	-4	3	20	4	210	82	67	79	65	76	64	67	76	90	14.8
Arabia	24.72 N	46.72 E	2007	4.1	44	4	320	11	360	111	64	110	64	108	64	67	97	83	26.2
Sudáfrica	26.13 S	28.23 E	5577	3.4	37	9	210	9	300	84	60	82	60	80	60	65	76	99	18.7
Taiwán	25.07 N	121.55 E	19	4.8	50	4	110	11	290	94	80	93	80	92	80	81	90	150	13.3
Londres	51.48 N	0.45 W	75	2.5	28	6	20	10	90	81	66	78	64	75	63	65	75	83	16.6

SNM = sobre el nivel del mar. TMBH = temperatura media de bulbo húmedo (coincidente). VMV = velocidad media del viento (coincidente). DMV = dirección media del viento (coincidente). TMBH = temperatura media de bulbo húmedo (coincidente). HE = humedad específica, gramos. Rango = rango diario de temperatura de bulbo seco. Fuente: ASHRAE Handbook, Fundamentals Volume.

Fuente: McQUINSTON, Faye C., PARKER, Jerald D. y SPITLER, Jeffrey D.
Calefacción, ventilación y aire acondicionado. p. 622.