



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

**DISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN DE UN CENTRO HOSPITALARIO, CON CAPACIDAD DE 2 250 KVA BAJO NORMAS Y ESTÁNDARES: CÓDIGO NACIONAL ELÉCTRICO CON ÉNFASIS EN EL ARTÍCULO 517 Y ASOCIACIÓN NACIONAL PARA LA PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO**

**William Ernesto Sajquim Hernández**

Asesorado por el Ing. Jorge Gilberto González Padilla

Guatemala, julio de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN DE UN CENTRO HOSPITALARIO, CON CAPACIDAD DE 2 250 KVA BAJO NORMAS Y ESTÁNDARES: CÓDIGO NACIONAL ELÉCTRICO CON ÉNFASIS EN EL ARTÍCULO 517 Y ASOCIACIÓN NACIONAL PARA LA PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**WILLIAM ERNESTO SAJQUIM HERNÁNDEZ**  
ASESORADO POR EL ING. JORGE GILBERTO GONZÁLEZ PADILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, JULIO DE 2 018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno (a.i.)
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
EXAMINADOR	Ing. Bayron Armando Cuyán Culajay
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
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 DE UN SISTEMA ELÉCTRICO EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN DE UN CENTRO HOSPITALARIO, CON CAPACIDAD DE 2 250 KVA BAJO NORMAS Y ESTÁNDARES: CÓDIGO NACIONAL ELÉCTRICO CON ÉNFASIS EN EL ARTÍCULO 517 Y ASOCIACIÓN NACIONAL PARA LA PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 3 de agosto de 2015.



**William Ernesto Sajquim Hernández**

Guatemala, 19 de octubre de 2016

Ingeniero  
Otto Fernando Andrino González  
Coordinador Área de Electrotecnia  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero:

Reciba un atento saludo de mi parte, por este medio me permito informarle que he revisado el trabajo de graduación del estudiante **William Ernesto Sajquim Hernández**, con carne número 9130178, titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN DE UN CENTRO HOSPITALARIO, CON CAPACIDAD DE 2 250 KVA BAJO NORMAS Y ESTÁNDARES: CÓDIGO NACIONAL ELÉCTRICO CON ÉNFASIS EN EL ARTÍCULO 517 Y ASOCIACIÓN NACIONAL PARA LA PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO.** Y luego de haber realizado las revisiones y correcciones correspondientes, he encontrado que el mismo ha sido concluido satisfactoriamente, por lo que procedo a notificar su aprobación final.

**Atentamente,**

*Jorge Gilberto González Padilla*  
INGENIERO ELECTRICISTA  
DE COLEGIADO 9055

---

**Jorge Gilberto González Padilla**

**Ingeniero Electricista**

**Colegiado: 9055**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 62. 2017.

31 DE OCTUBRE 2017.

Señor Director  
Ing. Otto Fernando Andrino González  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:  
DISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO EN MEDIA Y BAJA  
TENSIÓN DE UN CENTRO HOSPITALARIO, CON  
CAPACIDAD DE 2250 KVA BAJO NORMAS Y ESTÁNDARES  
CÓDIGO NACIONAL ELÉCTRICO CON ÉNFASIS EN EL  
ARTÍCULO 517 Y ASOCIACIÓN NACIONAL PARA LA  
PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO, del estudiante  
William Ernesto Sajquim Hernández, que cumple con los  
requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio Rolando Barrios Archila  
Coordinador de Electrotécnica



SFO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 61. 2017.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; WILLIAM ERNESTO SAJQUIM HERNÁNDEZ titulado: DISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN DE UN CENTRO HOSPITALARIO, CON CAPACIDAD DE 2250 KVA BAJO NORMAS Y ESTÁNDARES CÓDIGO NACIONAL ELÉCTRICO CON ÉNFASIS EN EL ARTÍCULO 517 Y ASOCIACIÓN NACIONAL PARA LA PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO, procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Otto Fernando Antrino González



GUATEMALA, 8 DE NOVIEMBRE 2,017.

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

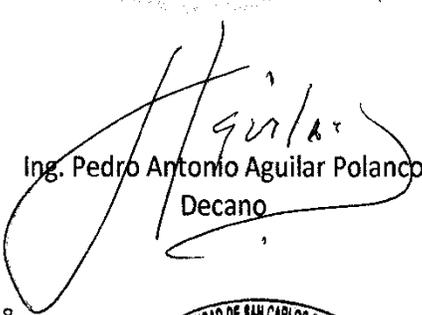


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 248.2018

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 Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO EN MEDIA Y BAJA TENSIÓN DE UN CENTRO HOSPITALARIO, CON CAPACIDAD DE 2250 KVA BAJO NORMAS Y ESTÁNDARES: CÓDIGO NACIONAL ELÉCTRICO CON ÉNFASIS EN EL ARTÍCULO 517 Y ASOCIACIÓN NACIONAL PARA LA PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO**, presentado por el estudiante universitario: **William Ernesto Sajquim Hernández**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano

Guatemala, julio de 2018

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Ser supremo que me ha permitido alcanzar el éxito y la fortaleza para seguir adelante.
<b>Mis padres</b>	Olga Felicita Hernández González, por su gran amor y apoyo incondicional, será siempre mi motivación. José Arturo Sajquim Ixcaragüa (q.e.p.d.), por su apoyo incondicional y comprensión.
<b>Mis hermanos</b>	Edna, Sergio, Hugo, Carina y Fabiola Sajquim Hernández, por su influencia en mi carrera.
<b>Mi compañera</b>	Blanca Estela Cermeño Florián, por su apoyo emocional.
<b>Mi hijo</b>	Ángelo Ernesto Sajquim Cermeño. Por ser mi mayor motivación.
<b>Mis hijas</b>	Diana y Jessica Cermeño, por ser una importante influencia en mi carrera.
<b>Mis cuñados</b>	Gildardo de León, Eduardo Secaida, Jorge Pérez, Juan y Edgar Cermeño.

<b>Mis Abuelitos</b>	Vitalina González, Roberta Ixcaragüa, Ernesto Hernández y Julián Sajquim (q.e.p.d.). Por sus consejos y motivación.
<b>Mis tios</b>	Salvador Sajquim, Francisco Sajquim, Luis Hernández, Leticia Hernández, Rosa Sajquim, Rosalvina de León, Leonardo Sajquim. Por sus consejos y motivación
<b>Mis primos</b>	Por el apoyo brindado.
<b>Mis nietos</b>	Por ser una motivación en mi vida.
<b>Mis sobrinos</b>	Jorge de León, Gildardo de León, Edith Utuy, Olga de León, Carina Secaida, José Sajquim, Jorge Pérez.
<b>Mis familiares</b>	Por el apoyo brindado.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser una fuente de conocimientos que serán de gran valor en mi vida.
<b>Facultad de ingeniería</b>	Por la formación profesional.
<b>Mi asesor Ing. Gilberto González</b>	Por el apoyo incondicional.
<b>ARKETIPO</b>	Por el apoyo profesional e incondicional en el desarrollo de mi carrera.
<b>Arquitectos Byron Rodríguez, Manuel Tax, Luis González</b>	Por su apoyo incondicional, consejos y profesionalismo en el desarrollo de mi carrera.
<b>Los ingenieros Omar Colocho, Elías Martínez, Jorge Cifuentes, Jorge Calderón (q.e.p.d.)</b>	Por ser una gran motivación para lograr alcanzar el éxito en mi carrera.
<b>Mis compañeros de trabajo</b>	Por su apoyo en el desarrollo de mi carrera.

**Juana Xiloj Larios**

Por su apoyo incondicional y ser una motivación en mi carrera.

**Julio Salvador Sajquim de León**

Por ser una importante influencia en mi carrera.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XXI
GLOSARIO.....	XXV
RESUMEN.....	XXXIII
OBJETIVOS.....	XXXV
INTRODUCCIÓN.....	XXXVII
1. ANTECEDENTES.....	1
1.1. Marco teórico.....	3
1.2. Marco de referencia del hospital.....	7
2. METODOLOGÍA DE DISEÑO EN MEDIA TENSIÓN.....	11
2.1. Códigos y estándares.....	15
2.2. Materiales básicos y métodos.....	16
2.2.1. Materiales y equipos.....	16
2.2.2. Métodos.....	16
2.3. Acometida primaria.....	17
2.3.1. Componentes de la acometida eléctrica primaria para línea en media tensión 13 800 voltios.....	17
2.3.1.1. Cables conductores eléctricos.....	18
2.3.1.2. Poste de concreto centrifugado autosoportado.....	28

2.3.1.3.	Corta circuitos o seccionadores.....	29
2.3.1.4.	Dispositivos para protección de sobre corrientes fusibles.....	31
2.3.1.5.	Pararrayos de distribución secundarios...	38
2.3.1.6.	Aisladores de suspensión.....	41
2.3.1.7.	Terminal de potencia para 15kV tipo vertical.....	45
2.3.1.8.	Sistema de bajada a tierra para línea eléctrica en media tensión 13,8kV.....	46
2.3.1.9.	Sistema de medición indirecta en media tensión.....	48
2.3.1.10.	Herrajes para línea de media tensión.....	56
2.3.1.11.	Sistema de canalización para línea subterránea en media tensión.....	59
2.3.1.12.	Terminal de potencia para 15kV tipo codo.....	63
2.3.2.	Reguladores de voltaje en media tensión.....	68
2.3.3.	Celda derivadora en media tensión 15kV ( <i>Switchgear</i> ).....	79
2.3.4.	Subestación principal (transformadores de potencia).....	84
3.	METODOLOGÍA DE DISEÑO EN BAJA TENSIÓN 480/277 VOLTIOS ESTRELLA ATERRIZADA.....	117
3.1.	Sistema de emergencia.....	118
3.1.1.	Grupos electrógenos (plantas eléctricas de emergencia).....	127
3.1.2.	Paneles de transferencia.....	133
3.2.	Sistemas de operación en baja tensión.....	141

3.2.1.	Subestaciones secundarias.....	141
3.2.2.	Tableros generales eléctricos.....	149
3.2.3.	Subtableros eléctricos.....	154
3.2.4.	Banco de capacitores.....	161
3.2.5.	TVSS ( <i>Transient Voltage Surge Suppression</i> ).....	173
3.2.6.	Interruptores de potencia.....	181
3.3.	Diseño del sistema de iluminación, tomas de corriente y fuerza.....	188
3.3.1.	Diseño de iluminación de interiores.....	188
3.3.1.1.	Iluminación recomendada para locales de asistencia médica.....	194
3.3.1.1.1.	Actividad visual.....	195
3.3.1.1.2.	Espacios de representación.....	211
3.3.2.	Diseño de iluminación de exteriores.....	212
3.3.3.	Diseño de circuitos para tomas de corriente de 120 voltios monofásico, 120/208 voltios monofásico y 208 voltios trifásico.....	229
3.3.4.	Diseño de circuitos de fuerza.....	256
3.3.4.1.	Ascensores.....	264
3.3.4.2.	Equipo hidráulico.....	274
3.3.4.3.	Equipo de calefacción, aire acondicionado.....	278
3.3.4.4.	Calderas.....	282
3.4.	Sistema de potencia ininterrumpida (UPS).....	284
4.	SISTEMA DE PUESTA A TIERRA.....	287
4.1.	Generalidades.....	287
4.1.1.	Polarización de motores.....	304
4.1.2.	Sistema de puesta a tierra de pararrayos para la protección del hospital.....	306

4.2.	Sistema de pararrayos para protección del hospital.....	307
4.3.	Instalaciones eléctricas para equipos mecánicos e hidráulicos	342
4.4.	Conductores eléctricos.....	343
4.4.1.	Canalizaciones eléctricas.....	366
4.4.2.	Conductos en media y baja tensión.....	367
4.4.3.	Conductos para distribución en media tensión.....	419
4.4.4.	Canalizaciones secundarias.....	420
4.4.5.	Cajas de salida y cajas de paso.....	420
4.4.6.	Pozos de visita.....	429
5.	DISEÑO EN BAJA Y MEDIA TENSIÓN.....	433
5.1.	Diseño en baja tensión.....	433
5.2.	Diseño en media tensión.....	441
5.3.	Diseño del sistema de puesta a tierra y protección con pararrayos.....	444
	CONCLUSIONES.....	447
	RECOMENDACIONES.....	449
	BIBLIOGRAFÍA.....	451
	APÉNDICE.....	455
	ANEXOS.....	456

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1. Vista superior del centro médico.....	9
2. Planta de arquitectura, vista superior del proyecto.....	10
3. Diagrama de flujo para la metodología de diseño del sistema de acometida eléctrica en media tensión, línea de 13,8 kV.....	12
4. Conductor eléctrico de cobre con aislamiento (XLPE).....	20
5. Composición del conductor de cobre.....	21
6. Constitución del conductor eléctrico de aluminio para 15 kV.....	22
7. Detalle de poste para ingreso de acometida eléctrica subterránea..	27
8. Características de los seccionadores.....	31
9. Curva tiempo corriente para fusible tipo “K”.....	32
10. Criterio de selección con curva tiempo corriente para fusible tipo “K”.....	33
11. Descripción de operación de la curva tiempo corriente.....	35
12. Pararrayos para línea de media tensión.....	38
13. Componentes del pararrayos de distribución en MT.....	40
14. Aplicación para tipos de aisladores en media tensión.....	43
15. Aislador de suspensión norma ANSI C29.2 Clase 52-4.....	44
16. Terminal de potencia para cable de media tensión.....	46
17. Sistema de bajada a tierra.....	47
18. Diagrama de conexión para medidor en MT forma 10S.....	49

19.	Transformadores de medición indirecta de corriente y tensión.....	54
20.	Placa característica para un transformador de tensión.....	55
21.	Instalación de transformadores de tensión y corriente.....	56
22.	Herrajes para línea de media tensión.....	57
23.	Herrajes para instalación en poste para línea de media tensión.....	58
24.	Detalle de tubería IMC para bajada en media tensión.....	60
25.	Pozo de registro tipo “H” .....	61
26.	Detalle de pozo de registro tipo “H” para media tensión.....	62
27.	Canalización para tuberías de diámetro de 4” dB 120.....	63
28.	Terminal de potencia tipo codo para 15kV.....	64
29.	<i>Bushing insert</i> .....	65
30.	<i>Protective caps</i> .....	66
31.	Juego de limpieza y preparación de cables.....	67
32.	Distribución de equipos en casa de máquinas eléctricas.....	69
33.	Esquema de regulador de voltaje.....	71
34.	Esquema de control y cambio de <i>tap</i> del regulador de voltaje.....	72
35.	Diagrama completo del regulador de voltaje.....	73
36.	Esquema simple del compensador de voltaje.....	74
37.	Regulador de voltaje equipado.....	78
38.	Distribución radial en media tensión.....	79
39.	Celda de derivación en media tensión.....	81
40.	Pozo para evitar derrame de aceite del transformador.....	91
41.	Instalación de transformadores de potencia tipo pedestal.....	92
42.	Diagrama de conexión delta – estrella aterrizada para transformador de 1 500 kVA y 750 kVA.....	94
43.	Diagrama unifilar sistema crítico.....	95
44.	Diagrama unifilar tablero STCEA1.....	97
45.	Diagrama unifilar tablero STCEA2.....	97
46.	Diagrama unifilar tablero STCEA3.....	98

47. Diagrama unifilar tablero STCEA4.....	98
48. Diagrama unifilar sistema crítico completo.....	99
49. Diagrama unifilar sistema de emergencia.....	100
50. Diagrama unifilar tablero general de emergencia ramales del 1 al 21.....	102
51. Diagrama unifilar tablero STEEA1.....	103
52. Diagrama unifilar tablero STEEA2.....	104
53. Diagrama unifilar tablero STEEA3.....	104
54. Diagrama unifilar tableros STEEA4N y STEEA4S.....	105
55. Diagrama unifilar tableros TECE y TEEC.....	105
56. Diagrama unifilar tablero STFUM.....	106
57. Diagrama unifilar tablero general de emergencia ramales del 22 al 25.....	107
58. Diagrama unifilar tablero STFCCBo.....	109
59. Continuación diagrama unifilar tablero general de emergencia (TGE) segunda división, subtablero STGUPS.....	110
60. Continuación diagrama unifilar tablero general de emergencia (TGE) segunda división, subtablero STGuCOMP.....	111
61. Diagrama unifilar sistema normal.....	112
62. Diagrama unifilar tableros STNEA1, STNEA2 y STNEA3.....	114
63. Diagrama unifilar tableros STNEA4N, STNEA4S, TNCE y TNEC...	115
64. Continuación diagrama unifilar sistema normal ramales del 6 al 21.....	116
65. Diagrama de flujo para la metodología de diseño del sistema de distribución en baja tensión 480/208 voltios estrella aterrizada.....	119
66. Diseño de centros de carga o tableros de distribución.....	124
67. Grupo electrógeno de 1 000 kW.....	129
68. Silenciador tipo hospitalario para el grupo electrógeno.....	131
69. Tubos flexibles para el acople hacia el silenciador.....	132

70. Celdas para sincronismo entre grupos generadores.....	134
71. Gabinete tipo GT.....	138
72. Gabinete tipo 8MF.....	139
73. Interruptor tipo 3WL motorizado.....	140
74. Diagrama de conexión para transformador tipo FH seco.....	146
75. Diagrama de conexión para transformador tipo FHK seco.....	147
76. Transformadores tipo seco de 15, 30 y 75 kVA.....	148
77. Transformadores tipo seco de 2 kVA y 6 kVA.....	148
78. Tableros generales.....	153
79. Instalación de tableros generales.....	153
80. Subtableros de distribución eléctrica 208/120V y acomodo de conductores eléctricos en el interior.....	157
81. Subtableros de distribución eléctrica 480/277V.....	157
82. Conexión en paralelo de condensadores hacia motor trifásico.....	164
83. Diagrama esquemático de compensación.....	168
84. Compensación individual para motores trifásicos.....	169
85. Sistema de funcionamiento para banco de condensadores.....	170
86. Banco de condensadores trifásico.....	172
87. Operación del TVSS en un sistema trifásico 4 hilos.....	179
88. Supresor de picos para transientes.....	180
89. Información técnica interruptor HND63B120.....	184
90. Interruptor 3WL12203FB341AA2.....	185
91. Información técnica para interruptor HJD63B350.....	186
92. Cálculo para determinar el índice del local "K".....	193
93. Hoja técnica de la luminaria y distribución fotométrica.....	199
94. Distribución de luminarias en quirófanos A y B.....	204
95. Distribución de luminarias en quirófanos C, D, E y F.....	205
96. Distribución de luminarias para quirófanos G, H, I, J.....	206
97. Distribución de luminarias para quirófanos K y L.....	207

98.	Distribución de luminarias para quirófanos M y N.....	207
99.	Luminaria tipo cielítica para quirófanos.....	208
100.	Montaje de luminaria tipo cielítica para quirófanos.....	208
101.	Cálculo por la ley del coseno.....	212
102.	Ubicación de puntos para determinar los ángulos de proyección de una luminaria.....	216
103.	Curva Isolux para determinar el valor del flujo útil luminoso.....	221
104.	Hoja técnica de fotometría de luminaria tipo KAD.....	223
105.	Iluminación exterior para el parqueo vehicular.....	226
106.	Distribución de tresbolillo para luminarias en parqueo.....	226
107.	Criterio para iluminación de fachadas en edificios.....	227
108.	Iluminación de fachadas utilizando proyectores.....	228
109.	Configuración NEMA para tomas de corriente.....	234
110.	Utilización de módulo para tomas de corriente en quirófanos.....	236
111.	Módulo para tomas de corriente.....	237
112.	Plano de instalación en quirófano para tomacorrientes.....	237
113.	Diagrama comparativo de eficiencia para motores eléctricos.....	258
114.	Ascensor camillero para hospital.....	265
115.	Ascensor con casa de máquinas.....	269
116.	Casa de máquinas para ascensor.....	270
117.	Elevador montacargas.....	270
118.	Equipo hidráulico para ascensor montacargas y prueba para el ascensor con carga.....	271
119.	Centro de control para sistema de bombeo cisterna y subtablero STFCBo.....	277
120.	Prueba de aforo para bomba de extracción de agua y panel de control.....	277
121.	Bomba contra incendio.....	278
122.	Circuito derivado para fuerza sistema de enfriamiento “Chillers”.....	279

123.	Instalación de unidad manejadora de aire “UMA” .....	280
124.	Caldera de vapor horizontal pirotubular.....	283
125.	UPS de 125 kVA.....	285
126.	Ubicación de UPS de 100 kW en el diagrama unifilar.....	286
127.	Conductor de protección del circuito eléctrico.....	289
128.	Conexión del equipo de puesta a tierra y de unión.....	289
129.	Tipos de conductores de puesta a tierra de equipos.....	291
130.	Varilla de acero recubierto de cobre.....	293
131.	Molde para soldadura exotérmica.....	296
132.	Disposición de la malla para el sistema de puesta a tierra.....	299
133.	Diagrama de flujo para el diseño del sistema de puesta a tierra.....	300
134.	Pozo para tierra física.....	302
135.	Aplicación de sales minerales GEM o GEL.....	303
136.	Método de puesta a tierra.....	305
137.	Polarización de motores en caja tipo NEMA 1.....	305
138.	Puesta a tierra para sistema de pararrayo.....	306
139.	Diagrama de flujo para el diseño del sistema de puesta a tierra del pararrayos para la protección del hospital.....	308
140.	Zona de protección para el pararrayos.....	309
141.	Estructura con forma compleja y radio de cobertura.....	311
142.	Mapa de niveles isoceráunicos en la República de Guatemala.....	315
143.	Mapa de niveles isoceráunicos región para analizar.....	316
144.	Impacto del rayo contra la esfera de protección.....	317
145.	Cobertura del sistema de pararrayos.....	324
146.	Distancia de cebado “CIGRE”.....	329
147.	Colocación del dispositivo captador.....	330
148.	Instalación del pararrayos.....	331
149.	Instalación para el sistema de pararrayos.....	333

150.	Distancia de seguridad para el conductor de bajada del sistema pararrayos.....	335
151.	Elementos metálicos para realizar las bajadas.....	336
152.	Unión para cable redondo hacia cable plano.....	337
153.	Fijaciones del cable conductor para puesta a tierra.....	338
154.	Pletina de control o barra de prueba.....	338
155.	Recubrimiento del conductor de bajada.....	339
156.	Contador de rayos.....	340
157.	Equipotencialidad de masas interiores.....	341
158.	Diagrama de flujo para la selección de conductores eléctricos.....	345
159.	Instalación de conductores eléctricos mayores a 1/0 AWG.....	351
160.	Instalación de conductores eléctricos menores a 1/0 AWG.....	351
161.	Tipos de forro aislante para conductores eléctricos.....	358
162.	Gráficas de caída de tensión en conductores de cobre aislados tipo: THW, THHW, THWN y RHW.....	364
163.	Diagrama de flujo para la selección de canalizaciones eléctricas....	368
164.	Coplas o uniones para tubería rígida de acero.....	371
165.	Curvas para tubería IMC o RMC a 45° o 90°.....	372
166.	Apoyo mínimo requerido para tubería IMC o RMC rígida.....	375
167.	Tuberías IMC o RMC con el apoyo de los elementos del bastidor y bien fijados a la distancia de 3 pies de la caja.....	375
168.	Utilización de tubería IMC en el centro hospitalario.....	376
169.	Tubería tipo FMC.....	376
170.	Utilización de tubería FMC.....	378
171.	Utilización de tubería tipo LFMC.....	380
172.	Tubería tipo LFMC.....	381
173.	Instalación de tubería tipo PVC eléctrico.....	384
174.	Accesorios para tubería tipo PVC eléctrico.....	389
175.	Tubería de polietileno de alta densidad tipo HDPE.....	389

176.	Aplicaciones de tubería tipo EMT.....	395
177.	Requerimientos mínimos para la fijación segura de tubos metálicos eléctricos tipo EMT.....	397
178.	Accesorios para tubería tipo EMT.....	397
179.	Tubería tipo ENT.....	398
180.	Instalación de tubería ENT dentro de bastidores.....	400
181.	Tipo de canalizaciones utilizadas en el centro hospitalario.....	402
182.	Aplicación de canal auxiliar en la instalación eléctrica.....	404
183.	Canalización bajo piso, para conductores eléctricos.....	406
184.	Bandeja de cables para conductores eléctricos.....	408
185.	Cajas de salida, de registro y tapaderas.....	423
186.	Cálculo para dimensionamiento de una caja de paso.....	425
187.	Método para dimensionamiento de una caja de paso.....	426
188.	Instalación de conductores eléctricos en cajas de paso.....	428
189.	Cajas de paso para la distribución de conductores eléctricos.....	429
190.	Pozos de visita para acometidas tipo primaria y secundaria.....	430
191.	Características de construcción para un pozo tipo “H”.....	431
192.	Vista en planta detalle para la construcción de un pozo tipo “H”.....	432

## TABLAS

I.	Códigos y estándares que se utilizarán.....	15
II.	Fórmula para el cálculo de la intensidad de régimen en amperios en media tensión.....	18
III.	Tabulación de datos para análisis.....	18
IV.	Calibres mínimos para conductores eléctricos de acuerdo con la capacidad de conducción en voltaje para línea de media tensión.....	19

V.	Normas para conductores eléctricos en media tensión.....	21
VI.	Corriente máxima en conductores unipolares de cobre 15 kV.....	22
VII.	Hoja técnica del conductor para 15 KV con forro XLPE.....	23
VIII.	Características de los conductores eléctricos MT.....	24
IX.	Fórmula para calcular la reactancia del conductor eléctrico..	24
X.	Características eléctricas del conductor unipolar.....	25
XI.	Características nominales para postes de concreto.....	28
XII.	Altura de excavación, para enterramiento de postes.....	29
XIII.	Fórmula para el cálculo del fusible en MT.....	32
XIV.	Características para selección de fusibles en MT.....	34
XV.	Valores nominales para fusibles tipo expulsión (Tipo K y T)..	36
XVI.	Corrientes de fusión para hilos fusibles tipo K (rápido).....	37
XVII.	Características para pararrayos en MT.....	39
XVIII.	Aisladores de porcelana o vidrio normalizados.....	41
XIX.	Características para aisladores de retención de porcelana o vidrio clase 52-1 y 52-4.....	42
XX.	Características del aislador de suspensión.....	44
XXI.	Terminal de potencia para cable de media tensión.....	45
XXII.	Norma IEC para medidores eléctricos.....	50
XXIII.	Normas para la fabricación de transformadores de medida...	50
XXIV.	Relación de transformación de CT's para mediciones indirectas.....	51
XXV.	Selección de transformadores de medida.....	52
XXVI.	Clases de exactitud para transformadores de tensión.....	54
XXVII.	Normas para reguladores de voltaje.....	70
XXVIII.	Cálculo para el regulador de voltaje.....	75
XXIX.	Selección para el regulador de voltaje.....	76
XXX.	Características técnicas de la celda de derivación.....	82

XXXI.	Carga instalada de tableros de distribución sistema normal..	85
XXXII.	Carga instalada de tableros de distribución. Sistemas de emergencia y crítico.....	87
XXXIII.	Capacidad nominal que será instalada en la subestación eléctrica.....	89
XXXIV.	Normas que deberán cumplir los transformadores de potencia en media tensión.....	90
XXXV.	Características del motor de combustión diésel.....	127
XXXVI.	Cálculo para la capacidad del motor del grupo electrógeno...	127
XXXVII.	Determinación de la capacidad del grupo electrógeno.....	129
XXXVIII.	Cálculo de capacidades para transformadores tipo seco sistemas emergencia y crítico.....	142
XXXIX.	Cálculo de capacidades para transformadores tipo seco sistema normal.....	144
XL.	Capacidades y modelos para transformadores tipo seco.....	145
XLI.	Cuadro de cargas eléctricas tablero general crítico (TGC)...	150
XLII.	Cuadro de cargas eléctricas tablero general emergencia (TGE).....	151
XLIII.	Cuadro de cargas eléctricas tablero general normal (TGN)	152
XLIV.	Normas para la construcción de tableros de distribución eléctrica.....	156
XLV.	Subtablero de distribución trifásico voltaje 208V.....	158
XLVI.	Subtablero de distribución trifásico voltaje 208/120V.....	159
XLVII.	Subtablero de distribución trifásico voltaje 480V.....	160
XLVIII.	Fórmulas para determinar el triángulo de potencias.....	161
XLIX.	Compensación individual para transformadores de distribución.....	163
L.	Compensación individual para motores trifásicos.....	164
LI.	Cálculo para la compensación de potencia reactiva.....	165

LII.	Determinación del valor del coeficiente “C” .....	165
LIII.	Método para la selección del equipo de condensación.....	166
LIV.	Cálculo general para el banco de condensadores.....	167
LV.	Compensación individual para motores del tablero STFCBo.	168
LVI.	Cálculo para la compensación conexión estrella y delta.....	171
LVII.	Normas aplicables a bancos de condensadores.....	172
LVIII.	Normas aplicables para la construcción de TVSS.....	174
LIX.	Capacidad de los interruptores de potencia centro hospitalario.....	181
LX.	Cálculo de la capacidad para los interruptores de potencia...	182
LXI.	Normas aplicables a los interruptores termomagnéticos.....	183
LXII.	Modelos a utilizar para los interruptores de potencia seleccionados.....	183
LXIII.	Cálculo para la relación de cavidad zonal.....	192
LXIV.	Cálculo del flujo luminoso total.....	194
LXV.	Parámetros recomendados para quirófanos.....	196
LXVI.	Valor del índice local “K” para quirófanos.....	197
LXVII.	Coeficiente de utilización de la luminaria por el fabricante....	200
LXVIII.	Valores para el factor de mantenimiento de luminarias.....	201
LXIX.	Descripción de la simbología en la tabla del factor de mantenimiento.....	201
LXX.	Cantidad de luminarias a instalar en quirófanos.....	202
LXXI.	Emplazamiento para luminarias a lo ancho y largo.....	202
LXXII.	Cálculo para determinar el número de luminarias en quirófanos.....	203
LXXIII.	Criterio para montaje e instalación de luminarias en quirófanos según altura.....	203
LXXIV.	Espacios con actividad visual elevada.....	209
LXXV.	Espacios con actividad visual normal.....	210

LXXVI.	Iluminación recomendada para espacios con actividad baja.	210
LXXVII.	Espacios de representación en el centro hospitalario.....	211
LXXVIII.	Fórmulas aplicables al método de punto por punto.....	213
LXXIX.	Clasificación, tipo y apertura de ángulos para proyectores...	214
LXXX.	Cálculo de los ángulos de proyección.....	216
LXXXI.	Datos para el cálculo de las luminarias en parqueo.....	218
LXXXII.	Introducción de valores para calcular los ángulos.....	219
LXXXIII.	Cálculo de ordenadas.....	219
LXXXIV.	Cálculo de abscisas.....	220
LXXXV.	Tabulación de ordenadas y abscisas.....	220
LXXXVI.	Análisis de los datos obtenidos para la curva isolux.....	222
LXXXVII.	Cálculo para iluminación exterior.....	222
LXXXVIII.	Fórmula para determinar el coeficiente de utilización de luminarias exteriores.....	223
LXXXIX.	Información conocida para realizar los cálculos.....	225
XC.	Valores obtenidos.....	225
XCI.	Normas UNE para sistemas de iluminación exterior.....	228
XCII.	Artículos del NEC aplicados en el diseño para tomacorrientes.....	229
XCIII.	Carga máxima del cable y plug conectado al receptáculo.....	230
XCIV.	Clasificación receptáculo para varios circuitos tamaño.....	230
XCV.	Resumen de los requerimientos de circuitos derivados.....	231
XCVI.	Artículos del NEC aplicados en el diseño para tomacorrientes.....	232
XCVII.	Tomacorrientes utilizados en el centro hospitalario.....	233
XCVIII.	Artículos del NEC aplicables a tomacorrientes.....	238
XCIX.	Cargas eléctricas de equipos médicos.....	239
C.	Cálculo para circuitos de tomas de corriente.....	255
CI.	Cálculos utilizados para motores monofásicos o trifásicos...	256

CII.	Normas aplicables a la eficiencia de motores eléctricos.....	259
CIII.	Normas para clasificación de motores eléctricos por eficiencia.....	259
CIV.	Eficiencia nominal a plena carga para motores eléctricos.....	260
CV.	Selección de capacidad de protección para el circuito derivado de alimentación para motores eléctricos.....	261
CVI.	Capacidad de consumo de corriente para motores.....	262
CVII.	Características funcionales para los ascensores.....	265
CVIII.	Características eléctricas para los ascensores.....	268
CIX.	Cálculo de conductores y protecciones eléctricas para los ascensores del centro hospitalario.....	272
CX.	Cálculo del conductor eléctrico para transformador alimentador del ascensor ubicado en casa de máquinas.....	273
CXI.	Factor de simultaneidad para grupos de cargas.....	274
CXII.	Subtablero de fuerza casa de bombas STFCBo.....	275
CXIII.	Cálculo de la corriente de arranque para centro de motores..	276
CXIV.	Cálculo para el circuito derivado de fuerza UMAS.....	281
CXV.	Subtablero de distribución trifásico STFCMC 480 voltios.....	283
CXVI.	Calibre mínimo de los conductores para puesta a tierra de canalizaciones y equipos.....	290
CXVII.	Diámetros y longitudes de varilla de acero recubierto de cobre para un sistema de tierra física.....	293
CXVIII.	Cálculo de resistencia sistema de tierra física.....	297
CXIX.	Valores típicos de resistividad de diferentes suelos.....	298
CXX.	Conductor del electrodo de tierra de instalaciones de c.a.....	301
CXXI.	Artículos del NEC que deberán de cumplir la polarización de motores eléctricos.....	304
CXXII.	Normas aplicables al sistema de pararrayos.....	312

CXXIII.	Artículos utilizados de la norma NFPA 780 para el diseño del sistema de puesta a tierra de pararrayos equivalentes a norma IEC 62305.....	313
CXIXV.	Valor del nivel cerámico de la red de estaciones sinópticas meteorológicas.....	314
CXXV.	Frecuencia anual media Nd de impactos directos.....	318
CXXVI.	Coeficiente relacionado con el entorno C1.....	318
CXXVII.	Cálculo de la frecuencia tolerable del rayo Nc.....	319
CXXVIII.	Coeficiente en función del tipo de construcción C2.....	319
CXXIX.	Coeficiente en función del contenido del edificio C3.....	320
CXXX.	Coeficiente de ocupación de la estructura C4.....	320
CXXXI.	Coeficiente de consecuencia del relámpago C5.....	321
CXXXII.	Selección del nivel de protección del pararrayos.....	322
CXXXIII.	Radios de protección del pararrayos PULSAR de HELITA, según norma NF C 17-102.....	326
CXXXIV.	Cálculo de la distancia de seguridad.....	334
CXXXV.	Artículos del NEC que deberán cumplir los conductores eléctricos.....	346
CXXXVI.	Factores de corrección, cuando hay tres o más conductores por canalización.....	347
CXXXVII.	Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V. nominales y 60°C a 90°C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30°C.....	348
CXXXVIII.	Factores de corrección, tres o más conductores por canalización.....	349
CXXXIX.	Características del conductor.....	349
CXL.	Características técnicas de los conductores eléctricos.....	350

CXLI.	Tipos de conductores eléctricos según su tipo de aislante y condiciones de uso clasificación 600 voltios.....	354
CXLII.	Fórmulas para el cálculo de conductores eléctricos.....	363
CXLIII.	Clave de alambrado utilizado para la instalación de conductores eléctricos en el centro hospitalario.....	365
CXLIV.	Artículos del NEC que se utilizarán para las canalizaciones eléctricas.....	366
CXLV.	Dimensiones para tubería IMC o RMC.....	370
CXLVI.	Soportes para tuberías tipo IMC o RMC rígidas roscadas.....	374
CXLVII.	Número máximo de conductores aislados en un tubo de metal flexible de 3/8”.....	378
CXLVIII.	Soporte para tubería de cloruro de polivinilo rígido (PVC).....	386
CXLIX.	Características de expansión de tubería PVC no metálica rígida coeficiente de la expansión térmica = $6,084 \times 10^{-5}$ mm/mm/°C ( $3,38 \times 10^{-5}$ in./in./°F).....	388
CL.	Porcentaje de la sección transversal de conducto y tubos para conductores.....	391
CLI.	Radio del conducto, tubos y codos.....	394
CLII.	Cálculo para el factor de relleno.....	401
CLIII.	Porcentaje de utilización de canalizaciones.....	402
CLIV.	Área permitida de relleno por cable para cables de varios conductores en bandeja de cable de canal ventilado para cables clasificados 2 000 voltios o menos.....	412
CLV.	Área de relleno permitida para cables multiconductores en bandejas portacables de tipo escalera, batea ventilada o fondo sólido para cables clasificados de 2 000 voltios o menos.....	413

CLVI.	Área de relleno permitida para cable para cables de varios conductores en bandeja de cable de canal sólido para cables clasificados 2 000 voltios o menos.....	415
CLVII.	Área de relleno permitida por cable para los cables de un solo conductor en bandeja de cable tipo escalerilla ventilada o malla de alambre para cables clasificados como 2 000 voltios o menos.....	417
CLVIII.	Cajas metálicas.....	422

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>a</b>	Ancho del local
<b>A</b>	Amperio (s)
<b>ACSR</b>	Conductores de aluminio con cableado concéntrico y núcleo de acero
<b>Al</b>	Aluminio
<b>c.a. o (CA)</b>	Corriente alterna
<b>c.c. o (DC)</b>	Corriente directa o continua
<b>CIE</b>	Comisión Internacional de Alumbrado
<b>CFM</b>	Pies cúbicos por minuto
<b>cm</b>	Centímetro (s)
<b>cm<sup>2</sup></b>	Centímetro cuadrado (s)
<b>cm<sup>3</sup></b>	Centímetro cúbico (s)
<b>CT's</b>	Transformadores de corriente
<b>Cu</b>	Cobre
<b>DME</b>	Demanda máxima estimada
<b>daN</b>	Deca Newton
<b>e</b>	Porcentaje de caída de tensión
<b>ECG</b>	Ecocardiógrafo
<b>FD</b>	Factor de demanda
<b>f</b>	Frecuencia de la red
<b>ΦT</b>	Flujo total luminoso requerido
<b>g</b>	Gramos

<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>°K</b>	Grados Kelvin
<b>h</b>	Altura de montaje de la luminaria
<b>I</b>	Intensidad o corriente de régimen
<b>in.</b>	Pulgadas
<b>in.<sup>2</sup></b>	Pulgadas cuadradas
<b>IP</b>	Protección de ingreso
<b>IVS</b>	Invalidez, Vejez y Supervivencia
<b>HP</b>	Caballo de fuerza
<b>Hz</b>	Ciclos (Hertz)
<b>k</b>	Conductividad del cobre
<b>kA</b>	Kilo amperio (s)
<b>kcmil</b>	Miles de mils circulares
<b>Kg</b>	Kilogramo (s)
<b>Km</b>	Kilómetro (s)
<b>KN</b>	Kilo Newton
<b>kV</b>	Kilo voltio (s)
<b>kVA</b>	Kilo voltio amperio (s)
<b>kVAR</b>	Kilo voltio amperio reactivo (s)
<b>kW</b>	Kilowatt (s)
<b>l</b>	Longitud
<b>lb</b>	Libras
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>mm</b>	Milímetro
<b>mm<sup>2</sup></b>	Milímetro cuadrado
<b>mm<sup>3</sup></b>	Milímetro cúbico
<b>MT</b>	Media tensión

<b>N-m</b>	Newton metro
<b>Ω</b>	Ohm
<b>ORL</b>	Otorrinolaringología
<b>%</b>	Porcentaje
<b>3P</b>	Tres polos
<b>P</b>	Potencia eléctrica activa
<b>PT's</b>	Transformadores de tensión
<b>Q</b>	Potencia eléctrica reactiva
<b>R</b>	Resistencia eléctrica
<b>rpm</b>	Revoluciones por minuto
<b>S</b>	Potencia eléctrica aparente
<b>TGC</b>	Tablero general crítico
<b>TGE</b>	Tablero general de emergencia
<b>TGN</b>	Tablero general normal
<b>Trafo.</b>	Transformador
<b>THHN</b>	Termoplástico resistente al calor
<b>TVSS</b>	Transitorios de voltaje supresor de sobretensiones
<b>UCI</b>	Unidad de cuidados intensivos
<b>UMA</b>	Unidad Manejadora de Aire
<b>UNE</b>	Una Norma Española
<b>UV</b>	Rayos Ultravioleta
<b>μV</b>	Microvoltio
<b>UL</b>	<i>Underswriters Laboratories</i>
<b>ω</b>	Velocidad angular (2πf)
<b>V</b>	Voltio (s)
<b>W</b>	Watt
<b>Zn</b>	Cinc



## GLOSARIO

<b>Acometida</b>	Conjunto de conductores y componentes utilizados para transportar la energía eléctrica, desde las líneas de distribución de la empresa a la instalación eléctrica del inmueble servido.
<b>Aisladores</b>	Dispositivos que no permiten el paso de la corriente eléctrica y sirven de soporte mecánico a los conductores.
<b>ANSI</b>	Instituto Nacional Americano de Estándares.
<b>ASA</b>	Asociación Americana de Estándares.
<b>ASTM</b>	Asociación Americana para prueba de Materiales.
<b>AWG</b>	<i>American Wire Gauge</i> (Calibre de alambre estadounidense). Es una referencia de clasificación de los diámetros de los conductores eléctricos para la capacidad de conducción de la corriente eléctrica máxima.
<b>Banco de condensadores</b>	Son aptos para su utilización en subestaciones de baja y media tensión donde se desee compensar la energía reactiva (o factor de potencia) que consumen los motores eléctricos y las demás cargas.

<b>Breaker</b>	Elemento de maniobra y protección cuya capacidad de ruptura a la tensión de servicio deberá ser igual o mayor a la corriente de corto circuito en el punto de su utilización.
<b>Calibre de conductores</b>	Es el diámetro interior de un conductor eléctrico de cobre o aluminio expresado en AWG o kcmil.
<b>Canalización</b>	Se refiere a canales, canaletas, ductos o tubos por donde se hacen pasar los conductores, con el fin de protegerlos mecánicamente y evitar el contacto de personal no calificado con los mismos.
<b>Capacitores</b>	Es un dispositivo pasivo utilizado en electricidad y electrónica, capaz de almacenar energía y mientras sustentan, un campo eléctrico.
<b>Celda de derivación</b>	Dispositivo para la distribución o derivación de voltaje en media tensión.
<b>Celda de sincronismo</b>	Permite administrar la energía de respaldo de acuerdo a la demanda, utilizando solo los equipos necesarios para cubrir la demanda eléctrica en un sistema.
<b>Circuito derivado</b>	Conjunto de conductores y demás elementos de cada uno de los circuitos que se extienden desde los últimos dispositivos de protección contra sobre-corrientes en donde termina el circuito alimentador, hasta las salidas de las cargas.

<b>CNEE</b>	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
<b>Conductores eléctricos o cables</b>	Son hilos de metal, de materiales como el cobre o aluminio, que ofrecen poca resistencia al movimiento de la carga eléctrica o corriente eléctrica.
<b>Conexión delta</b>	Está formada por tres devanados asimilando la letra griega $\Delta$ .
<b>Conexión estrella</b>	Consiste en unir los finales de las fases X-Y-Z y formar un punto común, denominado punto neutro, y dejan libres los tres principios U-V-W que se conectan a la red de alimentación.
<b>Conexión a tierra</b>	Aterrizado en forma efectiva por medio de una conexión de baja impedancia, con suficiente capacidad, de modo que corrientes de corto circuito no provoquen voltajes que puedan dañar al equipo, instalaciones y/o a las personas.
<b>Corriente eléctrica</b>	Es el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre un material. Se debe al movimiento de las cargas (normalmente electrones) en el interior del material.
<b>Diagrama unifilar</b>	Representación gráfica de una instalación eléctrica o parte de ella.
<b>EEGSA</b>	Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima.

<b>EEMQ</b>	Empresa Eléctrica Municipal de Quetzaltenango.
<b>Factor de potencia</b>	De un circuito de corriente alterna, es la relación de la potencia activa P y la potencia aparente S.
<b>Frente muerto</b>	Corresponde a un encerramiento utilizado para proteger contra contacto accidental, por manejo de personal no autorizado.
<b>Fusibles</b>	Protege contra sobrecargas y cortocircuitos.
<b>Grupo electrógeno</b>	Es una máquina que mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna.
<b>Herrajes</b>	Dispositivos que se utilizarán en líneas de distribución en media tensión para sujetar los conductores eléctricos en estructuras para unir dos conductores, o bien para protegerlos de daños causados por factores externos.
<b>IEC</b>	Comisión Electrónica Internacional.
<b>IEEE</b>	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos.
<b>IESNA</b>	Sociedad de Ingeniería de Iluminación de Norteamérica.
<b>Impedancia</b>	Resistencia aparente de un circuito dotado de capacidad y autoinducción al flujo de una corriente eléctrica alterna, equivalente a la resistencia efectiva cuando la corriente es continua.

<b>Led</b>	Diodo emisor de luz.
<b>Luminaria</b>	Aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas. Comprende todos los dispositivos necesarios para el soporte, fijación, protección de las fuentes de luz y, en caso necesario, los circuitos auxiliares en combinación con los medios de conexión con la red de alimentación.
<b>Lux</b>	Unidad de medida para la luminancia o nivel de iluminación.
<b>Media tensión</b>	Instalaciones eléctricas que operan entre 1 y 36 Kv.
<b>NEC</b>	Código Nacional Eléctrico de los EE.UU.
<b>NEMA</b>	Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos.
<b>NEMA 1</b>	Instalación interior, protege contra la caída de suciedad.
<b>NEMA 3R</b>	Instalación exterior, protege contra lluvia, aguanieve y protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior sobre el armario.
<b>NF</b>	Norma Francesa.
<b>NFPA</b>	Asociación Nacional para la Protección contra el Fuego.
<b>NTC</b>	Norma Técnica Colombiana.

<b>NTDOID</b>	Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución.
<b>NTSD</b>	Normas Técnicas de Servicio de Distribución.
<b>Transformador</b>	Aparato que sirve para transformar la tensión de una corriente eléctrica alterna sin modificar su potencia.
<b>Paneles de transferencia</b>	Es un interruptor eléctrico que cambia una carga entre dos fuentes de manera automática.
<b>Pararrayos</b>	Dispositivo para protección contra rayos.
<b>Pozo de registro tipo H</b>	Se refiere a un pozo de registro subterráneo para la distribución de los conductores eléctricos en media tensión.
<b>RAL</b>	Sistema de colores estándar para aplicación de pinturas.
<b>Reactancia</b>	Oposición ofrecida al paso de la corriente alterna por inductores (bobinas) y condensadores.
<b>Reguladores de voltaje</b>	Dispositivo electrónico diseñado para mantener un nivel de voltaje constante.
<b>RETIE</b>	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.
<b>RTC</b>	Relación del transformador de corriente.

<b>Silenciador</b>	Dispositivo de forma cilíndrica y de longitud y diámetro variable, con la finalidad de reducir o eliminar ruidos fuertes.
<b>Sistema trifásico</b>	Sistema de producción, distribución y consumo de energía eléctrica formado por tres corrientes alternas monofásicas de igual frecuencia y amplitud.
<b>Soporte</b>	Sistema de sujeción para tuberías eléctricas.
<b>Tableros eléctricos</b>	En una instalación eléctrica, son la parte principal; en ellos se encuentran los dispositivos de seguridad y los mecanismos de maniobra de dicha instalación.
<b>Tomas de corriente</b>	Receptáculo o dispositivo para la recepción de clavijas o espigas para la conexión de aparatos eléctricos.
<b>UCI</b>	Unidad de cuidados intensivos.
<b>UL</b>	<i>Underwriters Laboratories</i> . Es una consultoría de seguridad y certificación de la empresa con sede en <i>Northbrook, Illinois</i> .
<b>XLPE</b>	Aislamiento termofijo o de polietileno de cadena cruzada.



## RESUMEN

El diseño para el centro hospitalario estará basado en dos tipos de voltaje de operación: el sistema en media tensión para la alimentación de la acometida eléctrica de 13 800 voltios, y el sistema de suministro por la empresa eléctrica que prestará el nuevo servicio.

Se describirá cada uno de los elementos que componen la acometida eléctrica, así como el sistema de medición indirecta para media tensión, como los cables de alimentación para la conversión de línea aérea a línea subterránea, unipolar con aislamiento tipo XLPE para 15 kV, canalización subterránea con tuberías del tipo IMC y dB120, terminales de potencia en media tensión, poste de arribo para estructura tipo VI fin de línea de distribución con sus accesorios y herrajes. En el caso de la medición se conocerá el método para calcular los transformadores de potencia y de corriente, así como el tipo de demandómetro para la medición de la energía consumida.

Las normas y estándares regulan la construcción de los diferentes materiales y la instalación de los mismos, de manera que el desarrollo del sistema de alimentación en media tensión sea ejecutado de manera técnica para obtener en forma eficiente y eficaz una metodología práctica para el diseño y ejecución.

Para la distribución de energía eléctrica en media tensión el sistema estará distribuido en 13 800 voltios, trifásico. Para la calidad de energía que será suministrada al centro hospitalario, se utilizará reguladores de voltaje monofásicos hacia los transformadores de potencia del tipo pedestal, que alimentará los sistemas normal, emergencia y crítico. Estos sistemas estarán alimentados a través de dos ramales por medio de una celda de derivación.

La implementación del artículo 517 de la norma NFPA 70 (NEC) especifica que se deberá tener dos sistemas de distribución para el suministro de energía. El sistema normal será alimentado por la empresa eléctrica. El suministro de energía de emergencia se divide en dos ramales: sistema de emergencia y sistema crítico, y será suministrado por dos grupos electrógenos con la disposición de un sistema de sincronismo, para sincronizar y acoplar los dos grupos al momento de ser insuficiente la energía eléctrica suministrada.

Se plantea las normas y estándares para la construcción e instalación de los sistemas de distribución en baja tensión por medio de tableros generales. Comprenderá un sistema de operación trifásico de 480/277 voltios hacia 208/120 voltios, convertido y distribuido por medio de subestaciones pequeñas denominadas transformadores tipo seco. La distribución será realizada a través de subtableros de distribución hacia los sistemas de iluminación, tomas de corriente, circuitos derivados y circuitos derivados de fuerza, que alimentarán los sistemas mecánicos como bombas para extracción de agua, sistemas de cisternas para su distribución y sistemas de transporte vertical.

Los sistemas de iluminación interior y exterior, tomas de corriente y circuitos derivados son diseñados utilizando normas y estándares.

# OBJETIVOS

## General

Diseñar la metodología de un sistema eléctrico en media y baja tensión de un centro hospitalario, con capacidad de 2 250 KVA, bajo normas y estándares del Código Nacional Eléctrico con énfasis en el artículo 517 y Asociación Nacional para la Protección Contra el Fuego.

## Específicos

1. Desarrollar y definir los procedimientos para una metodología en media tensión. Implementar la utilización de códigos y estándares para el cálculo, selección de los materiales y equipos que integran la acometida eléctrica en media tensión de acuerdo a la capacidad en kVA, para los conductores eléctricos que serán utilizados en un voltaje de operación de 15 kV y su canalización.

Diseñar, con base en la carga establecida, los equipos de regulación de tensión, distribución en MT y los transformadores de potencia ubicados en la casa de máquinas eléctricas.

2. Diseñar la metodología en baja tensión para un voltaje de operación de 480/277 voltios, sistema que alimentará los tableros generales.
3. Desarrollar una distribución en baja tensión en un voltaje de operación de 208/120 voltios a través de los transformadores del tipo seco que alimentarán los subtableros de distribución que energizarán los sistemas de iluminación, tomas de corriente y circuitos derivados.
4. Elaborar un diseño para el sistema de puesta a tierra del centro hospitalario y la selección de los diámetros de conductores eléctricos que constituirán el sistema, para las instalaciones de los equipos mecánicos e hidráulicos.
5. Seleccionar el sistema de protección de pararrayos del edificio hospitalario.
6. Diseñar las rutas o trayectorias para las canalizaciones eléctricas mediante la clasificación del tipo de tubería eléctrica que se utilizará, de acuerdo con las normas y estándares establecidos en el NEC. Calcular los diámetros de conductores eléctricos de acuerdo a capacidad de carga eléctrica, así como la selección del tipo de aislamiento según su utilización; dimensionar las cajas de salida, cajas de paso de acuerdo a la cantidad de tuberías eléctricas que ingresan y salen de ellas, así como los receptáculos que serán instalados en ellas.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad se desarrollan proyectos de construcción para hospitales en el área privada, pero con relación al sector público, se ha dejado de construir hospitales desde hace tiempo. Por esta razón se por enfoca el diseño de un sistema eléctrico en media y baja tensión de un centro hospitalario con capacidad de 2 250 kVA, bajo normas y estándares internacionales, para que se desarrolle de una manera eficaz y eficiente, con base en estos conceptos.

La metodología consiste en la distribución de energía eléctrica en media y baja tensión, contemplando el buen funcionamiento del sistema. De acuerdo a su rendimiento, se podrá salvar muchas vidas de los pacientes recluidos.

Debido a que es un centro hospitalario, se debe tomar como factor en el diseño un ambiente agradable de iluminación para que el paciente se sienta en un área de confort durante su estadía y recuperación. Se contemplan además los servicios necesarios para funcionen los equipos médicos que monitorean los signos vitales y otros servicios indispensables.



## **1. ANTECEDENTES**

Se diseñará un sistema de acometida eléctrica en línea de media tensión 13,8 kV y la distribución en baja tensión con una capacidad instalada de 2 250 kVA, bajo los lineamientos de las normas y estándares indicados en el código nacional eléctrico de los Estados Unidos (NEC) NFPA 70. Como se aplicará a un centro hospitalario, se hará énfasis en el artículo 517 y se cumplirá también con lo recomendado en las normas ASA, NEMA, ASTM y UL.

En la actualidad, las características de construcción de centros hospitalarios presentan calidades muy bajas en su infraestructura para la distribución de energía eléctrica. También son visibles las condiciones en las que se encuentran actualmente los hospitales en Guatemala, así como los niveles de iluminación en los diferentes ambientes que comprenden el hospital, tomas de corriente y circuitos de fuerza.

Se observa que, en la parte gubernamental, en un período mayor de 10 años, no se ha construido hospitales de dimensiones grandes. Se presenta este diseño y metodología que aplica las normas y estándares internacionales indicados, para generar una solución a la problemática en la construcción de centros del tipo hospitalario.

La baja calidad de los materiales empleados para la construcción presenta un problema con el paso del tiempo.

Al emplear los criterios de certificación “UL” en los materiales, se incrementa el tiempo de vida para las instalaciones eléctricas y de los sistemas de fijación para canalizaciones eléctricas. Mejoran grandemente las características eléctricas y mecánicas de los equipos, y facilitan el mantenimiento en las instalaciones.

El problema actual en los centros hospitalarios es en especial debido a la falta de mantenimiento y la calidad de las instalaciones eléctricas, lo que afecta directamente a los equipos. Se observa en el hospital San Juan de Dios la falla en el sistema de ascensores; en otros centros hospitalarios, problemas con el equipo de rayos “X”, tomografía axial, ultrasonido y equipos de uso diario como lavadoras de ropa, secadoras, cuartos fríos para almacenamiento de alimentos y medicamentos, así como otro número mayor de daños en la infraestructura eléctrica.

Se pretende resolver estos problemas a través del diseño de un centro hospitalario, el cual servirá como guía para la construcción de futuros hospitales. Con la implementación de las normas y estándares indicados habrá un factor de seguridad en el diseño, y cubrirá en su totalidad los sistemas eléctricos para iluminación, tomas de corriente y fuerza.

Se garantiza de esta manera un diseño eficiente con los más altos estándares en la construcción que actualmente se utilizan a nivel mundial. Se genera así un alto nivel de confort para la recuperación de los pacientes, y permite también salvar el mayor número de vidas intervenidas en los diferentes quirófanos.

## **1.1. Marco teórico**

En Guatemala, en el área pública no se ha desarrollado infraestructura para la construcción de hospitales de gran dimensión desde hace más de 10 años. Por tanto, es de suma importancia tener el conocimiento para el adecuado diseño, supervisión y construcción de hospitales con las normas y estándares internacionales siguientes: NEC, NFPA, NEMA, ASA, ASTM y UL.

La metodología aplicada en el diseño eléctrico será de acuerdo con lo indicado en el artículo 517 del NEC. Se diseñará para tres tipos de sistemas de alimentación de energía eléctrica en el proyecto; sistema normal, sistema de emergencia y sistema crítico, enfocado para la alimentación de los sistemas indicados a continuación:

- Diseño del sistema de iluminación interior y exterior para un voltaje de operación de 208/120 voltios.
- Diseño del sistema de tomas de corriente para un voltaje de operación de 208/120 voltios.
- Diseño del sistema de fuerza para voltajes de operación de 480/277 voltios y 208/120 voltios para equipos médicos, los cuales debido a las innovaciones de la tecnología poseen componentes electrónicos, lo que genera señales armónicas al sistema, las cuales deberán ser reguladas.

De acuerdo al diseño de los sistemas anteriormente indicados se formula una metodología de diseño para los subtableros de distribución, con sus respectivas protecciones y cálculo de conductores eléctricos para cada ramal de distribución o circuito derivado y de alimentación, hacia los tableros generales.

Estos son alimentados por los tres tipos de sistemas de distribución eléctrica, de acuerdo con lo indicado en el artículo 517 del NEC para el funcionamiento eficiente del hospital en caso de pérdida del fluido eléctrico por la empresa suministradora de energía eléctrica o debido a fenómenos atmosféricos, ya que las tormentas afectan la región anualmente.

En los tableros generales, como un sistema de protección adicional, se utilizará TVSS de acuerdo con lo indicado en la norma NFPA 780 y bancos de capacitores para regular el factor de potencia en el sistema.

El diseño abarcará el sistema de alimentación en línea de media tensión trifásica con voltaje de operación de 13 800 voltios, el cual garantizará el suministro de capacidad eléctrica real para el sistema de subestación principal de potencia.

También comprenderá el diseño para el sistema de distribución en baja tensión trifásico en voltaje de operación de 480 voltios para el sistema de fuerza que operará equipos especiales energizados con este tipo de voltaje, así como la alimentación eléctrica en forma radial hacia las subestaciones secundarias que distribuirán en voltaje de 208/120 voltios sistema trifásico.

Se emplearán para el equipamiento biomédico, equipamiento de computó, equipamiento para el sistema de señales débiles. El sistema de emergencia será provisto por grupos electrógenos de la capacidad adecuada para el funcionamiento, en conjunto con las transferencias automáticas y la subestación principal que alimenta al sistema en baja tensión.

Para completar el diseño para la distribución en media tensión del circuito trifásico por medio de una acometida eléctrica, se utilizará el procedimiento indicado en las normas NTDOID avaladas por la CNEE y normas de la empresa eléctrica suministradora del servicio. El sistema deberá ser del tipo subterráneo con pozos de registro, canalizaciones y conductores eléctricos adecuados con aislamiento XLPE dentro de tubería tipo IMC o Conduit galvanizada para su protección mecánica, del diámetro adecuado.

El sistema de medición en media tensión deberá ser aprobado por la empresa que suministrará la energía eléctrica y de acuerdo a los requerimientos técnicos para los (CT's) y (PT's). El uso de reguladores de voltaje en media tensión mantendrá estable el ingreso de energía eléctrica al sistema de distribución, el cual será distribuido por medio de una celda de derivación en media tensión.

Un factor importante que deberá ser considerado es la capacidad de alimentación de la empresa suministradora de energía eléctrica, ya que, de no tener las características de distribución en media tensión para el consumo proyectado, se deberá realizar una reconversión en el ramal o circuito eléctrico trifásico en media tensión desde donde será alimentado el proyecto.

Este costo deberá ser incluido en los alcances económicos para no tener problemas posteriores al momento de la ejecución. Los lineamientos que se deberá cumplir en el proceso del diseño son los siguientes:

- Definir las cargas eléctricas individuales en una planta arquitectónica.
- Coordinar el punto de entrega de la acometida más adecuado.
- Calcular la carga total y seleccionar la capacidad del o los transformadores.
- Coordinar la ubicación del transformador o transformadores de potencia y del equipo de servicio.
- Ubicar los tableros de distribución, de alumbrado y fuerza.
- Ubicar las bombas de extinción de incendio.
- Ubicar los tableros de distribución para el sistema de bombeo, alimentación de cisterna de agua potable.
- Ubicar los equipos especiales, aire acondicionado, ventilación, elevadores, agua caliente y otros.
- Ubicar el cuarto de máquinas eléctricas, grupo o grupos electrógenos, transferencia automática, reguladores de voltajes, celda de derivación y transformadores de potencia.
- Determinar el tamaño de los alimentadores y circuitos ramales.
- Determinar las protecciones requeridas.
- Definir el sistema de canalización eléctrica que se utilizará.
- Definir la planificación y proveer los elementos necesarios para el adecuado y seguro suministro y control de la energía eléctrica a las cargas del proyecto; documentar estas en los planos y especificaciones técnicas.
- Realizar los cálculos necesarios que permitan definir y seleccionar las capacidades de cada uno de los elementos del sistema eléctrico. Documentar estos en la memoria de cálculo.

## **1.2. Marco de referencia del hospital**

La metodología está proyectada para el diseño integrado de la construcción de un centro médico hospitalario. Comprende un conjunto de elementos de suma importancia para el funcionamiento operativo de un centro dedicado a salvar vidas y proveer de salud a los pacientes ingresados al mismo.

Se plantea como una referencia para el diseño de nuevos centros hospitalarios en el país, a través de un conjunto de normas y lineamientos que se deberá aplicar. Se resalta como parte del diseño el uso correspondiente al artículo número 517 del código nacional eléctrico de los Estados Unidos de Norte América (N.E.C.).

Dentro de los alcances se plantea el diseño para el sistema de tierra física el cual es de suma importancia porque a través de este sistema se garantiza la protección de la vida de los pacientes, así como del personal operativo, médico y administrativo.

También es relevante para la protección de los equipos de uso médico, de distribución eléctrica en media y baja tensión, y de los sistemas especiales o de señales débiles. El diseño estará definido en función de la capacidad de camas del tipo hospitalario. Serán 250 camas para pacientes adultos, hombres y mujeres, y pacientes de pediatría. Su objetivo fundamental será prestar un servicio confortable.

La unidad del paciente es el conjunto formado por el espacio de la habitación, el mobiliario y el material que utiliza el paciente durante su estancia en el centro hospitalario. Por lo tanto, el número de unidades del paciente será igual al número de camas que tendrá el hospital.

El hospital se ubica en el municipio de Quetzaltenango, departamento de Quetzaltenango, a una altura aproximada de 2 333 metros sobre el nivel del mar. Se localiza a 14°50'40" de latitud norte y 91°30'05" de latitud oeste. Su importancia geográfica le permitirá ser la sede en el área occidental y prestar la cobertura del servicio de salud en los departamentos de San Marcos, Huehuetenango, Totonicapán, Quiché, Sololá, Suchitepéquez y Retalhuleu.

Por las características del equipamiento médico con el que se contará: tomografía axial, rayos "X" digital, mamografía, ultra sonido, laboratorios, esterilizadores, brazos mecánicos para quirófanos, equipo de gases medicinales, sistema de llamado enfermo enfermera, se deberá tomar en cuenta la capacidad de consumo eléctrico de estos equipos para el diseño eléctrico de su alimentación y el buen funcionamiento.

Figura 1. **Vista superior del centro médico**



Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Planta de arquitectura, vista superior del proyecto



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

## **2. METODOLOGÍA DE DISEÑO EN MEDIA TENSIÓN**

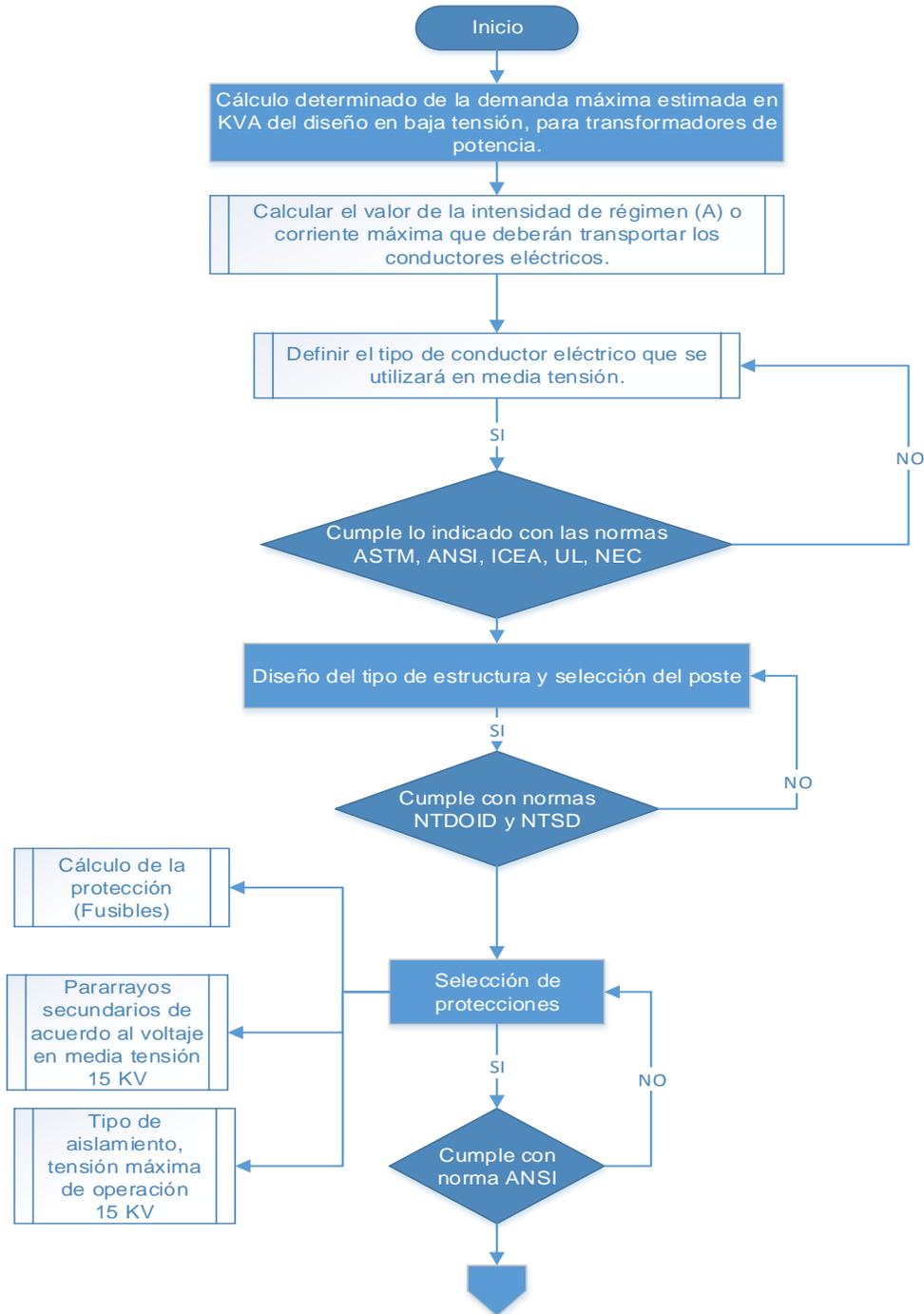
En esta metodología se desarrolla el diseño para un sistema de alimentación eléctrico en línea de media tensión, con voltaje de operación de 13,8 kV, el cual es suministrado por medio de la empresa que prestará el servicio de energía eléctrica. La conexión del proyecto está definida desde el punto de arranque o inicio, indicado por la empresa eléctrica.

A partir de ese punto inicia el diseño en media tensión, donde se deberá utilizar conductores eléctricos del tipo ACSR y del calibre diseñado para transportar la energía eléctrica. El sistema corresponde a un servicio trifásico, por lo que el diseño para la acometida eléctrica deberá cumplir con los lineamientos, códigos y normas nacionales e internacionales.

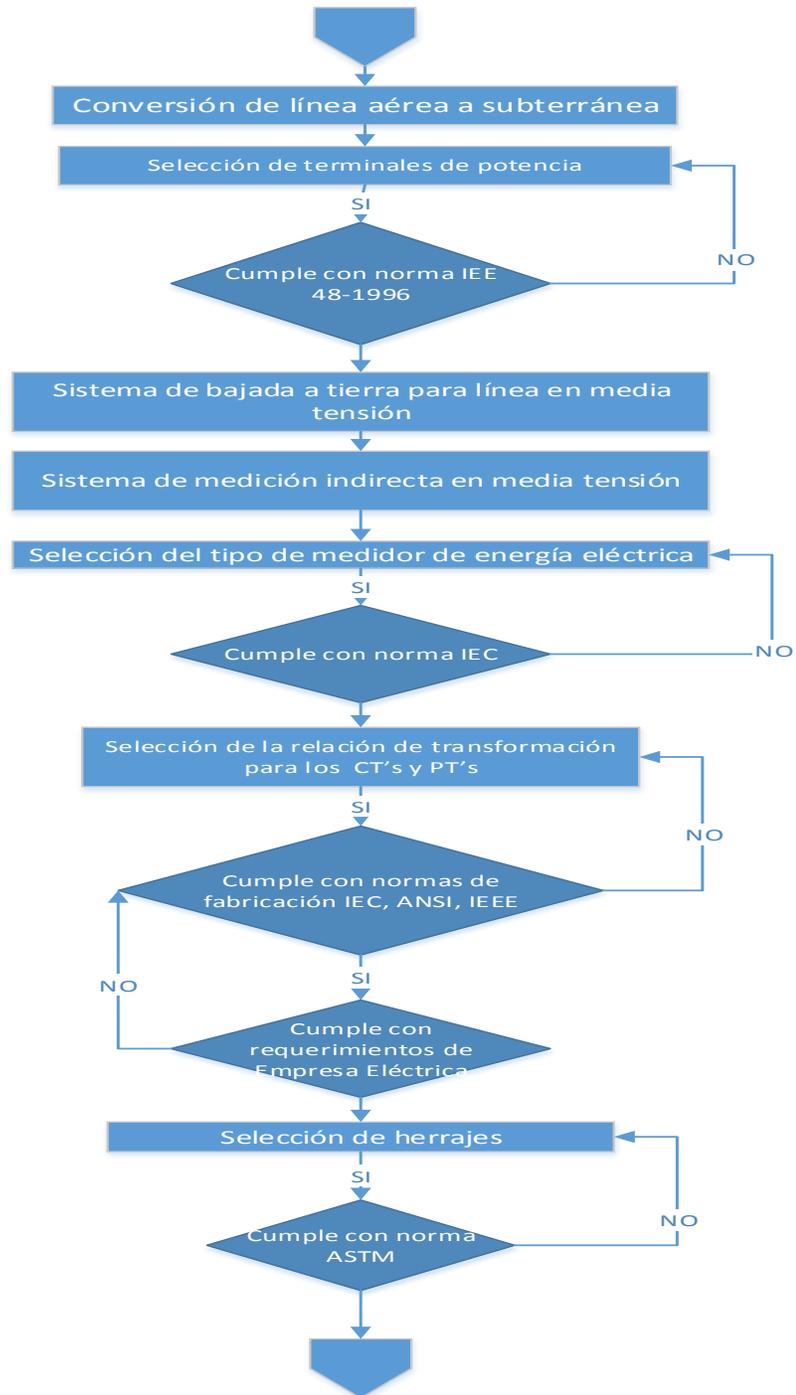
Para asegurar que la empresa eléctrica suministradora del servicio no tenga pérdidas por consumo de energía eléctrica, se debe diseñar el sistema de medición en media tensión, con transformadores de corriente y voltaje combinados con un medidor de energía clase 20. La base principal de este diseño corresponde a la metodología de diseño en baja tensión del centro médico, la cual es definida en los capítulos posteriores.

A continuación, se describe el diagrama de flujo para realizar el diseño. En cada sección se define la metodología utilizada para desarrollarlo, aplicando los códigos y normas nacionales e internacionales.

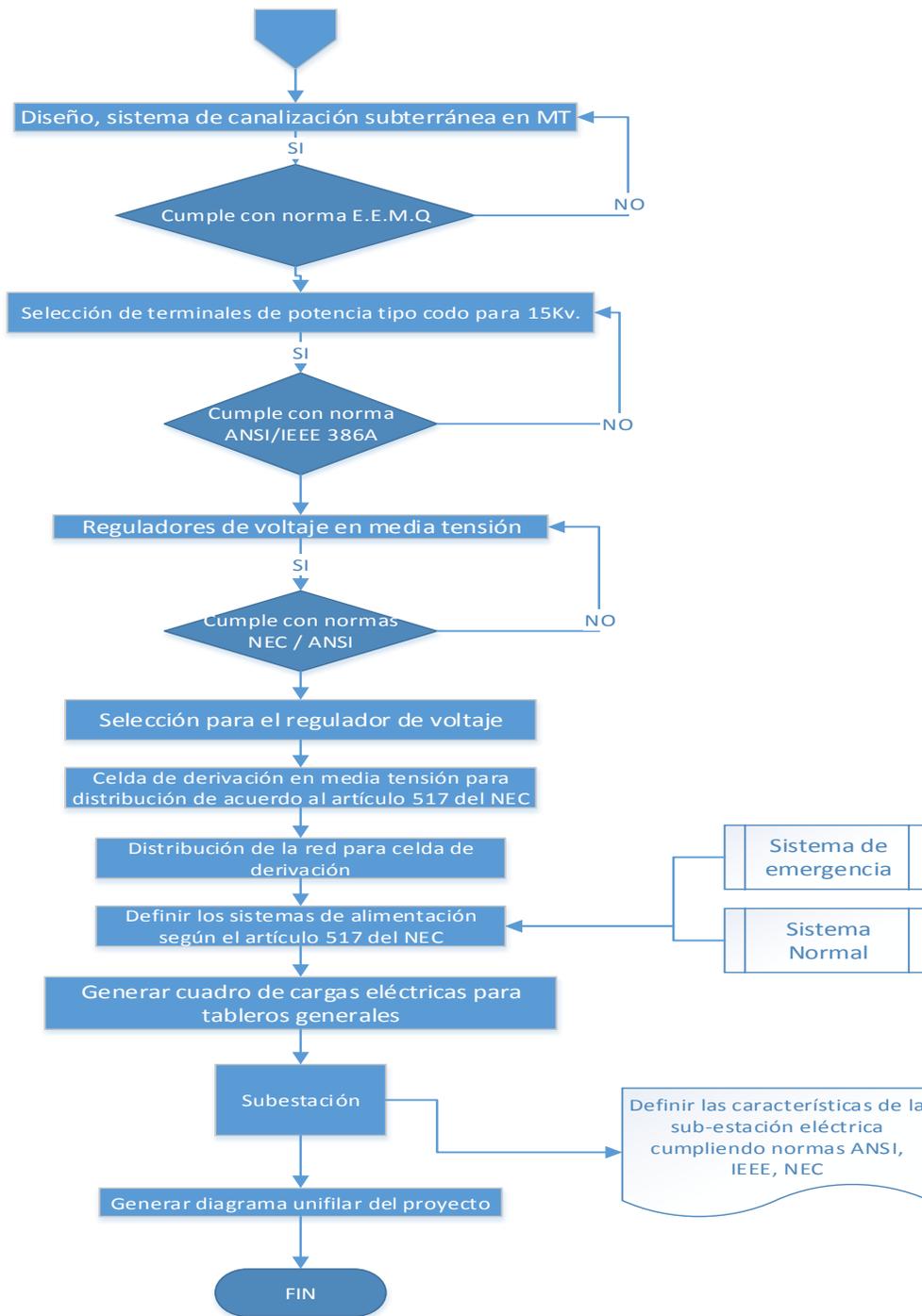
Figura 3. Diagrama de flujo para la metodología de diseño del sistema de acometida eléctrica en media tensión, línea 13,8 kV



Continuación figura 3.



Continuación figura 3.



Fuente: elaboración propia.

La metodología de diseño en media tensión en voltaje de operación 13,8 kV, sistema trifásico, de la alimentación y distribución eléctrica para el centro hospitalario, inicia con la definición de la demanda máxima estimada, calculada en el diseño de baja tensión. Se define así la capacidad para la subestación, que será de 2 250 kVA, en el cual se deberá implementar los códigos y estándares internacionales para las instalaciones eléctricas siguientes.

## 2.1. Códigos y estándares

Los equipos y materiales empleados en las instalaciones eléctricas deberán ajustarse a lo establecido en los siguientes reglamentos, códigos y normas.

Tabla I. **Códigos y estándares que se utilizarán**

No.	Descripción
1	Reglamentos, leyes y normas de la Empresa Eléctrica Municipal de Quetzaltenango (EEMQ).
2	Normas de la Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima (EEGSA).
3	Ley General de Electricidad y reglamentos de la República de Guatemala. CNEE (Comisión Nacional de Energía Eléctrica)
4	Código Nacional Eléctrico de los EE.UU. (NEC).
5	Asociación Nacional para la Protección Contra el Fuego (NFPA 70 de los EE.UU.).
6	Laboratorios <i>Underwriter's</i> (U.L. de los EE.UU.).
7	Asociación Americana de Estándares (A.S.A. de los EE.UU.).
8	Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (N.E.M.A. de los EE.UU.).
9	Asociación Americana para la prueba de Materiales (A.S.T.M. de los EE.UU.).
10	Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDROID)
11	Normas Técnicas de Servicio de Distribución (NTSD)

Fuente: elaboración propia.

## **2.2. Materiales básicos y métodos**

A continuación, se define las características de los materiales básicos y métodos para realizar el diseño del centro médico, de manera que se cumpla con los más altos estándares de calidad, en el proceso para su instalación.

### **2.2.1. Materiales y equipos**

Los materiales, componentes y equipos serán de la mejor calidad, libre de defecto e imperfecciones, de fabricación reciente, sin usarse y apropiados para el uso que se pretende.

Se deberá suministrar material y equipo de larga duración, con amplios márgenes de seguridad y de características apropiadas para operar en condiciones ambientales como las del sitio en donde serán instaladas.

### **2.2.2. Métodos**

Se empleará los métodos recomendados por el NEC y sistemas para asegurar la pronta y eficaz terminación de las instalaciones eléctricas. El montaje y la instalación del sistema de distribución en media tensión deberán de ejecutarse de una manera eficiente y desarrollarse de acuerdo a las regulaciones y recomendaciones de los códigos y los reglamentos.

Los dobleces y cortes de tuberías metálicas deberán de hacerse por medio de herramientas hidráulicas y / o eléctricas. Para el tendido de cables de media tensión se exigirá que se usen los mejores equipos, para evitar daños a los mismos.

### **2.3. Acometida primaria**

Las normas de la Empresa Eléctrica Municipal de Quetzaltenango (EEMQ) establecen que la conexión entre el sistema de distribución en media tensión de la empresa y el nuevo servicio, deberá ser realizada por parte del propietario. La instalación de la acometida eléctrica en media tensión inicia desde el punto de arranque indicado por la EEMQ.

#### **2.3.1. Componentes de la acometida eléctrica primaria para línea en media tensión 13 800 voltios**

Parte importante en el diseño eléctrico en media tensión lo constituye, la descripción de sus componentes, los cuales deberán ser de acuerdo con las características para operar en un voltaje de distribución en 13 800 voltios, definiendo el tipo de estructura de arranque (inicio), sus aisladores, herrajes para soportar los esfuerzos mecánicos, así como los conductores eléctricos en línea aérea y subterránea.

También el tipo de canalización eléctrica, tuberías y pozos de registro, para la distribución subterránea, analizando las trayectorias más idóneas.

### 2.3.1.1. Cables conductores eléctricos

Para el diseño de los conductores eléctricos de alimentación se debe determinar el valor de la corriente máxima. De acuerdo a la potencia que será transportada que corresponde a la alimentación del centro de transformación, tendrá una capacidad 2 250 kVA y una tensión de la red de 13 800 voltios. La corriente máxima de transporte para la que está calculada la línea, se realiza de acuerdo con lo establecido en la siguiente fórmula (ver tabla II), acerca del criterio de capacidad de conducción de corriente y regulación de la tensión.

Tabla II. **Fórmula para el cálculo de la intensidad de régimen en amperios en media tensión**

Fórmula	Descripción
$I = S / (\sqrt{3} \cdot V)$	I = Intensidad de régimen en amperios (A)
$I = 2\,250 \text{ kVA} / (\sqrt{3} \cdot 13,8 \text{ kV})$	S = Potencia de la subestación en (kVA)
I = 94,13 Amperios	V = Voltaje en media tensión 13,8 (kV)
	$\sqrt{3}$ = Constante sistema trifásico

Fuente: Norma NFPA 70 NEC.

Tabla III. **Tabulación de datos para análisis**

Potencia	Voltaje	Corriente	No. Conductores	Distancia (m)
Aparente (kVA)	kV	A		
2 250	13,8	94,13	3 # 1/0 XLPE + 1 # 1/0 THHN	150

Fuente: elaboración propia.

El NEC recomienda, en el artículo 210,10, que la capacidad de corriente del alimentador eléctrico, no deberá ser menor del 125% de la potencia de la carga diseñada. La capacidad del conductor, para no sobrecargarlo, tendrá el siguiente valor:  $94,13 \times 1,25 = 117,66$  amperios, razón por la que se ha determinado utilizar el conductor eléctrico de calibre # 1/0 AWG.

Se observa, en la tabla número IV, el tamaño mínimo del calibre para conductores para un voltaje de línea en media tensión entre el rango de 8 001 voltios a 15 000 voltios. Se determina que el calibre mínimo corresponde al #2, y el calibre 1/0 es el adecuado para la instalación eléctrica de la acometida.

Tabla IV. **Calibres mínimos para conductores eléctricos de acuerdo con la capacidad de conducción en voltaje para línea de media tensión**

Voltaje de operación del conductor (Voltios)	El tamaño mínimo del conductor (AWG)	
	Cobre	Aluminio o aluminio revestido de cobre
0 – 2 000	14	12
2 001 – 5 000	8	8
5 001 – 8 000	6	6
8 001 – 15 000	2	2
15 001 – 28 000	1	1
28 001 – 35 000	1/0	1/0

Fuente: NEC 2011. p. 356.

De acuerdo con el cálculo para la corriente se establece el valor de 117,66 amperios. Como criterio de acuerdo con lo observado en el NEC, se dejará previsto un margen para crecimiento futuro de la instalación con un valor del 20% adicional, por lo que el valor en el diseño será de  $117,66 \times 1,20 = 141,19$ .

Este es el valor más cercano a la capacidad límite de conducción del cable #2, de acuerdo con las tablas VI y VII, razón por la cual la acometida primaria será subterránea desde el poste de entrega hasta la subestación. Se usará para las fases cables de potencia calibre # 1/0 AWG unipolar, con aislamiento para 15 kV (cable *poliphel* primario) y para el conductor neutro # 1/0 THHN AWG.

El cable de energía estará formado por un conductor de cobre suave en cableado concéntrico clase B comprimido o compactado, pantalla semiconductora extruida sobre el conductor, aislamiento termofijo o de polietileno de cadena cruzada (XLPE), pantalla semiconductora extruida sobre el aislamiento, pantalla metálica formada por una capa continua de plomo aplicada directamente sobre la pantalla semiconductora de aislamiento, y cubierta exterior de policloruro de vinilo (PVC). Será definido el tipo que se utilizará.

En la figura 4 se presenta la disposición del cable conductor eléctrico para media tensión con voltaje de operación de 15 000 voltios.

Figura 4. **Conductor eléctrico de cobre con aislamiento (XLPE)**



Fuente: [www.viakon.com](http://www.viakon.com). Consulta: 8 de febrero de 2016.

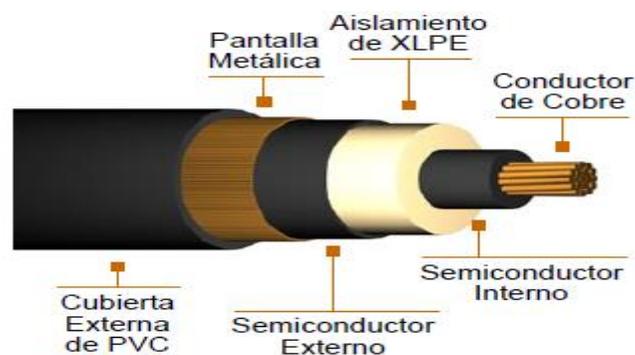
Tabla V. **Normas para conductores eléctricos en media tensión**

<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
ASTM B3	Especificación para alambre de cobre blando o recocido.
ASTM B8	Conductores de cobre duro, semi duro o blando, cableado concéntrico.
ASTM B787	<i>19 Wire Combination Unilay – Stranded Copper Conductors.</i>
NTC 2186-2	Cables de potencia apantallados desde 5 kV hasta 46 kV para uso en transmisión y distribución de energía eléctrica
ANSI/ICEA S93-639	<i>5-46 kV Shielded Power Cable for Use in the Transmission and Distribution of Electric Energy.</i>
ANSI/ICEA S94-649	Cables neutros concéntricos clasificación 5 de 46 kV.
Artículo 310 y 326	Código eléctrico NEC de USA.
UL 1072	Cables de energía de media tensión.

Fuente: elaboración propia.

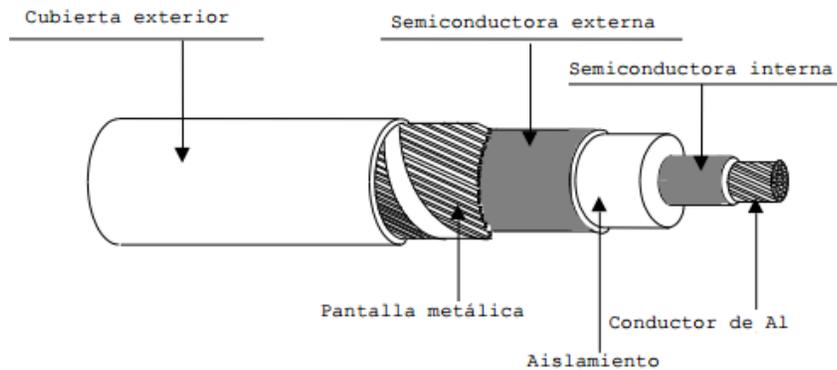
En las figuras número 5 y 6 se presenta las partes del conductor eléctrico para operar en media tensión, en voltaje de 15 000 voltios.

Figura 5. **Composición del conductor de cobre**



Fuente: [www.pdic.com](http://www.pdic.com). p. 1. Consulta: 16 de febrero de 2016.

Figura 6. **Constitución del conductor eléctrico de aluminio para 15 kV**



Fuente: [www.aven.es/attachments/normas\\_iberdrola/ni\\_56\\_43\\_01.pdf](http://www.aven.es/attachments/normas_iberdrola/ni_56_43_01.pdf). En nuestro caso el conductor es de cobre. Consulta: 16 de febrero de 2016.

Tabla VI. **Corriente máxima en conductores unipolares de cobre 15 kV**

Datos técnicos

Temperaturas máximas en el conductor:

- Operación normal 75°C
- Sobrecarga 130°C
- Cortocircuito 250°C

Colores: Negro

Presentación: Carretes 500 y 1 000 metros

**Aplicaciones:**

Transmisión y distribución de energía eléctrica. Sistemas trifásicos de distribución. Apropiado para instalaciones aéreas, en ductos y subterráneas.

Calibre (AWG/MCM)	Nro. Hilos	Capacidad (Amp) Al aire	Diametro (mm)	Peso Aprox. (Kg/Km)
2	7	159	25,00	855,00
1/0	19	206	28,00	1.105,00
2/0	19	234	29,00	1.275,00
4/0	19	302	32,00	1.745,00
250	37	331	34,00	1.985,00
500	37	479	41,00	3.435,00
750	61		42,10	4.600,00
1000	61		47,50	6.034,00

Fuente: [www.obramat.com.ve](http://www.obramat.com.ve). Consulta: 27 de febrero de 2016.

La corriente máxima admisible es la máxima intensidad de corriente que puede circular de manera continua por un conductor eléctrico sin que este sufra daños. Para el centro hospitalario se utilizará el conductor del calibre # 1/0, el cual tiene una sección transversal de 53,5 mm<sup>2</sup> y una capacidad de 170 amperios.

Con forro tipo THHN para la línea del neutro, dentro de tubería *conduit*. Para el caso de los cables monopolares, de acuerdo con lo indicado en la tabla número VI, se observa que la corriente máxima soportada por el conductor corresponde a 206 amperios para instalación aérea. En la tabla número VII se observa 240 amperios. El valor es más elevado del rango determinado de acuerdo al cálculo realizado. En la tabla número VII se presenta la hoja de información técnica del conductor eléctrico para la tensión de operación de 15 kilovoltios (kV).

Tabla VII. **Hoja técnica del conductor para 15 KV con forro XLPE**

Media tensión XLPE-PB 15 kV							
			100% Nivel de aislamiento Espesor de aislamiento = 4,45		133% Nivel de aislamiento Espesor de aislamiento = 5,59		
Calibre	Área nominal de la sección transversal	Número de hilos	Diámetro total aproximado	Peso total aproximado	Diámetro total aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente
AWG o kcmil	mm <sup>2</sup>		mm	Kg / 100 m	Mm	Kg / 100 m	Amperios
2	33,6	7	26,5	2 143	28,8	2 388	177
1	42,4	19	27,3	2 301	29,6	2 548	190
1/0	53,5	19	28,3	2 494	30,6	2 744	240
2/0	67,4	19	29,3	2 720	31,7	2 974	275
3/0	85,0	19	30,5	2 999	32,9	3 257	310
4/0	107,2	19	31,9	3 332	34,2	3 595	356
250	126,7	37	33,3	3 665	37,1	4 481	382
300	152,0	37	34,6	4 014	38,4	4 864	420
350	177,3	37	37,3	4 923	39,6	5 235	457
500	253,4	37	40,4	5 975	42,7	6 298	533
600	304,0	61	42,7	6 706	45,8	7 113	575
750	380,0	61	45,9	7 765	48,3	8 107	602
1 000	506,7	61	50,4	9 800	53,6	10 316	730

Nota: Las dimensiones y los pesos están sujetos a tolerancias de manufactura

Fuente: [www.viakon.com](http://www.viakon.com). Consulta: 15 de febrero de 2016.

En la tabla número VIII se observa las características eléctricas para el conductor de cobre en media tensión.

Tabla VIII. **Características de los conductores eléctricos MT**

Characteristic	Copper	Copper-Clad Aluminum	Aluminum
Density (lb/in. <sup>3</sup> )	0.323	0.121	0.098
Density (g/cm <sup>3</sup> )	8.91	3.34	2.71
Resistivity (ohms/CMF)	10.37	16.08	16.78
Resistivity microhm — CM	1.724	2.673	2.790
Conductivity (IACS %)	100	61–63	61.0
Weight % copper	100	26.8	—
Tensile K psi — hard	65.0	30.0	27.0
Tensile kg/mm <sup>2</sup> — hard	45.7	21.1	19.0
Tensile K psi — annealed	35.0	17.0	17.0*
Tensile kg/mm <sup>2</sup> — annealed	24.6	12.0	12.0
Specific gravity	8.91	3.34	2.71

Fuente: NEC 2011. p. 355.

La reactancia kilométrica de la línea se calcula a partir de la siguiente fórmula.

Tabla IX. **Fórmula para calcular la reactancia del conductor eléctrico**

Fórmula	Descripción
$X = 2\pi fM$ (ohm/kilómetro)	X: Reactancia en ohm/km
	f: Frecuencia de la red 60 Hz
	D: Separación media geométrica entre conductores en mm
	r: radio del conductor en mm
	$\pi$ : Constante Pi, valor 3.1416
	M: $(0,5+4,605\log D/r) \times 10^{-4}$ Henrios/km

Fuente: Norma NFPA 70 NEC.

Acerca de la resistencia de la línea, según los datos del fabricante, en la tabla número X se observa que el valor para el conductor eléctrico calibre # 1/0 de cobre corresponde a 0,328 Ohm/km y el valor de la resistencia eléctrica máxima en corriente continua a 20°C.

Tabla X. **Características eléctricas del conductor unipolar**

Información técnica:

Calibre	Tensión	Área nominal de la sección transversal	Diámetro del conductor Nominal	Número de alambres	Resistencia conductor Nominal a 20°C	Espesor Nominal del aislamiento 133 % NA	Diámetro sobre el aislamiento aproximado	Pantalla (# Alambres /AWG)	Diámetro total aproximado	Peso Total aproximado	
		mm <sup>2</sup>	mm	#	Ohm/km	mm	mm		mm	kg/km	
2	AWG	15 KV	33.6	6.8	7	0.521	5.6	20	14H/22AWG	29	1050
1/0	AWG	15 KV	53.5	8.6	18 <sup>1</sup>	0.328	5.6	21	14H/22AWG	31	1300
2/0	AWG	15 KV	67.4	9.6	18 <sup>1</sup>	0.261	5.6	22	14H/22AWG	32	1469
3/0	AWG	15 KV	85	10.8	18 <sup>1</sup>	0.206	5.6	24	14H/22AWG	33	1682
4/0	AWG	15 KV	107	12.1	18 <sup>1</sup>	0.164	5.6	25	14H/22AWG	35	1950
250	kcmil	15 KV	127	13.2	35 <sup>2</sup>	0.139	5.6	26	16H/22AWG	36	2207
300	kcmil	15 KV	152	14.5	35 <sup>2</sup>	0.116	5.6	28	16H/22AWG	37	2494
350	kcmil	15 KV	177	15.7	35 <sup>2</sup>	0.099	5.6	29	16H/22AWG	39	2778
400	kcmil	15 KV	203	16.7	35 <sup>2</sup>	0.0865	5.6	30	16H/22AWG	40	3053
500	kcmil	15 KV	253	18.7	35 <sup>2</sup>	0.0695	5.6	32	16H/22AWG	43	3769
600	kcmil	15 KV	304	20.6	58 <sup>3</sup>	0.0577	5.6	35	22H/22AWG	46	4395
750	kcmil	15 KV	380	23.0	58 <sup>3</sup>	0.0462	5.6	37	22H/22AWG	49	5278
1000	kcmil	15 KV	507	26.9	58 <sup>3</sup>	0.0347	5.6	41	22H/22AWG	53	6633

Nota: Construcción opcional 1) 18, 2) 37 y 3) 61 alambres, en caso de requerir en esta construcción especificar en la solicitud de cotización.

Los valores aquí indicados son aproximados y de acuerdo a tolerancias de normas de fabricación, por lo cual pueden sufrir variaciones.

Fuente: Delta Catálogo General. p. 26. Consulta: 29 de febrero de 2016.

## Líneas de longitud corta (longitud inferior a 80 Km.)

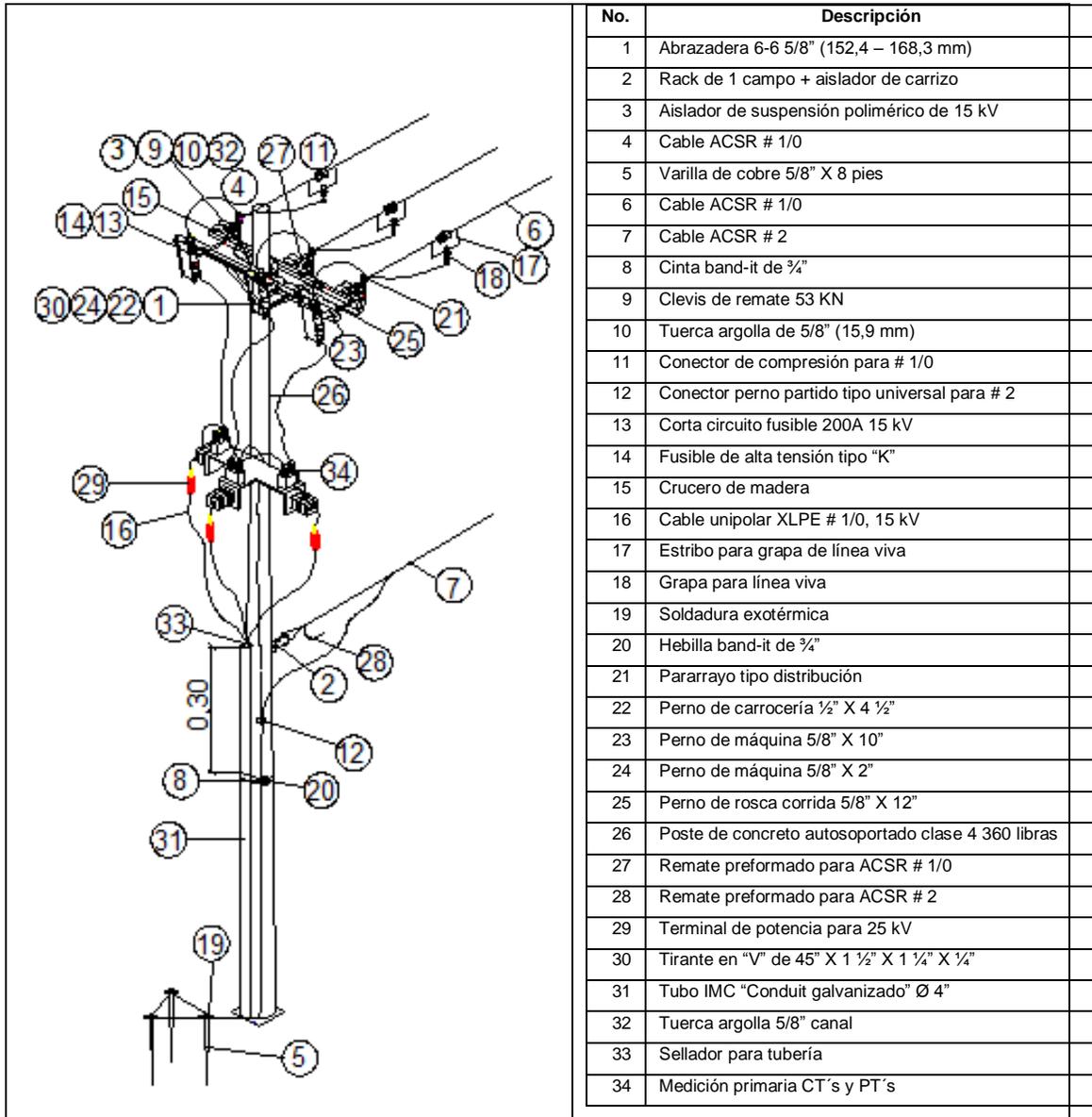
Es considerada una línea de longitud corta aquella que no exceda de los 80 Km. Con esta longitud puede despreciarse el efecto producido por la conductancia (efecto corona y efecto aislador). Así mismo, el efecto capacitivo es también de pequeño valor, no influye en los resultados.

Los valores de la resistencia y la inductancia sí son necesarios, pero pueden tomarse de forma concentrada, y se simplifica enormemente las operaciones.

En la unión entre la línea aérea y el cable subterráneo destinado a alimentar al centro de transformación con capacidad de 2 250 kVA se instalará en el poste de conversión aéreo subterráneo, seccionadores, pararrayos, un sistema de medición indirecta para media tensión, terminales de potencia verticales para la conversión de la línea del conductor eléctrico aéreo hacia el conductor eléctrico subterráneo.

En la figura número 7 se observa el diseño de la estructura que corresponde al tipo VI (fin de línea), en la cual se instalará los accesorios para montaje de herrajes, tuberías tipo IMC, conductores eléctricos, terminales verticales, protecciones, medición tipo indirecta en el lado de media tensión. La instalación es en el poste de concreto tipo autosoportado de 4 360 libras, con una longitud de 10,67 metros (35 pies). Esta estructura deberá cumplir con los requerimientos indicados en las normas NTDOID y NTSD.

Figura 7. **Detalle de poste para ingreso de acometida eléctrica subterránea**



Fuente: elaboración propia.

### 2.3.1.2. Poste de concreto centrifugado autoportado

Para el diseño se utilizará un poste de concreto autoportado, diseñado por su consistencia y sección, con la capacidad para soportar por sí solo las tensiones de los conductores eléctricos en una línea de distribución, en ángulos, retenciones y remates, sin la ayuda de anclajes externos o retenidas.

En la tabla número XI se presenta las características de construcción para postes de concreto y la razón por la cual se ha seleccionado un poste del tipo autoportado.

Tabla XI. **Características nominales para postes de concreto**

Descripción corta	Longitud (metros)	Diámetro exterior mínimo (centímetros)		Carga de ruptura a cumplir	
		Punta	Base	Kilogramos	Libras
PC-9-450	9,00	13,00	26,50	450	1 000
PC-10-450	10,60	15,00	30,90	450	1 000
PC-12-750	12,00	15,00	33,00	750	1 650
PC-14-750	14,00	15,00	36,00	750	1650
PC-12-1 800 Autoportado	12,00	23,00	41,00	1 980	4 360
PC-14-1 800 Autoportado	14,00	23,00	41,00	1 980	4 360

Fuente: [www.honducopras.gov.hn](http://www.honducopras.gov.hn). Consulta: 04 de mayo de 2016.

Para la instalación del poste se cumplirá con lo indicado en la tabla número XII que especifica la profundidad para la excavación, que deberá ser de 1,83 m.

De acuerdo con lo indicado en la norma americana REA para electrificación rural, deberá ser de 1/6 de la altura del poste.

Tabla XII. **Altura de excavación, para enterramiento de postes**

Longitud el poste en <b>Metros o pies</b>	Profundidad mínima (m)	
	Tierra	Roca
11 metros (36,1 pies)	1,83 metros (6,0 pies)	1,22 metros (4,0 pies)
12 metros (39,4 pies)	1,83 metros (6,0 pies)	1,22 metros (4,0 pies)
14 metros (45,9 pies)	1,98 metros (6,5 pies)	1,37 metros (4,0 pies)
16 metros (52,5 pies)	2,10 metros (7,0 pies)	1,52 metros (4,0 pies)
18 metros (59,0 pies)	2,30 metros (7,5 pies)	1,69 metros (4,5 pies)

Fuente: Unión Fenosa Guatemala. *Estructuras de media tensión*. p. 35.

### 2.3.1.3. Corta circuitos o seccionadores

Para la conversión de línea aérea a subterránea, tanto en el caso de un cable subterráneo intercalado con una línea aérea, como de un cable subterráneo de unión entre una línea aérea y una instalación transformadora, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones.

- Cuando el cable subterráneo esté destinado a alimentar un centro de transformación se instalará un seccionador ubicado en el propio poste de la conversión aéreo-subterráneo, en uno próximo o en el centro de transformación, siempre que el seccionador sea una unidad funcional y de transporte separada del transformador. En cualquier caso, el seccionador quedará a menos de 50 metros de la conexión aéreo-subterránea.

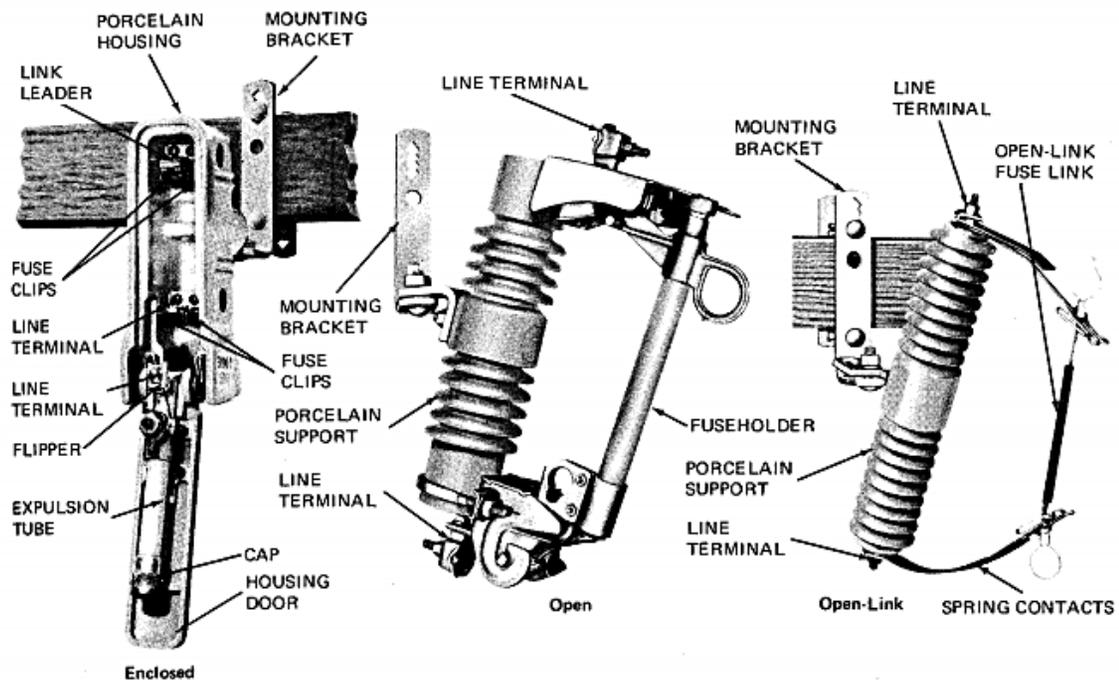
- Para la protección de la línea aérea se instalará el seccionador en el poste de conversión de la línea aérea a subterránea, de acuerdo con la figura 7, que indica en los ítems 13 y 14 su ubicación.

El seccionador o corta circuitos (*cut out*) es un dispositivo cuya función es portar el fusible limitador de corriente. Para su diseño, debe cumplir con las condiciones de voltaje de operación de la línea en media tensión de 13 800 voltios y capacidades de 100 a 200 amperios, de acuerdo con el valor del fusible que se utilizará. Debe cumplir también con las siguientes características:

- Confiabilidad mejorada
- Seguros
- Amigables al clima frío – resistentes a daños por ciclos congelamiento/descongelamiento
- Menos quebradizos
- Varillas fundidas en caliente evitan la penetración de humedad
- No susceptibles a los rayos UV
- Resistentes al vandalismo
- Excelentes propiedades eléctricas y resistencia dieléctrica
- Excelente resistencia mecánica

En la figura número 8 se presenta las características y accesorios de los seccionadores para instalación en media tensión.

Figura 8. Características de los seccionadores



Fuente: [www.02.abb.com](http://www.02.abb.com). Consulta: 04 de mayo de 2016.

#### 2.3.1.4. Dispositivo para protección de sobre corrientes fusibles

De acuerdo con las características de la aplicación que corresponde a la acometida eléctrica, en media tensión se utilizarán fusibles de distribución con la forma de los que se utilizan generalmente para la protección de ramales y transformadores de distribución.

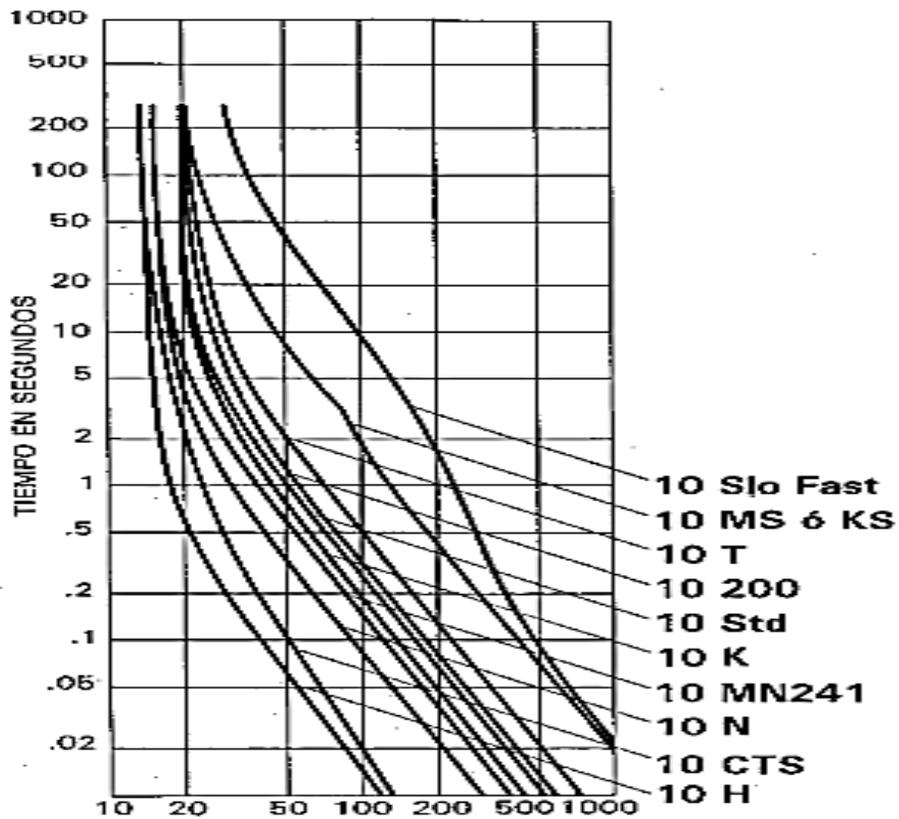
Para la selección del fusible se utiliza la norma UNE-21122 Guía de aplicación, con el fin de elegir fusibles de alta tensión destinados a utilizarse en circuitos con transformadores.

Tabla XIII. **Fórmula para el cálculo del fusible en MT**

Fórmula	Descripción
$K = (I_f / I_n)$	$I_f$ : Intensidad nominal del fusible
$I_f = K \times I_n$	$I_n$ : Intensidad nominal del transformador en alta tensión
	K: Valor de la curva entre 2 y 3
	$I_n$ : 94,13 amperios
	K: 2
	$I_f$ : 188.26 amperios

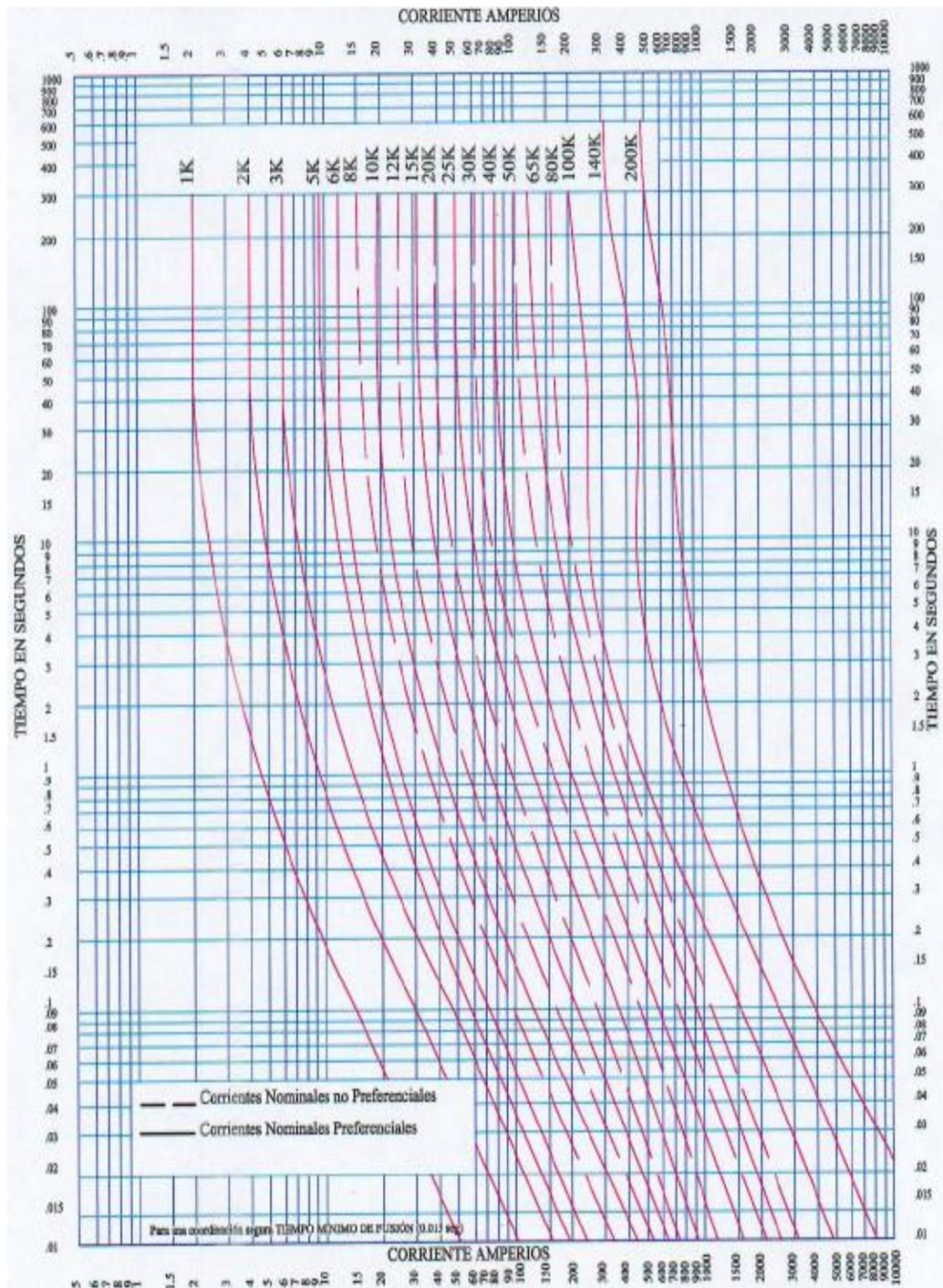
Fuente: Norma UNE-21122.

Figura 9. **Curva tiempo corriente para fusible tipo "K"**



Fuente: [www.sandc.com/edocs\\_pdfs/EDOC\\_006511.pdf](http://www.sandc.com/edocs_pdfs/EDOC_006511.pdf). Consulta: 16 de mayo de 2016.

Figura 10. Criterio de selección con curva tiempo corriente para fusible tipo “K”



Fuente: [www.sandc.com/edocs\\_pdfs/EDOC\\_006511.pdf](http://www.sandc.com/edocs_pdfs/EDOC_006511.pdf). Consulta: 16 de mayo de 2016.

De acuerdo con el cálculo, el fusible limitador de corriente corresponde a 200 amperios. También se puede utilizar las tablas que los fabricantes proporcionan, o emplear el método por medio de las curvas de tiempo corriente indicadas en las figuras 9 y 10. Con una corriente nominal de 94,13, amperios al multiplicarlo por 2 tenemos el valor de la corriente de fusión, que será de 188,26 amperios.

De acuerdo con la figura número 10, se determina el punto A de las curvas de fusión de los fusibles. Este punto se define de la intersección con la línea horizontal 0,1 segundos y la vertical que corresponde a 12 veces la intensidad nominal del transformador. La horizontal 0,1 segundos continuada a la derecha, corta la característica de Tiempo/Corriente Nominal del fusible que deberá ser seleccionado en el punto C, que corresponde a IC. Se deberá cumplir las condiciones siguientes:

Tabla XIV. **Características para selección de fusibles en MT**

<b>Situación</b>	<b>Número de veces I nominal</b>	<b>Tiempo (segundos)</b>	<b>Observaciones</b>
Corriente <i>Inrush</i>	8,00	0,10	No debe operar
Arranque de motores	3,00	10,00	No debe operar
Sobrecarga	3,00	300,00	Debe operar
Cortocircuito	3,00	1,50	Debe operar

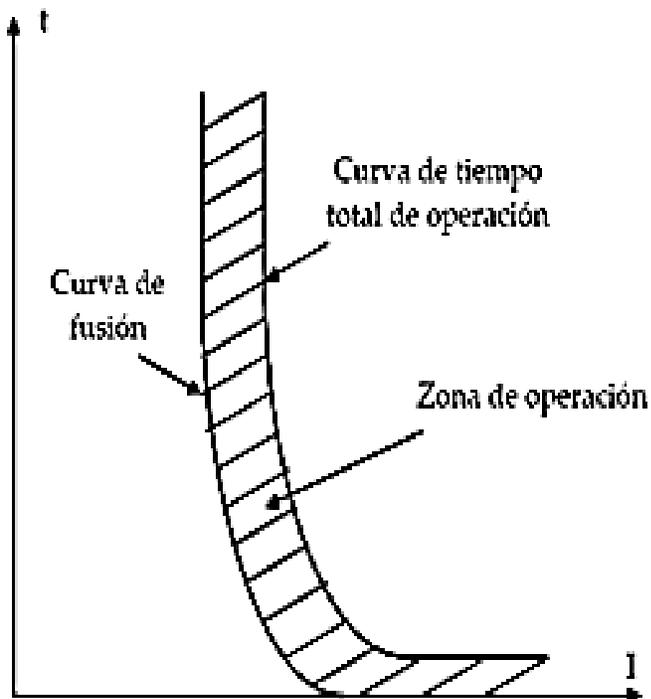
Fuente: elaboración propia.

Los fusibles tienen características de operación inversa de tiempo y corriente. La zona de operación de estos está limitada por dos curvas.

- Curva de fusión o tiempo mínimo de fusión (*minimum melting time*). Es aquel que ocurre desde que una gran corriente causa el inicio de fusión del fusible y el momento en el que ocurre el arco dentro del fusible.
- Curva de tiempo total de operación (*total clearing time – TCT*). Es el tiempo que ocurre desde el inicio de una sobrecorriente hasta la interrupción final de la misma.

La diferencia entre las dos curvas es el tiempo de extinción del arco del dispositivo (*arcing time*). En la figura número 11 se observa el comportamiento que se presenta entre las curvas.

Figura 11. Descripción de operación de la curva tiempo corriente



Fuente: S&C ELECTRIC COMPANY CHICAGO. Consulta: 16 de mayo de 2016.

La tabla número XV selecciona el fusible tipo “K” que se utilizará de acuerdo con el valor de la corriente nominal.

Tabla XV. **Valores nominales para fusibles tipo expulsion (tipo K y T)**

Tipo K - T	Amperios
6	9
8	12
10	15
12	18
15	23
20	30
25	38
30	45
40	60
50	75
65	95
80	120
100	150
140	190
200	200

Fuente: [www.cooperpowersystem.com](http://www.cooperpowersystem.com). Consulta: 16 de mayo de 2016.

De acuerdo con la figura número 10, el fusible corresponde a 100K para una corriente nominal de 94,13 amperios; pero al observar el comportamiento en la tabla número XIV, en el arranque de motores opera el fusible, por lo que se optó por elegir el fusible 140K.

En la tabla número XVI se observa el valor de la corriente de fusión para el fusible tipo “K”, que corresponde al valor determinado en la tabla número XIII.

Tabla XVI. Corrientes de fusión para hilos fusibles tipo K (rápido)

CORRIENTE NOMINAL PERMANENTE (Amperios)	CORRIENTE DE FUSION 300 O 600		CORRIENTE DE FUSION 10 SEGUNDOS		CORRIENTE DE FUSION 0.1 SEGUNDOS		RELACION DE VELOCIDAD
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
<b>REGIMENES PREFERIDOS</b>							
6	12	14.4	13.5	20.5	72	86	6.0
10	19.5	23.4	22.5	34	128	154	6.6
15	31	37.2	37	55	215	258	6.9
25	50	60	60	90	350	420	7.0
40	80	96	96	146	565	680	7.1
65	128	153	159	237	918	1100	7.2
100	200	240	258	388	1520	1820	7.6
140	310	372	430	650	2470	2970	8.0
200	480	576	760	1150	3888	4650	8.1
<b>REGIMENES NO PREFERIDOS O INTERMEDIOS</b>							
7	13.5	16	16	19.2	97	116	-
8	15	18	18	27	97	116	6.5
9	17.5	21	20	25.5	97	116	-
12	25	30	29.5	44	166	199	6.6
20	39	47	48	71	273	328	7.0
30	63	76	77.5	115	447	546	7.1
50	101	121	126	188	719	862	7.1
60	116	144	144	200	840	1000	7.0
80	160	192	205	307	1180	1420	7.4
<b>REGIMENES INFERIORES A 6 AMPERIOS</b>							
1	2	2.4	2.4	3	17.5	21	-
2	4	4.8	5	6	37.5	45	-
3	6	7.2	7.2	9	48	58	-
4	8	9.6	10	12.5	48	58	-
5	10	12	13	15.6	72	86	-

\* TODOS LOS VALORES ESTAN INDICADOS EN AMPERIOS

Fuente: [likinormas.micodensa.com/Especificacion/aisladores/et501\\_fusibles\\_mt\\_tipo\\_h\\_k\\_t](http://likinormas.micodensa.com/Especificacion/aisladores/et501_fusibles_mt_tipo_h_k_t).

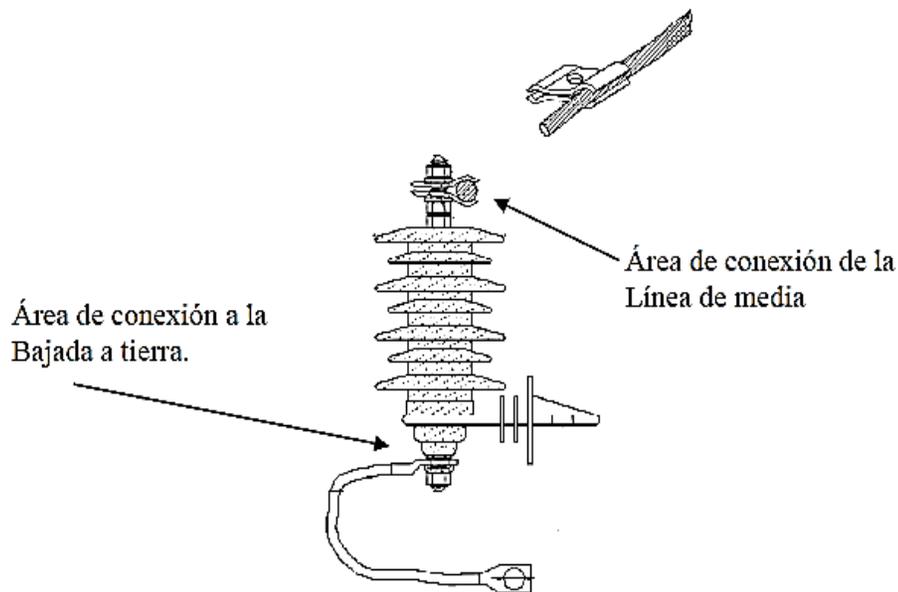
Consulta: 16 de mayo de 2016.

### 2.3.1.5. Pararrayos de distribución secundarios

La importancia de este dispositivo es la protección integral contra rayos y sobretensiones, el cual aporta seguridad para la vida de las personas y la protección de las instalaciones y equipos, por su valor económico.

Los sistemas de distribución en media tensión están sometidos a sobretensiones. El pararrayos protege al equipo instalado en la acometida eléctrica en media tensión, y tendrá la función también de proteger al equipo frente a descargas atmosféricas de transformadores individuales de distribución y de líneas en sustitución de un cable de tierra, o al cortocircuitarse a tierra.

Figura 12. Pararrayos para línea de media tensión



Pararrayos para líneas de media tensión, Hubbell.

Fuente: Catálogo Hubbell. Consulta: 17 de mayo de 2016.

El pararrayos deberá de ser del tipo distribución, para una tensión nominal de operación entre el rango de 3 a 37 kV. El voltaje de operación de la línea de distribución en media tensión corresponde a 13 800 voltios, por lo que para determinar el valor del pararrayos se deberá consultar la tabla XVII.

Tabla XVII. **Características para pararrayos en MT**

<b>TENSIÓN ASIGNADA (KV)</b>	<b>13,8kV</b>	<b>34,5kV</b>
Tensión nominal (Arrester rating) (kV).	10	27
Tensión de descarga (8/20 ms – 10 kA) (kV).	≥ 20	≥ 78
Tensión máxima de servicio (kV).	8,4	22
Corriente nominal de descarga (kA).	10	10
Frecuencia nominal (Hz).	60	60
Máxima tensión descarga residual onda 8/20 ms (kV).	33	89

Fuente: *Insulation Coordination Part 2: Application guide. Third Edition.* p. 85.

Consulta: 18 de mayo de 2016.

De acuerdo con la información obtenida en la tabla número XVII, para un voltaje de operación en línea de media tensión de 13,8 kV, el pararrayos en el diseño será del tipo distribución para 10 kV.

Figura 13. Componentes del pararrayos de distribución en MT

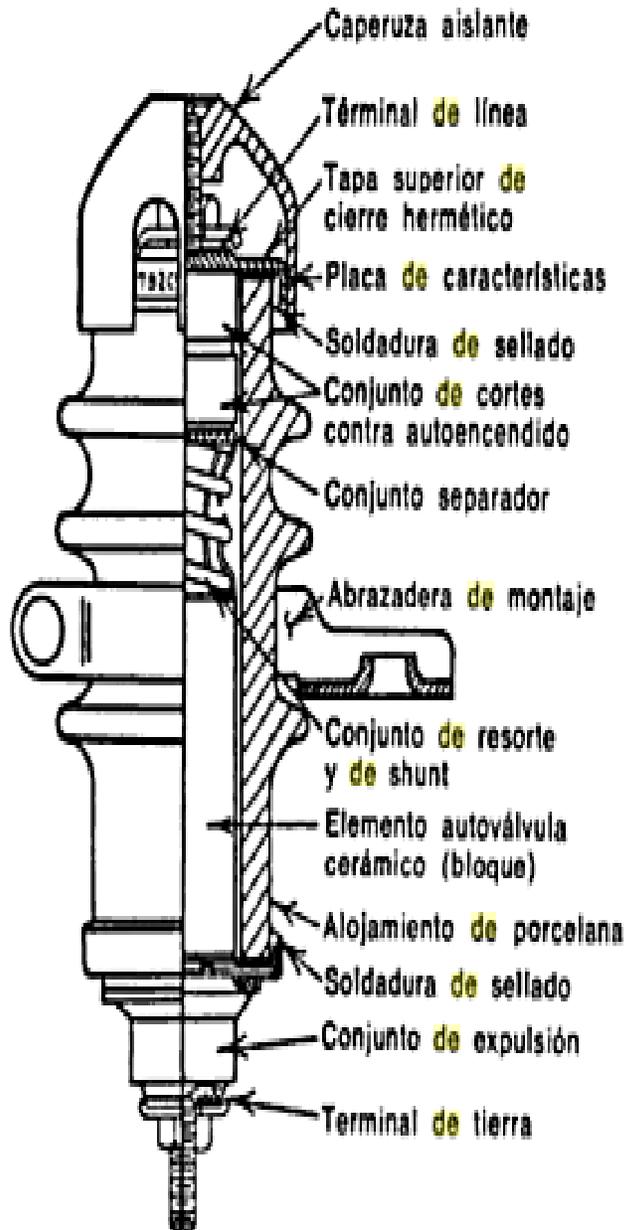


Fig. 10-50. Pararrayos tipo distribución. (Westinghouse Electric Corporation.)

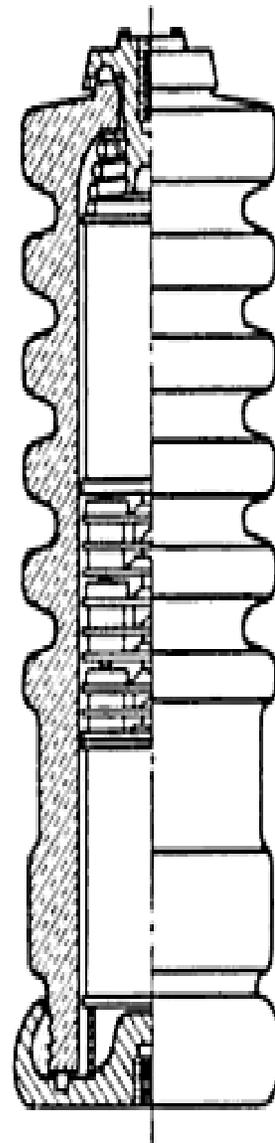


Fig. 10-51. Pararrayos tipo distribución. (Ohio Brass Company.)

### 2.3.1.6. Aisladores de suspensión

Para evitar la existencia de saltos de arcos eléctricos, en condiciones de operación, sobretensiones transitorias, humedad, temperatura, lluvia o acumulaciones de suciedad, sal y otros contaminantes que no son desprendidos de una manera natural, se utilizará aisladores de suspensión (retención), para el recibo de la línea aérea en media tensión.

Tabla XVIII. **Aisladores de porcelana o vidrio normalizados**

Tipo aislador	Material	Norma	Clase	Tensión máxima de operación (kV)
Retención (Anclaje)	Porcelana o Vidrio	ANSI C29,2	Clase 52-1	-
		ANSI C29,2	Clase 52-4	-
Line Post (Pilar)	Porcelana	ANSI C29,7	Clase 57-1	15
		ANSI C29,7	Clase 57-2	25
		ANSI C29,7	Clase 57-3	35
Pin (Perno rígido)	Porcelana	ANSI C29,5	Clase 55-3	15
		ANSI C29,5	Clase 55-4	15
		ANSI C29,5	P2-95-1(25) <sup>6</sup>	15
		ANSI C29,5	Clase 55-5	25
		ANSI C29,5	P4-125-1(25) <sup>7</sup>	25
		ANSI C29,6	Clase 56-1	35
		ANSI C29,6	Clase 56-3	35

Fuente: Enersis, Especificación técnica en norma ANSI de aisladores de porcelana o vidrio.

Consulta: 05 de mayo de 2016.

En el caso de los aisladores de suspensión se utilizará la norma ANSI C29.2: *Wet Process Porcelain and Toughened Glass – Suspension type*, proceso húmedo porcelana y vidrio templado tipo.

Tabla XIX. **Características para aisladores de retención de porcelana o vidrio clase 52-1 y 52-4**

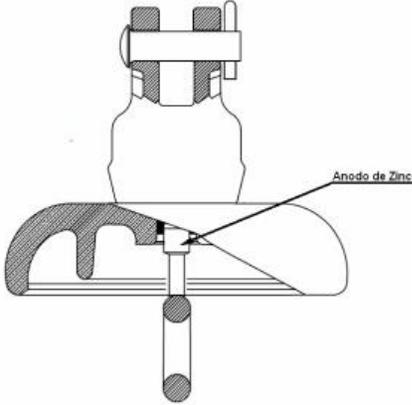
<b>Características generales</b>		
Norma de ensayos	ANSI C29.2	ANSI C29.2
Clase (ANSI C29.2)	52-1	52-4
Tipo	Retención	Retención
Material	Porcelana o vidrio	Porcelana o vidrio
Tipo de acoplamiento	Clevis	Clevis
Ánodo de zinc	Opcional	Opcional
<b>Características eléctricas</b>		
Tensión de contorno frecuencia industrial. En seco (kV)	60,0	80,0
Tensión de contorno frecuencia industrial. Bajo lluvia (kV)	30,0	50,0
Tensión crítica tipo impulso-positivo (kV)	100,0	125,0
Tensión crítica tipo impulso-negativa (kV)	100,0	130,0
Tensión de perforación en aceite (kV)	80,0	110,0
Low frequency test voltaje (RMS to ground) (kV)	7,5	10,0
<b>Características mecánicas</b>		
Resistencia electromecánica (kN)	44,0	67,0
Resistencia mecánica al impacto (N – m)	5,0	6,0
Resistencia mecánica a la tensión (KN)	22,0	33,5

Fuente: Enersis, Especificación técnica en norma ANSI de aisladores de porcelana o vidrio.

Consulta: 05 de mayo de 2016.

De acuerdo con la aplicación de los aisladores para línea de distribución en media tensión, el tipo *line post* (pilar) y el pin (perno rígido) son para la utilización de paso para las líneas de distribución, de acuerdo con la figura 14.

Figura 14. **Aplicación para tipos de aisladores en media tensión**

	<p>Aislador tipo retención (anclaje) o suspensión. Norma ANSI C29.2. Clase 52-1. Aplicación: se utiliza para soportar mecánicamente y aislar eléctricamente los conductores de las líneas distribución en media tensión en cadenas de aisladores.</p>
	<p>Aislador tipo <i>line post</i> (pilar). Norma ANSI C29.7 Clase 57-1, 57-2 y 57-3. Aplicación: soportar y aislar conductores en sistemas aéreos de distribución en 13,2 kV, 23 kV, y 34,5 kilovoltios.</p>
	<p>Aislador tipo pin (perno rígido). Norma ANSI C29.5 Clase: 55-3, 55-4, 55-5. Aplicación: soportar y aislar conductores en sistemas aéreos de distribución en 23 kV y 34,5 kV.</p>

Fuente: elaboración propia.

El aislador de suspensión norma ANSI C29.2 clase 52-1 está diseñado para operar a un nivel de tensión de 13,8 kV; y el 52-4, para 33, 34,5 y 44 kV, razón por la cual se utilizará el aislador de suspensión norma ANSI C29.2 clase 52-1.

Figura 15. **Aislador de suspensión. Norma ANSI C29.2 Clase 52-4**

Aislador de suspensión ANSI 52-4



Fuente: [aiscoll.com/fichas/AiscollFichasTecnicasANSI-52-4.pdf](http://aiscoll.com/fichas/AiscollFichasTecnicasANSI-52-4.pdf). Consulta: 05 de mayo de 2016.

Tabla XX. **Características del aislador de suspensión**

Descripción	Dimensiones
Diámetro	254 mm
Altura	146 mm
Distancia de fuga	292 mm
Carga de rotura M&E nominal	70 kN
Tensión disruptiva en seco en frecuencia de la red de energía primaria	80 kV
Tensión disruptiva en húmedo en frecuencia de la red de energía primaria	50 kV
Tensión disruptiva de impulso crítico	(+) 150 kV (-) 130 kV
Tensión disruptiva en baja frecuencia	110 kV
Resistencia de impacto	6. O N-m
Tensión de influencia radio eléctrica	10 kV
Tensión de prueba a tierra	
RIV Máximo a 1 000 kHz	50 $\mu$ V

Fuente: [aiscoll.com/fichas/AiscollFichasTecnicasANSI-52-4.pdf](http://aiscoll.com/fichas/AiscollFichasTecnicasANSI-52-4.pdf). Consulta: 05 de mayo de 2016.

### 2.3.1.7. Terminal de potencia para 15kV tipo vertical

Para la conversión de la línea de aérea a subterránea se utilizará terminales de potencia del tipo terminaciones para cable de media tensión contráctiles en frío, que ofrecen una fácil y segura instalación con un desempeño óptimo, de acuerdo con las siguientes características:

- De una sola pieza integrada: contiene un tubo de silicón de alta constante dieléctrica y un compuesto sellador a base de silicona.
- Es hidrofóbica (repele el agua)
- Es resistente al *tracking* y a la erosión
- Es resistente a los rayos ultravioleta
- Cumple con los requerimientos de la especificación IEEE 48-1996

Tabla XXI. Terminal de potencia para cable de media tensión

Código	Descripción	Medida	Empaque
7652-S-4	Terminación premoldeada	Para cable 2 a 4/0 AWG, para 15 kV	1 terminación
7653-S-4	Terminación premoldeada	Para cable 2 a 4/0 AWG, para 25 kV	1 terminación
7664-S-8	Terminación premoldeada	Para cable 2 a 4/0 AWG, para 35 kV	1 terminación
7665-S-8	Terminación premoldeada	Para cable 3/0 AWG a 600 MCM, para 35 kV	1 terminación
7622-T-110	Terminación interior	Para cable 2 a 4/0 AWG, para 15 kV	3 terminaciones
7624-T-110	Terminación interior	Para cable 4/0 a 500 MCM, para 15 kV	3 terminaciones
7692-S-4	Terminación exterior	Para cable 2 a 4/0 AWG, para 15 y 25 kV	3 terminaciones
7694-S-4	Terminación exterior	Para cable 4/0 AWG a 500 MCM, para 15 y 25 kV	3 terminaciones
7695-S-4	Terminación exterior	Para cable 500 MCM a 1 000 MCM, para 15 y 25 kV	3 terminaciones

Fuente: *solutions.3m.com*. p. 17. Consulta: 05 de mayo de 2016.

Figura 16. **Terminal de potencia para cable de media tensión**



Fuente: *solutions.3m.com*. p. 17. Consulta: 05 de mayo 2016.

Se observa de la información de la tabla XXI, que la terminal de potencia para cable en media tensión deberá ser el código 7692-S-4, ya que su diseño es para exterior y está clasificada dentro del rango del voltaje de operación de 15 a 25 kV. De acuerdo con el conductor eléctrico #1/0, está dentro del rango de los calibres número 2 al 4/0.

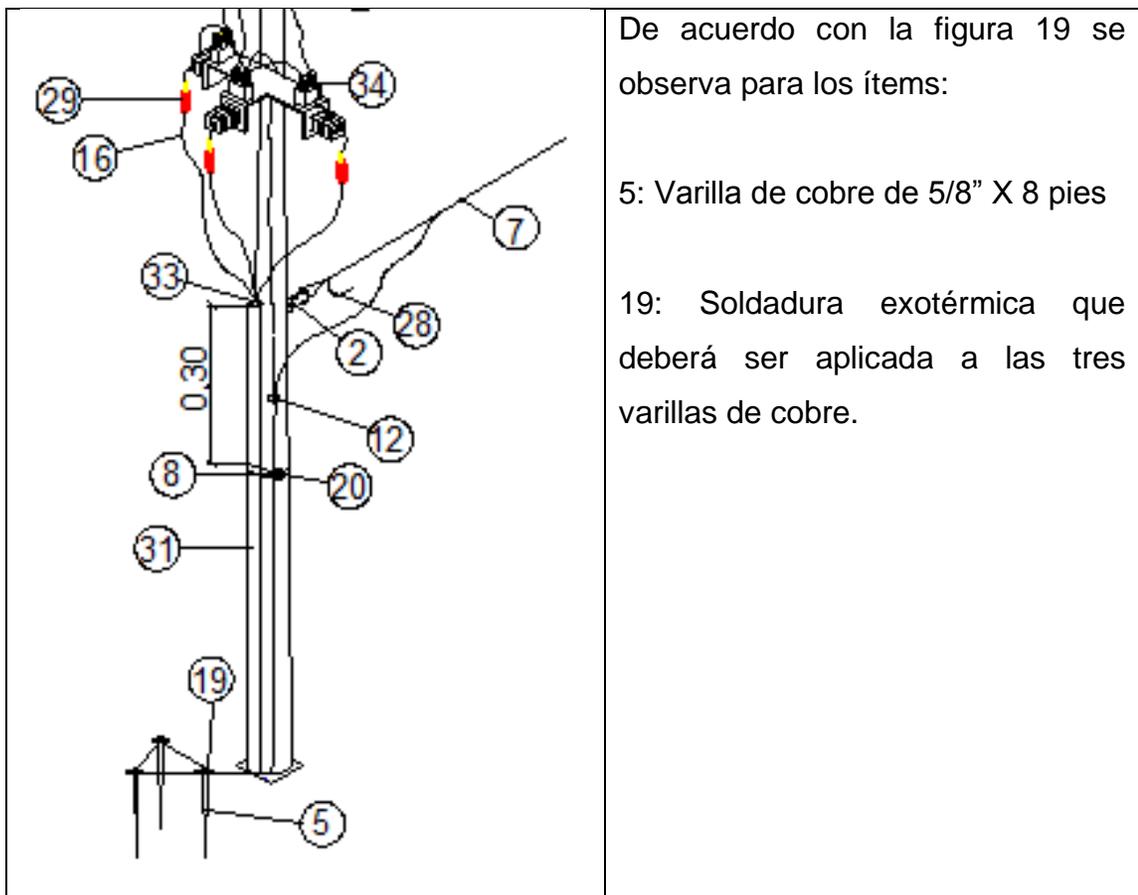
#### **2.3.1.8. Sistema de bajada a tierra para línea eléctrica en media tensión 13,8kV**

Para la construcción de la estructura tipo VI en el poste autoportado, la protección de la vida humana y equipos que serán instalados en el mismo, se deberá dejar igual un sistema de aterrizaje al pie de la estructura.

Se utilizará un conductor desnudo de cobre calibre #2 AWG unido al neutro del sistema de distribución en media tensión, para tener un punto común de conexión para los equipos como el pararrayos y el sistema de medición en media tensión. La conexión a tierra reducirá las fluctuaciones de voltaje y los desequilibrios que puedan ocurrir en la línea de alimentación aérea.

Para este sistema se utilizará electrodos de pica (varillas de cobre de 5/8" por 8 pies de longitud certificadas "UL" unidas con soldadura exotérmica. Para la ubicación del electrodo se tratará el suelo con un reactivo químico, como la bentonita aplicada en capas combinada con tierra negra, para bajar el valor de la impedancia del suelo. La disposición de los electrodos para tierra se ubicará en forma de delta con una separación mínima entre ellos de 8 pies, de acuerdo a lo indicado en la figura número 7 y 17.

Figura 17. **Sistema de bajada a tierra**



Fuente: elaboración propia.

### **2.3.1.9. Sistema de medición indirecta en media tensión**

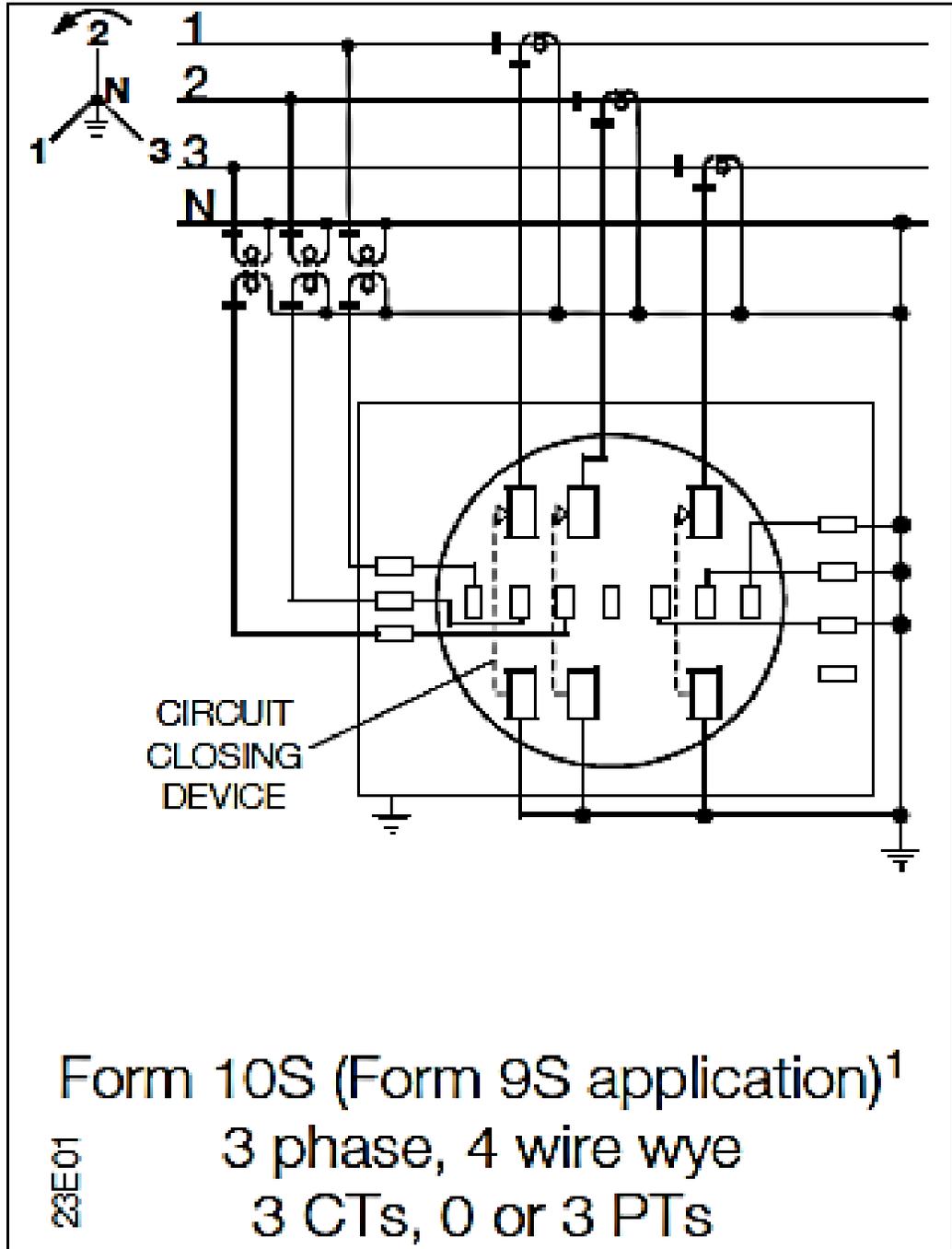
Para la medición indirecta de energía se utilizará un medidor con las siguientes características: contador electrónico trifásico clase 20 con un juego de transformadores de medida compuesto por CT's y PT's.

El número de CT's y PT's se selecciona con base en el número de fases, el número de hilos y el nivel de tensión de la red en el punto en el cual se realiza la medición, de acuerdo con lo establecido en las normas de EEGSA.

El medidor de energía deberá de cumplir con las siguientes características:

- Tipo electrónico
- Servicio trifásico delta o estrella
- Hilos: 4
- Conexión tipo socket forma 8S/9S
- Tensión: 120/480 V. Multirango
- Frecuencia: 60 Hz
- Intensidad: Clase 20
- Precisión: 0,5 ANSI
- Medición: energía activa y reactiva 4 cuadrantes
- Máximo: sí
- Integrador: display de 6 dígitos
- Comunicación: puerto óptico IEC 61107
- Memoria másica: sí
- Tarifas: multitarifa
- Modem: sí

Figura 18. Diagrama de conexión para medidor forma 10S



Fuente: Manual técnico para medidores ALPHA PLUS ELSTER. p. D-9.

Consulta: 06 de mayo de 2016.

Tabla XXII. **Normas IEC para medidores eléctricos**

Norma	Descripción
IEC-62053-21	Equipos de medición de energía eléctrica para clases de precisión 1 y 2
IEC-62053-22	Equipos de medición de energía eléctrica, medidores estáticos de energía activa. Clases 0,2S y 0,5S
IEC-62053-23	Equipos de medición de energía eléctrica, medidores estáticos de energía reactiva. Clases 2 y 3
IEC-62053-11	Equipos de medición de energía eléctrica, medidores electromecánicos de energía activa. Clases 0,5, 1 y 2
IEC-60145	Electrotecnia. Medidores de energía reactiva

Fuente: Normas Técnicas Grupo EPM. p. 9. Consulta: 06 de mayo de 2016.

Tabla XXIII. **Normas para la fabricación de transformadores de medida**

Norma	Descripción
IEC 60044-1	Transformadores de medida. Transformadores de corriente
IEC 60044-2	Transformadores de medida. Transformadores de tensión inductivos
IEC 60044-3	Transformadores de medida. Transformadores combinados
IEC 60044-5	<i>Instrument transformers. Part 5: Capacitor Voltage Transformers</i>
ANSI/IEEE 57.13/IEEE	<i>Standard For instrument Transformers</i>

Fuente: Normas Técnicas Grupo EPM. p. 9. Consulta: 06 de mayo de 2016.

Serie IEC 62055: *Electricity Metering. Payment Systems*. El sistema de comunicación debe cumplir con los requisitos establecidos en normas que conforman la serie IEC 62056 o ANSI/IEEE (que aplique).

Selección para los transformadores de corriente: la tabla número XXIV define la relación de transformación para los CT's en medición indirecta.

Tabla XXIV. **Relación de transformación de CT's para mediciones indirectas**

Circuitos a 13,2 kV		Circuitos a 44 kV	
Capacidad instalada (kVA)	Relación de los CT's	Capacidad instalada (kVA)	Relación de los CT's
91 a 137	5 / 5	305 a 457	5 / 5
138 a 274	10 / 5	610 a 914	10 / 5
275 a 411	15 / 5	915 a 1 372	15 / 5
412 a 503	20 / 5	1 373 a 1 715	20 / 5
504 a 617	25 / 5	1 716 a 2 058	25 / 5
618 a 823	30 / 5	2 059 a 2 743	30 / 5
824 a 1 029	40 / 5	2 744 a 3 658	40 / 5
1 030 a 1 234	50 / 5	3 659 a 4 572	50 / 5
1 235 a 1 554	60 / 5	4 573 a 5 487	60 / 5
1 555 a 1 829	75 / 5	5 488 a 6 859	75 / 5
1 830 a 2 743	100 / 5	6 860 a 9 145	100 / 5
2 744 a 4 115	150 / 5	10 288 a 13 717	150 / 5
4 116 a 5 144	200 / 5	13 718 a 18 290	200 / 5

Fuente: Normas Técnicas Grupo EPM. p. 19. Consulta: 06 de mayo de 2016.

El valor de la carga instalada corresponde a 2 250 kVA, que se encuentra entre el rango de 1 830 a 2 743 kVA, por lo que la relación de transformación para los CT's será de 100:5.

La clase de exactitud de los transformadores de corriente se seleccionará de acuerdo con el nivel de tensión del punto de conexión en el sistema eléctrico y la magnitud de la carga a la cual se desea efectuar medición de potencia y/o energía consumida, de acuerdo con la tabla XXV.

Tabla XXV. **Selección de transformadores de medida**

Tipo de medición	Tipo de servicio	Nivel de tensión	Relación del CT (RCT)	Transformadores de medida		
				Tipo	Cantidad	Clase
Semi-directa	Monofásico trifilar o Trifásico tetrafilar	BT	RCT $\leq$ 400/5 A	CT's	2 ó 3	0,5 ó 0,6
			RCT > 400/5 A			0,5S
Indirecta	Trifásico trifilar	MT (1kV < V $\leq$ 30kV)	RCT $\leq$ 15/5 A	CT's	2 ó 3	0,5 ó 0,6
				PT's		
			RCT > 15/5 A	CT's		0,5S
				PT's		0,5 ó 0,6
		MT (1kV < V < 57,5kV)	Para todas las RCT	CT's	2 ó 3	0,5S
				PT's		0,5 ó 0,6
AT y EAT	Para todas las RCT	CT's	3	0,2S		
		PT's		0,2 ó 0,3		

Fuente: Normas Técnicas Grupo EPM. p. 21. Consulta: 06 de mayo de 2016.

De acuerdo con la tabla XXV, la exactitud o precisión para el transformador de corriente corresponde al valor de 0,5.

Los criterios utilizados para la selección de los transformadores de tensión serán los siguientes:

- Tensión primaria nominal: deberá corresponder a la tensión nominal del sistema eléctrico al cual será conectado.

- Tensión secundaria nominal: deberá corresponder a los rangos de operación del medidor conectado al transformador de potencial.
- La tensión secundaria nominal normalizada corresponde a 120 V. Otras tensiones secundarias como 110 V, 115 V podrán ser utilizadas cuando se utilizan medidores multirango de tensión.

De acuerdo con diagrama de conexión presentado en la figura número 18, en los transformadores de potencial que serán instalados en conexión delta estrella de la red trifásica, la tensión primaria nominal corresponde al valor en media tensión dividido por  $\sqrt{3}$ , y la tensión secundaria corresponde a uno de los valores indicados dividido por  $\sqrt{3}$ .

La relación de transformación deberá ser un número entero o, en su defecto, tener máximo un dígito decimal. Para la elección del transformador de tensión se tiene el siguiente valor:  $110V / \sqrt{3} = 63,5$ ; por lo anterior, se deberá utilizar una relación de transformación de 63,5:1

La clase de exactitud se calcula, de acuerdo con la tabla número XXV, en las literales PT's (transformadores de tensión), en donde se observa que el valor correspondiente será de 0,5. También se puede obtener la clase de exactitud de acuerdo a su aplicación, según la tabla XXVI. Los valores de la precisión deberán ser sometidos a análisis por parte de la E.E.M.Q. para su aprobación o rechazo y, de esta manera, estar dentro de los requerimientos normativos de la empresa suministradora de energía eléctrica.

Tabla XXVI. **Clases de exactitud para transformadores de tensión**

<b>Clase de precisión o exactitud</b>	<b>Aplicación</b>
0,10	Laboratorio
0,20	Laboratorio, patrones portátiles y contadores de precisión
0,50	Contadores normales, aparatos de medida
1,00	Aparatos para cuadro
3,00	Para usos en los que no se requiera una mayor precisión

Fuente: elaboración propia.

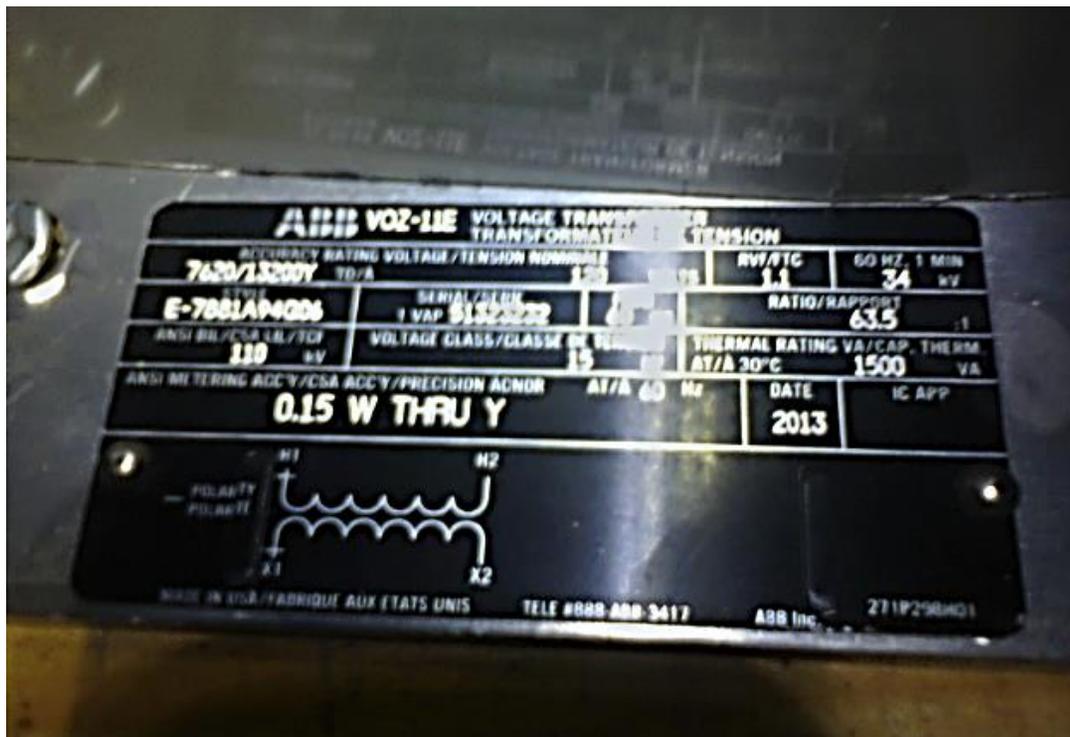
Figura 19. **Transformadores para medición indirecta de corriente y tensión**



Fuente: elaboración propia.

En la figura número 20 se observa las características que debe tener una placa para un transformador de tensión, para medición indirecta: marca ABB, transformador de tensión, voltaje de operación 7 620/13 200Y primario, secundario 120 voltios, tensión 34 kV, número de serie, relación de transformación 63,5:1, entre otros datos presentados.

Figura 20. Placa característica para un transformador de tensión



Fuente: elaboración propia.

En la figura número 21 se presenta la forma de instalación para los transformadores de corriente y de tensión sujetos a una montura para su fijación hacia el poste de concreto centrifugado del tipo autosoportado, para una medición indirecta en media tensión de la línea de 13 800 voltios.

Figura 21. **Instalación de transformadores de tensión y corriente**



Fuente: elaboración propia.

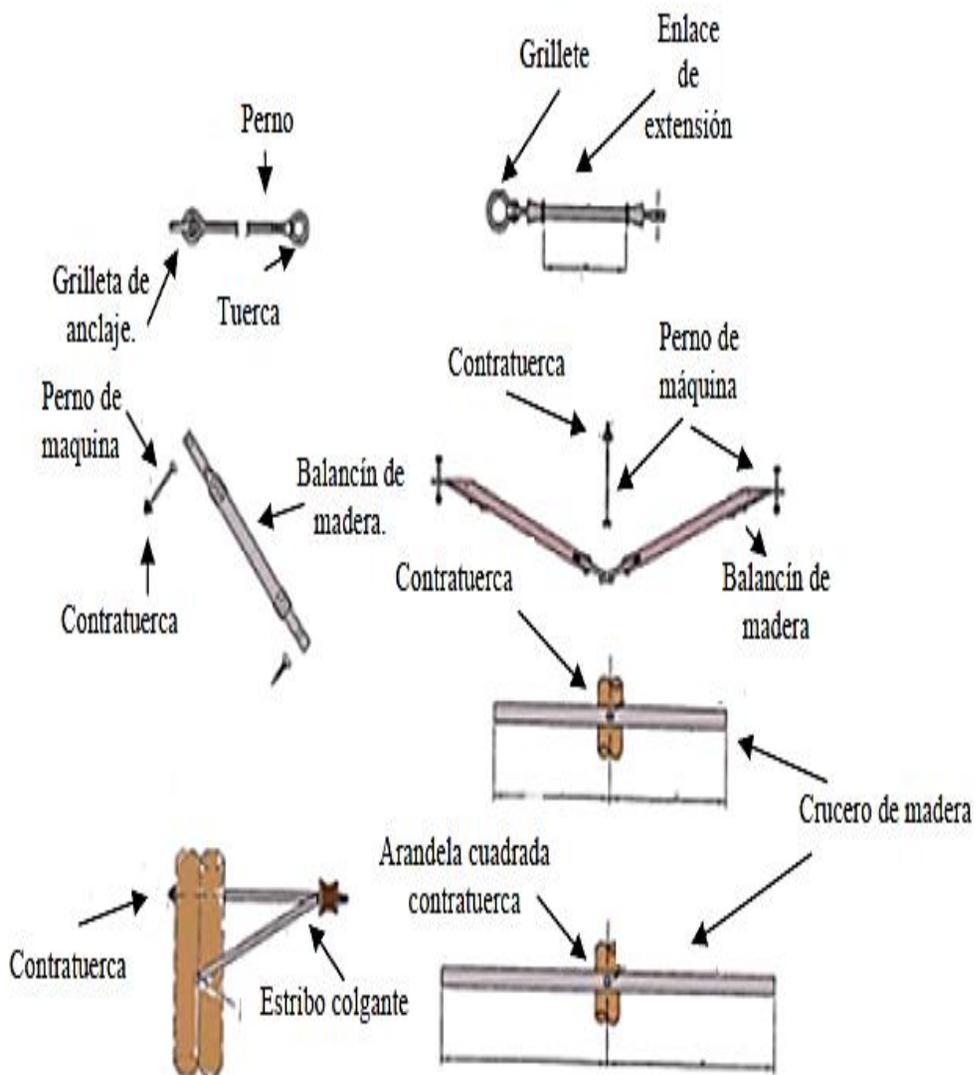
En la figura número 21 se observa la instalación de transformadores para medición indirecta en línea de media tensión, voltaje de operación 13 800 voltios. En el montaje se observa que hace falta realizar la conexión eléctrica hacia los transformadores.

#### **2.3.1.10. Herrajes para línea de media tensión**

La utilización de herrajes para líneas aéreas con voltajes iguales o mayores a 10 kV, para fijar, separar, proteger, empalmar, etc., conductores eléctricos de aleación de aluminio tipo ACSR y/o cables de guarda de acero galvanizado.

Su utilización estará diseñada para montajes en ambientes normales, secos, húmedos, con neblina, influencia salina, y/o zonas con contaminación ligera, media, fuerte y muy fuerte (ver figuras número 22, 23 y 24). Deberán estar galvanizados por inmersión en caliente, de acuerdo con la norma ASTM A-153 98 clase C.

Figura 22. **Herrajes para línea de media tensión.**



Fuente: [www.yokelink.com](http://www.yokelink.com). Consulta: 20 de mayo de 2016.

Figura 23. Herrajes para instalación en poste para línea de media tensión

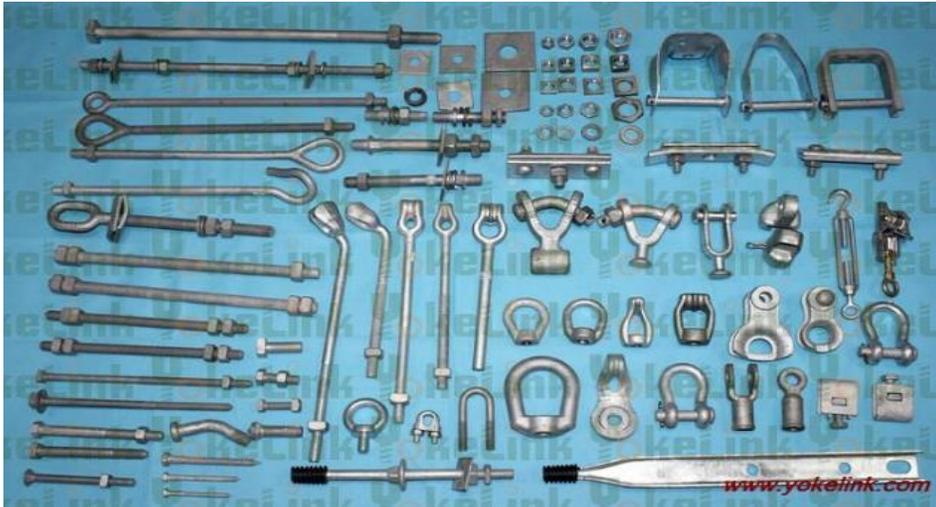
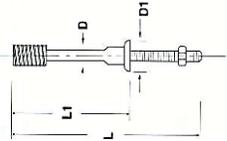
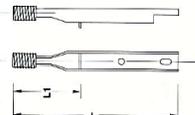
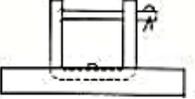
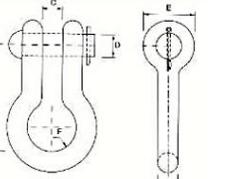
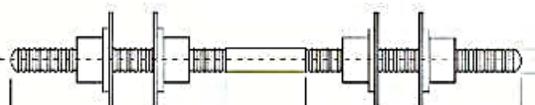
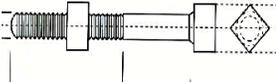
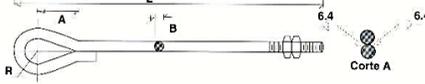
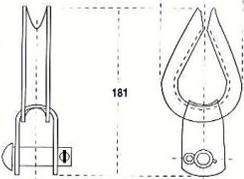


Figura	Descripción y aplicación
	<p>Alfiler A: Sirve para soportar aisladores tipo alfiler en líneas aéreas de distribución.</p>
	<p>Alfiler P o alfiler punta de poste: Sirve para soportar aisladores tipo alfiler en líneas aéreas de distribución.</p>
	<p>Bastidor B o rack de 1 campo: Sirve para soportar aisladores tipo carrete en redes aéreas.</p>
	<p>Grillete GA1: Sirve para soporte de cadena de aisladores en redes eléctricas aéreas y líneas de distribución.</p>
	<p>Perno doble rosca: Sirve para armar estructuras en líneas de redes aéreas.</p>

Continuación figura 23.

	<p>Tornillo máquina: Se utiliza para sujetar herrajes en estructuras de líneas y redes eléctricas aéreas.</p>
	<p>Perno ancla PA: Se utiliza para anclaje de estructuras en redes y líneas de distribución aérea.</p>
	<p>Horquilla con guardacabo: Sirve para sujetar elementos de aislamiento en estructura de redes eléctricas aéreas.</p>

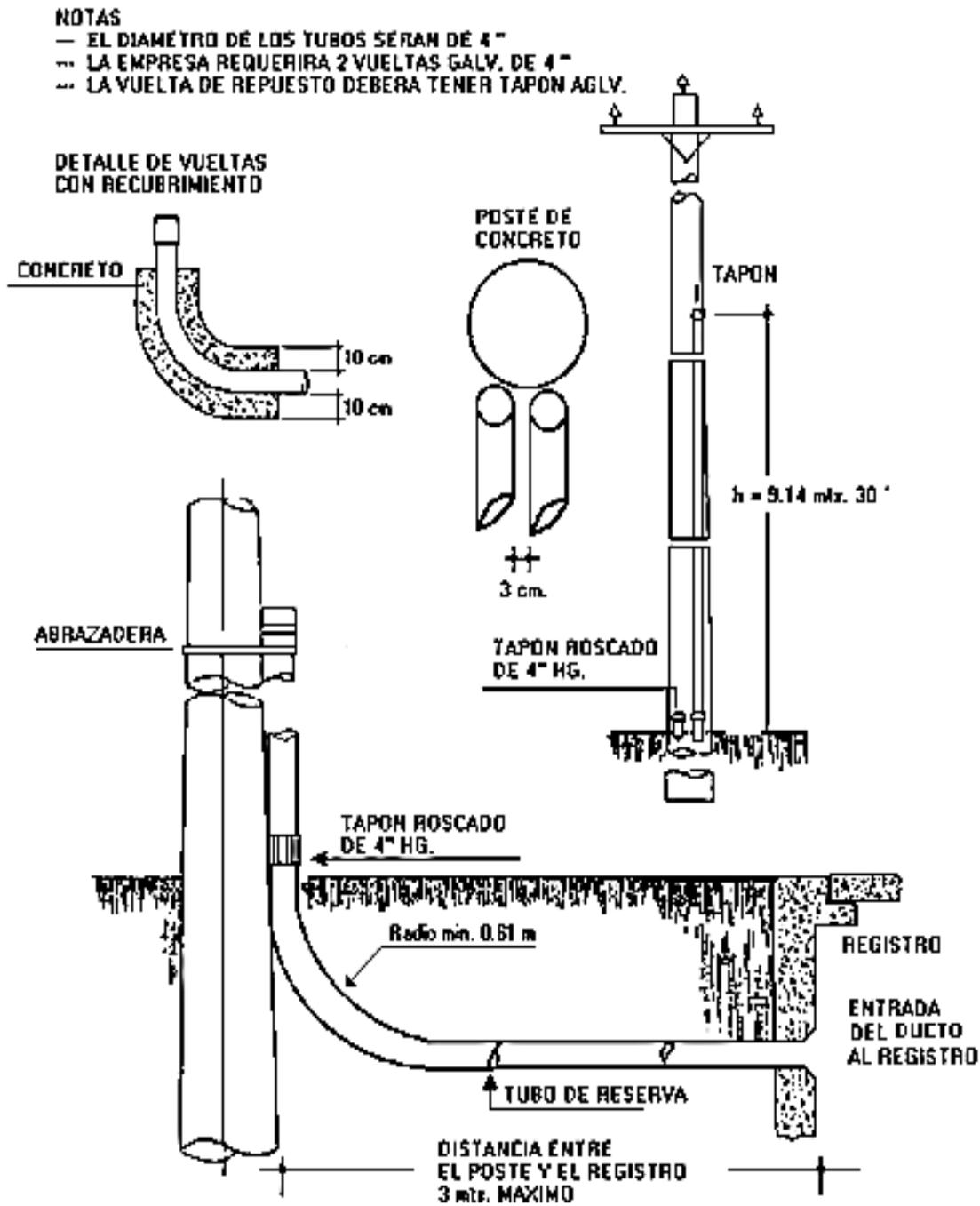
Fuente: [www.yokelink.com](http://www.yokelink.com). Consulta: 20 de mayo de 2016.

### 2.3.1.11. Sistema de canalización para línea subterránea en media tensión

Las normas de la EEGSA para la instalación de una acometida eléctrica tipo industrial, indican que debe ser subterránea y entubada con tubo IMC (*Intermediate metal conduit*), diseñado para proteger cables eléctricos en instalaciones industriales, en áreas clasificadas con riesgo de explosión según NEC 2011, artículo 342 y de  $\varnothing 4''$ .

En la figura 24 se presenta el arreglo de las tuberías y aplicación de concreto para su protección mecánica, así como la tubería de reserva exigida por EEGSA para ampliaciones futuras o reparación de la línea subterránea en caso de falla de los conductores eléctricos de media tensión.

Figura 24. Detalle de tuberías IMC para bajada en media tensión



Fuente: Normas de la Empresa Eléctrica de Guatemala año 2001. Sección IV.

Consulta: 21 de mayo de 2016.

La canalización se realizará en combinación de tuberías y de pozos de registro del tipo “H”, de acuerdo con las normas de la EEGSA y respetando los cambios de curvatura indicados por el fabricante. Se construirá pozos de registro para la distribución de las líneas subterráneas de media tensión. En la figura 25 se observa un pozo de registro del tipo “H”.

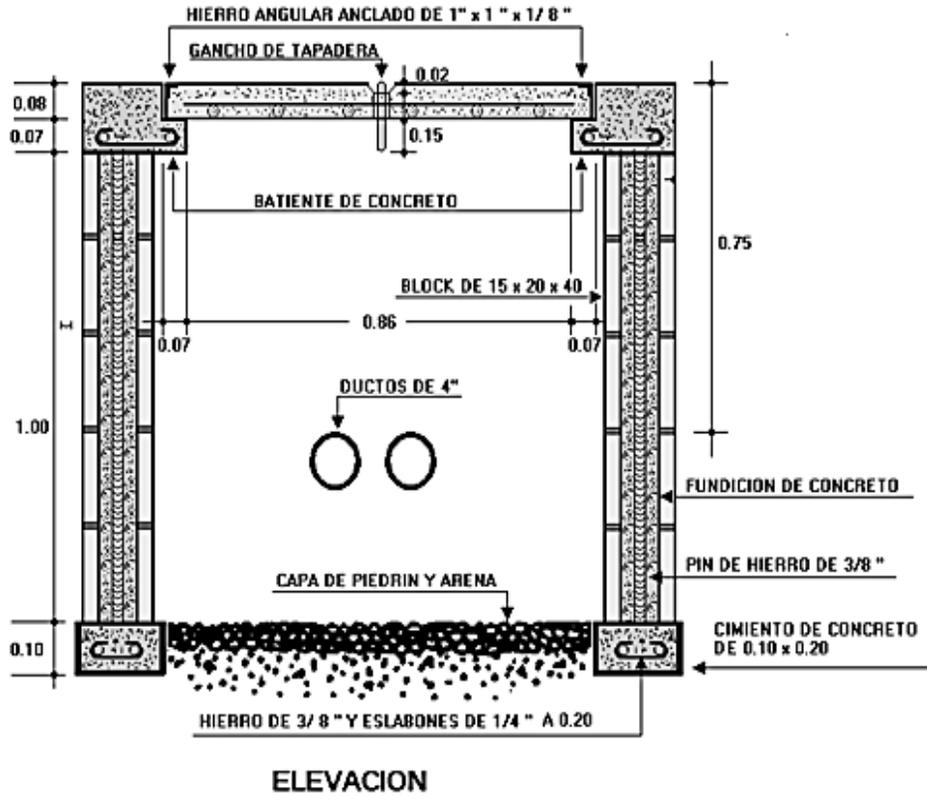
Figura 25. **Pozo de registro tipo “H”**



Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la distancia en donde se ubicará la subestación eléctrica, se ha diseñado la construcción de 5 pozos de registro del tipo “H” en el recorrido de la tubería de distribución, la cual, desde el primer pozo, se ha sustituido por una tubería PVC del tipo dB-120 de alto impacto (*Direct Burial*), de diámetro Ø 4”. En la figura número 26 se determina las dimensiones para la construcción de un registro del tipo “H”.

Figura 26. Detalle de pozo de registro tipo "H" para media tensión

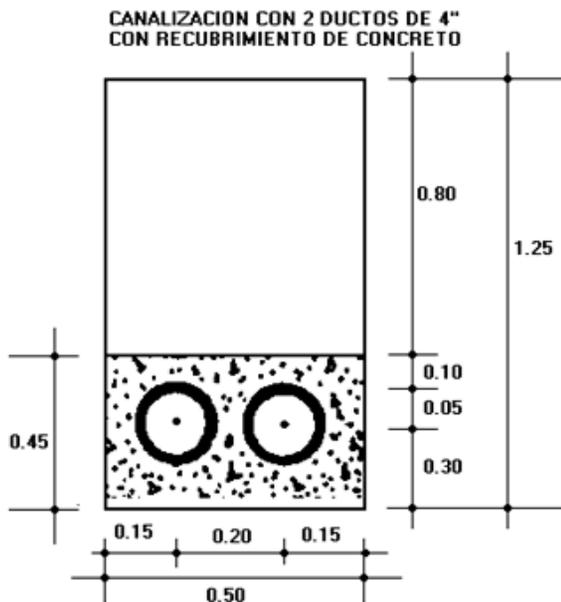


Fuente: Normas EEGSA. Año 2001. Sección IV. Consulta: 21 de mayo de 2016.

La tubería PVC dB 120 está diseñada para ser enterrada sin necesidad de vaciado de concreto, garantizada para conducir cables de potencia en la cual la temperatura no supere los 90°C y que cumpla con las pruebas de resistencia al impacto de las normas COVENIN.

La tubería PVC dB 120 tiene una resistencia al impacto de 120 libras – pie y se utilizará en el diseño por el valor económico el cual es menor en comparación a la tubería IMC. Para cumplir con lo indicado en las normas de EEGSA, se realizará la canalización para la colocación de los ductos, de acuerdo con la figura número 27.

Figura 27. **Canalización para tuberías de diámetro de 4" dB 120**



Fuente: Normas EEGSA. Año 2001. Sección IV. Consulta: 21 de mayo de 2016.

### 2.3.1.12. Terminal de potencia para 15kV tipo codo

En la instalación del conductor eléctrico de potencia unipolar con aislamiento tipo XLPE, hacia las terminales de conexión de los equipos de potencia, se deberá utilizar terminales de potencia del tipo codo.

Los codos tipo *loadbreak* o rompe-cargas para 15kV y 25kV están diseñados para enchufar directamente cables subterráneos a transformadores, gabinetes y uniones equipadas con *bushings* tipo frente muerto.

Deberá de cumplir con las siguientes características:

- Diseñada para ser instalada en sistema de distribución de 200A
- Elaborada de EPDM para un mejor control de los esfuerzos eléctricos
- Consta de un punto de prueba para la instalación de accesorios y pruebas de fallas
- Cumplir con los requerimientos de la especificación ANSI/IEEE 386A

Figura 28. **Terminal de potencia tipo codo para 15kV**



Fuente: *solutions.3m.com*. p. 19. Consulta: 22 de mayo de 2016.

Para realizar la conexión eléctrica entre el equipo de potencia y el codo deberá utilizar el accesorio *bushing insert* para 15kV, que junto con los codos son los componentes esenciales para conexiones de frente muerto.

Las características de los *bushing insert* son las siguientes:

- Diseñados para ser instalados en sistemas de distribución de 200A
- Facilitan la instalación del codo y el reemplazo
- El anillo de control de color amarillo determina la correcta instalación del codo si este no es visible
- No requiere herramientas especiales para su instalación
- Cumple con los requerimientos de la especificación ANSI/IEEE 386A

Figura 29. ***Bushing insert***



Fuente: *solutions.3m.com*. p. 20. Consulta: 22 de mayo de 2016.

Los *protective caps* para 15kV son unos dispositivos diseñados para aislar eléctrica y mecánicamente los componentes de las conexiones tipo frente muerto en sistemas tipo "*loadbreak*" o rompe-cargas, específicamente del *bushing insert*.

Las características de los *protective caps* son las siguientes:

- Para ser instalados en sistemas de distribución de 200A
- Contienen cables para puesta a tierra
- Diseñados para operar en sistemas sumergidos
- Pueden ser utilizados para operaciones permanentes o temporales
- No requieren herramientas especiales para su instalación
- Cumple con los requerimientos de la especificación ANSI/IEEE 386A

Figura 30. ***Protective caps***



Fuente: *solutions.3m.com*. p. 21. Consulta: 23 de mayo de 2016.

Para la conexión de accesorios hacia el cable subterráneo, se preparan los cables con un juego de limpieza, que consiste en paños libres de pelusa integrados con limpiador cítrico dieléctrico. Además, contiene una lija de fibra con grano no conductivo. El juego para limpieza y preparación de cables CC-2 es especial para la limpieza de cables y otros accesorios, con el fin de eliminar la grasa, los aceites y otros contaminantes.

Características que debe cumplir el juego de limpieza y preparación de cables:

- Limpia cables y accesorios en baja y media tensión
- Solvente dieléctrico que limpia efectivamente grasas y aceites

Figura 31. **Juego de limpieza y preparación de cables**



Fuente: *solutions.3m.com*. p. 25. Consulta: 23 de mayo de 2016.

Utilizar el kit para preparación de cables, el cual deberá contener herramientas de precisión para la preparación de cables para terminaciones, con las siguientes características:

- Herramienta para remover el forro y el aislamiento del cable
- Herramienta para marcar la capa semiconductor
- Navaja retráctil para cortes finos
- Pinza para remover la capa semiconductor
- Cortadora de cables tipo *ratchet*
- Kit de limpieza

### **2.3.2. Reguladores de voltaje en media tensión**

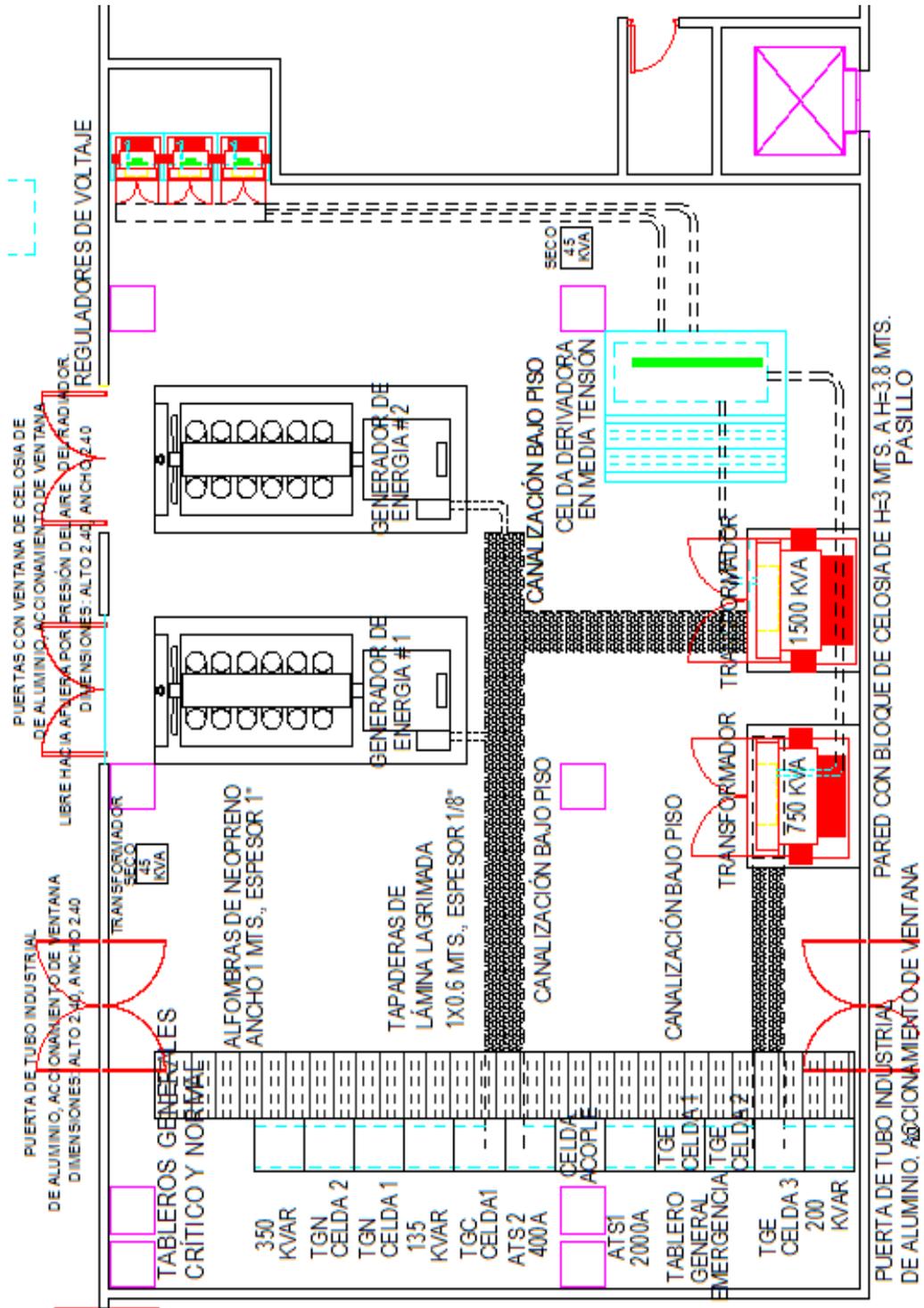
Se requiere de un voltaje de operación óptimo estable para el funcionamiento de los equipos que serán instalados dentro del centro hospitalario. Se planifica en el diseño la instalación de reguladores de voltaje monofásicos tipo subestación, los que mejoran la seguridad, fiabilidad y calidad de la energía eléctrica a través del sistema de distribución subterráneo, mediante el método de regulación que actúa directamente en el voltaje.

En la figura 32 se observa la ubicación de los equipos en el cuarto de máquinas eléctricas, con un área de 51 m<sup>2</sup> para la subestación eléctrica, en donde se instalarán los equipos de regulación de voltaje. Se utilizará del tipo pedestal, para ser montados sobre una base de concreto.

La acometida eléctrica en media tensión tipo subterráneo ingresa por medio del pozo de registro que se ubica bajo los reguladores de voltaje, que se localizan en la parte superior derecha. Posteriormente, ingresa cada fase hacia el regulador correspondiente. Ya regulada la tensión, pasa a través del conductor unipolar regulado hacia la celda de distribución en media tensión y desde la misma se distribuye hacia cada transformador de potencia, de acuerdo al sistema para alimentar.

Desde los transformadores de potencia se alimentará a cada tablero general de acuerdo al sistema que alimentará (ver el diagrama unifilar de la instalación eléctrica para el centro hospitalario), para cumplir con lo requerido en el artículo 517 del NEC.

Figura 32. Distribución de equipos en casa de máquinas eléctricas



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Las características que deberán tener los reguladores son las siguientes:

- Capacidad de limitación de voltaje
- Capacidad de reducción de tensión inversa
- Operación de flujo de potencia
- Seguimiento de la posición de la válvula

El regulador de voltaje tipo pedestal ofrece el estado de la técnica de regulación de voltaje, reducción de los costos de instalación y la preservación de un mayor ambiente estéticamente agradable. Es un diseño de subestación tipo pedestal con regulación de voltaje compacta de frente muerto.

En el diseño, calidad de los materiales, pruebas y normas de fabricación, los reguladores de voltaje de la red de distribución subterránea en media tensión deberán cumplir con las siguientes normas:

**Tabla XXVII. Normas para reguladores de voltaje**

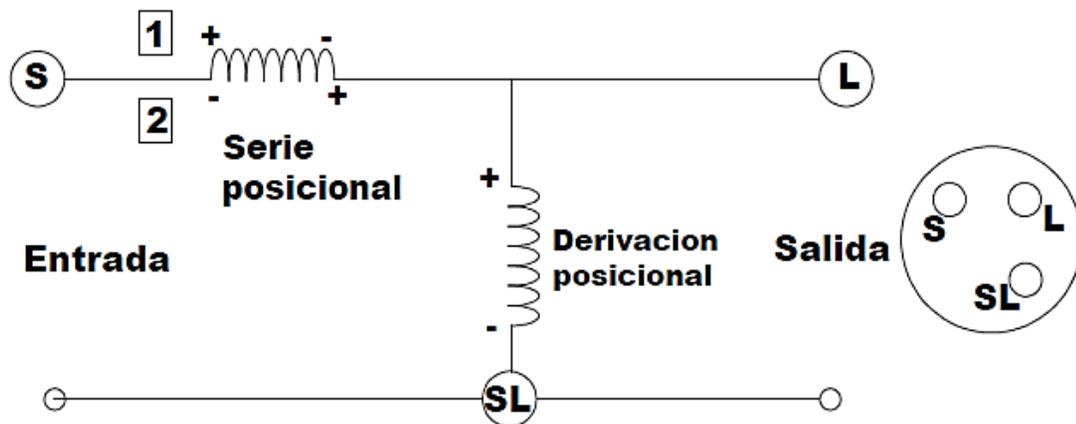
<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
NEC 450	Exigencias para los transformadores con aislamiento de aceite instalados en interiores
ANSI C57,12,25	Requerimientos para transformadores de distribución monofásicos, tipo pedestal en armario, auto enfriado con conectores primarios aislados enchufables.
ANSI/IEEE 386	Conectores aislados enchufables para sistemas de distribución de potencia superiores a 600 voltios.
ANSI C57,12,80	Terminología para transformadores, reguladores y rectificadores.
ANSI C57,12,00	Requerimientos generales para transformadores de distribución de potencia y de regulación inmersos en líquidos.
ANSI C57,100	Procedimiento para prueba de evaluación térmica de transformadores de distribución inmersos en aceite.
ANSI C57,106-1977	Guía de IEEE para la aceptación y para el mantenimiento del aceite dieléctrico en equipos.

Fuente: elaboración propia.

Se constituye como un autoregulador de voltaje en un autotransformador con la capacidad de monitorear constantemente su voltaje y ajustarse automáticamente a cambios exteriores de voltaje para obtener, a su salida, el voltaje deseado. Se cuenta con dos modelos de reguladores, monofásico (*single-phase*) y trifásico (*three-phase*).

En la figura número 33 se observa el diagrama simplificado de funcionamiento para un regulador de voltaje.

Figura 33. **Esquema de un regulador de voltaje**

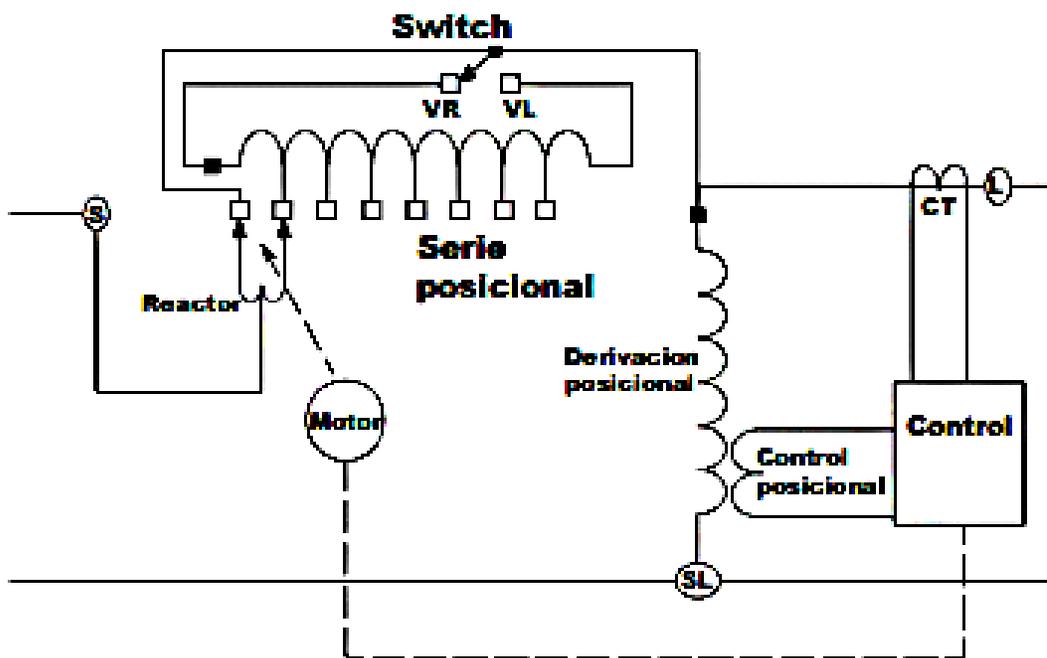


Fuente: SanchezJhalexys.pdf. p. 48. Consulta: 26 de mayo de 2016.

La operación del regulador monofásico consta de bobinas series y comunes de acuerdo con la figura número 33, donde indica las polaridades. Su función es aumentar o reducir los niveles de tensión a la salida con respecto a su entrada, la que depende de la conexión. La conexión con la polaridad 1 bajará los niveles de tensión de salida; la conexión con polaridad 2, elevará los niveles de tensión en su salida.

La figura número 34 representa el funcionamiento interno del regulador de voltaje para el control y cambio de *tap* o derivación.

Figura 34. Esquema de control y cambio del *tap* del regulador de voltaje



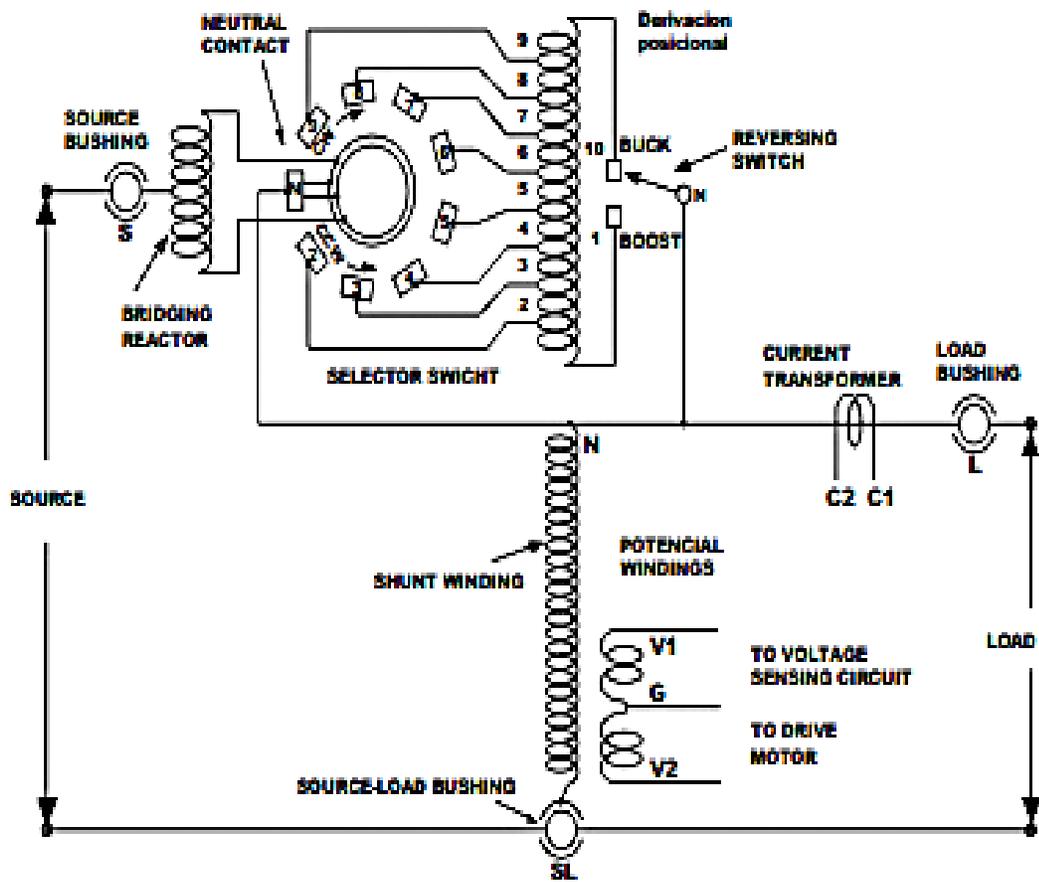
Fuente: SanchezJhalexys.pdf. p. 49. Consulta: 26 de mayo de 2016.

En la figura 35 se muestra el esquema de conexión del circuito interno más detallado. Se observa las posibles 8 combinaciones; la combinación del reactor y el *switch* proporciona los posibles 32 pasos (16 que aumentan y 16 que disminuyen) en aproximadamente  $5/8\%$  de niveles de tensión por cada paso. Como el regulador puede elevar o bajar el voltaje entregado al alimentador en un 10%, los 16 pasos multiplicados por  $5/8\%$  nos dará el 10% de regulación hacia arriba o hacia abajo.

Contribuye así con un nivel de voltaje más uniforme, mejora todos los elementos interconectados y justifica los beneficios obtenidos por la aplicación de los reguladores de voltaje.

El regulador posee un circuito sensor de voltaje (VSC); esto es, un dispositivo con un punto central que causa que el regulador cambie los *taps* para mantener una constante de tensión igual a 120 voltios corriente alterna entre sus terminales.

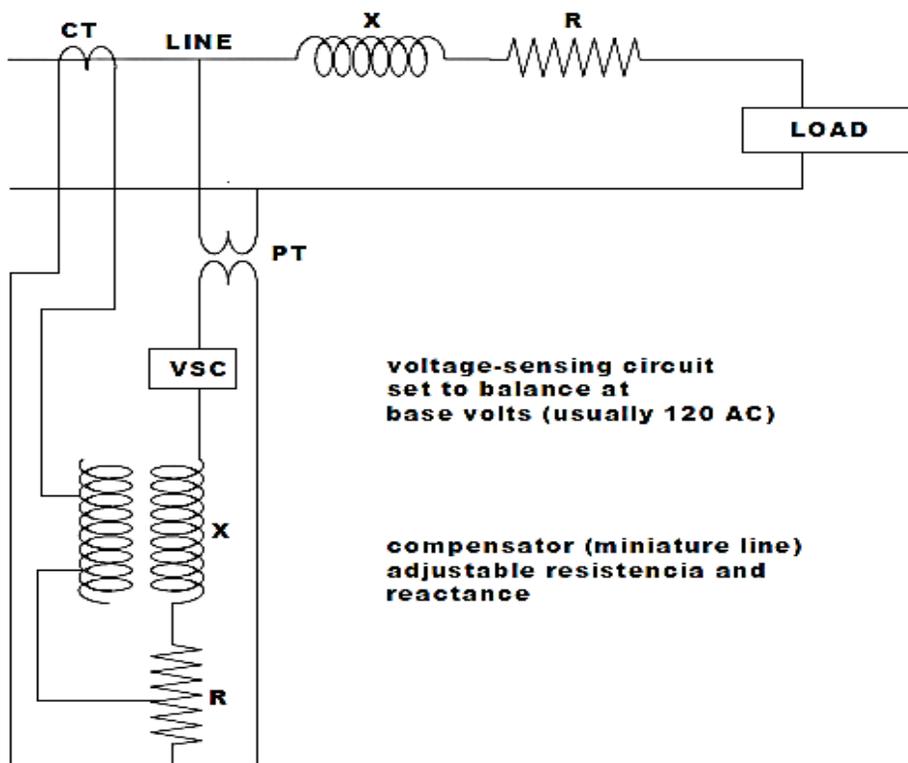
Figura 35. Diagrama completo del regulador de voltaje



Fuente: SanchezJhalexys.pdf. p. 49. Consulta: 26 de mayo de 2016.

El compensador del regulador de voltaje está, en principio, conectado a la línea, la cual consta de elementos resistivos y reactivos. Este, a su vez, posee elementos variables de resistencia y reactancia conectadas por transformadores de potencia que reducen los niveles de tensión y transformadores de corriente que realizan la misma operación, pero con la corriente.

Figura 36. **Esquema simple del compensador de voltaje**



Fuente: SanchezJhalexys.pdf. p. 50. Consulta: 28 de mayo de 2016.

Estos elementos reductores reproducen en miniatura la línea conectada y, a su vez, la caída de tensión que representaría la línea misma. Esta réplica de voltaje induce al motor a realizar la debida movilización de los *taps* para realizar el balance a la salida del regulador.

Todo esto es controlado por el panel de control, el cual establecerá el límite y el balance de salida. Colocar el compensador en los valores de “R” y “X” correctos y duplicar la caída de tensión en la línea se logra por el ajuste de la posición correcta del *taps* realizado por la unidad de control.

El voltaje VSC es esencial, ya que es la referencia o patrón para el control del voltaje del circuito. Lleva al ajuste que se le realice al panel de control, que corresponde al ancho de banda o niveles de tensión superior e inferior en el que se establece la regulación. Esta medida o patrón es la que establece la primera comparación y orden analógica de cambio o salto de *taps*.

En el análisis de capacidad de conducción del conductor eléctrico para media tensión de tipo unipolar con aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) se observó que la máxima corriente eléctrica en media tensión que soporta para el transporte corresponde a 240 amperios, por lo que no se deberá exceder de esta capacidad. Se utilizará para el diseño del regulador de voltaje una corriente de 200 amperios. Para calcular la capacidad nominal del regulador de voltaje se utilizará la siguiente fórmula:

Tabla XXVIII. **Cálculo para el regulador de voltaje**

Fórmula	Descripción
$S = [Vn \cdot I_c \cdot (\% \text{ Reg})] / 1\,000$	S: Capacidad nominal en kVA
$S = [13,8 \text{ kV} \cdot 94,13 \text{ A} \cdot 0,1] / 1\,000$	Vn: Tensión nominal en media tensión
S = 129,90 kVA	Ic: Corriente del conductor eléctrico
	% Reg: Porcentaje de regulación

Fuente: Norma NFPA 70 (NEC).

De acuerdo al valor obtenido en la tabla XXVIII la capacidad para el regulador de voltaje corresponde a 129,90 kVA y de acuerdo con la tabla número XXIX, el valor que corresponde será de 152 kVA.

Tabla XXIX. **Selección para el regulador de voltaje**

<b>Voltios</b>	<b>Amperios</b>	<b>kVA</b>	<b>Bushing</b>	<b>BIL</b>
7 620	50, 75, 100, 150, 200	38, 57, 76, 114, 152	200A Bien & 15 kV 200A insertar	95
7 620	328, 438, 548	250, 333, 416	600A <i>Bushing</i> integrado	95
14 440	50, 100, 200	72, 144, 288	200A Bien & 25 kV 200A insertar	125
14 440	300, 347, 400, 463	432, 500, 576, 667	600A <i>Bushing</i> integrado	125

Fuente: [www.cooperindustries.com](http://www.cooperindustries.com). Consulta: 29 de mayo de 2016.

El valor para el BIL se determina de acuerdo al voltaje de operación en media tensión; el que corresponde a 13,8 kV tendrá un valor de BIL 95. Para el voltaje de operación estará comprendido entre el rango de 7,62 / 13.20 Grd y kV para un sistema trifásico. De acuerdo con los cálculos realizados, el regulador de voltaje monofásico tipo *pad-mounted*, enfriado en aceite que se utilizará, deberá cumplir con los requerimientos y los valores indicados en la tabla XXIX.

El tipo de *bushing* del regulador de voltaje será para 200 amperios y un voltaje en media tensión de 15 kV clase para inserción. De acuerdo con los accesorios indicados en la acometida eléctrica, se utilizará para su conexión las terminales de potencia tipo codo para media tensión de 15 kV. Se empleará tres reguladores de voltaje de acuerdo a las siguientes características:

- Marca: Cooper Power Systems, USA Inc.
- Fases: 1
- Ciclos 60Hz
- Para un sistema trifásico 7,620 / 13,200 Grd Y kV
- De acuerdo al voltaje de operación en media tensión el BIL será 95 kV
- kVA: 152 tipo pedestal
- Con capacidad de 200A en línea
- Regulación de  $\pm 10\%$  en 32 pasos de 5/8% por paso
- Con su control y su cuchilla *Bypass* incorporada
- Aislamiento clase: 15kV
- Voltaje de paso VR-32 monofásico
- Relación 200:0,2
- Clase de enfriamiento: Autoenfriado 65° clase ONAN
- Sumergido en aceite: *Type II Oil*
- Derivaciones: 5 (A-B-C-D-E) – 2,5%
- Peso: 3 925 libras

Accesorios que deberá incluir:

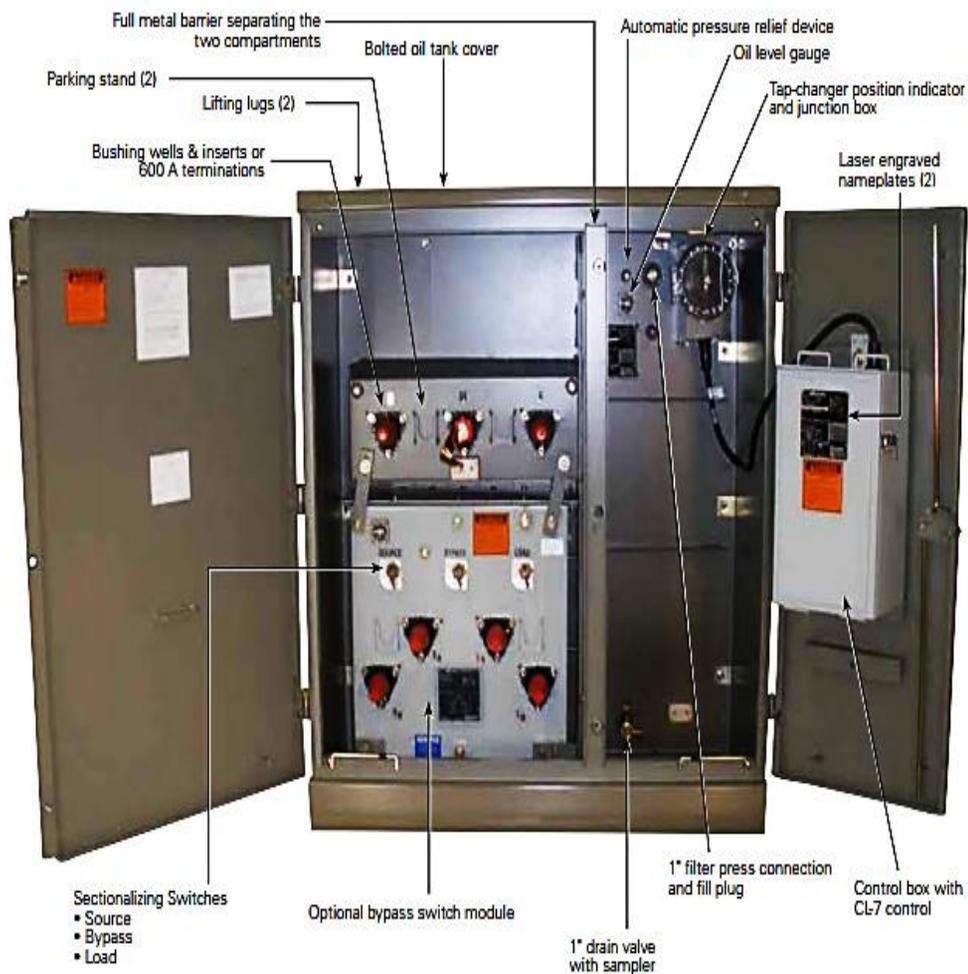
- Indicador de los niveles de aceite
- Termómetro de temperatura de aceite
- Válvula de alivio
- Válvula para sacar muestra de aceite
- Barrera separadora entre entrada primaria y accesorio de medición y mantenimiento
- Base propia del equipo
- Perno para puesta a tierra
- Argollas de levantamiento

- Rótulo indicador de peligro alto voltaje
- Cambio de *tap* externo
- Medidor de presión y vacío
- Control de temperatura del tipo analógico
- Módulo *Switch Bypass*

Figura 37. **Regulador de voltaje equipado**

Catalog Data CA225002EN  
Effective February 2015

Single-phase pad-mounted step voltage regulators



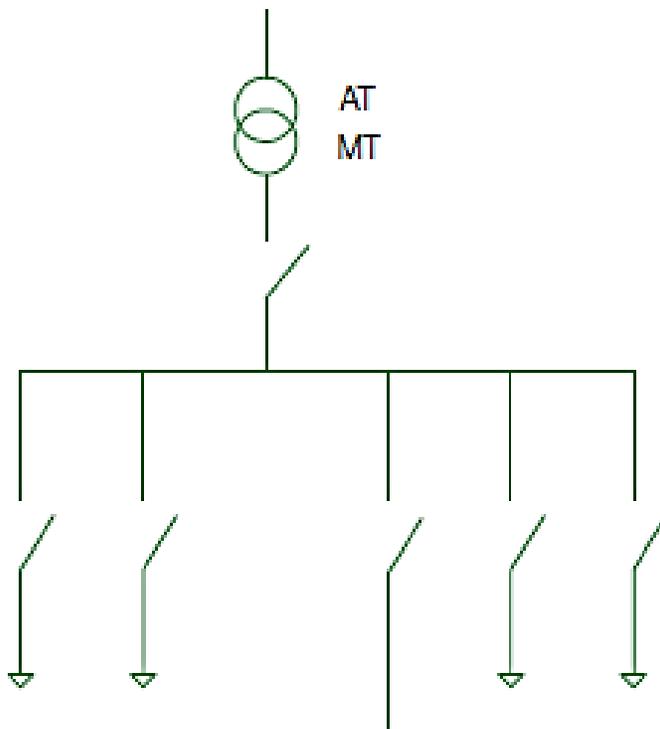
Fuente: [www.cooperindustries.com](http://www.cooperindustries.com). Consulta: 29 de mayo de 2016.

### 2.3.3. Celda derivadora en media tensión 15 kV (*Switchgear*)

Para el sistema de distribución en media tensión se diseñará la red con una tipología tipo radial primaria subterránea, la cual aumenta la fiabilidad del servicio y también permitirá realizar la instalación eléctrica, de acuerdo con la norma NFPA 70 con relación al artículo 517. Se empleará dos sistemas de alimentación eléctrica para el centro hospitalario, con los siguientes servicios:

- Sistema normal
- Sistema de emergencia

Figura 38. **Distribución radial en media tensión**



Fuente: [www.schneiderelectric.es](http://www.schneiderelectric.es). Consulta: 01 de junio de 2016.

La celda de derivación en media tensión permite alimentar a los transformadores de potencia de ambos sistemas con dos centros de transformación. En la celda se instalará seccionadores de operación en los ramales primarios para desenergizar en forma individual cada ramal sin cortar el sistema.

Los gabinetes para la celda de derivación están diseñados bajo la observación de los lineamientos de las siguientes normas:

- IEC 529, IEC 144 e IEC 298
- VDE 0101/9,62.

Celda de seccionador: en este tipo de celda se aloja el seccionador de carga tripolar de un tiro operación en grupo, para la conexión y desconexión con carga. Este seccionador es adecuado a la tensión de operación de la línea de distribución en media tensión (13,8. 23 y 34,5 kV). Se empleará un seccionador tipo LDTP, con una corriente nominal de 400 amperios.

La finalidad principal es la protección contra corto circuito, la cual se logra a través de los fusibles de alta tensión y alta capacidad interruptiva. El seccionador también protege la línea contra operación monofásica o bifásica gracias a su mecanismo percutor, el cual desconecta automáticamente las tres fases cuando se funde el fusible.

La operación del seccionador se realizará por medio de un accionamiento de disco, desde el exterior frontal de la celda. Un seguro mecánico evita abrir la puerta si no está desconectado el seccionador, para la prevención de cualquier accidente.

En la celda principal se instalará el seccionador. Debe incluir tres apartarrayos, los cuales se montarán en la parte posterior del seccionador. Los apartarrayos son del tipo autovalvular para redes con neutro conectado rígidamente a tierra o aislado.

Figura 39. **Celda de derivación en media tensión**



Fuente: [www.siemens.com.mx](http://www.siemens.com.mx). p. 39. Consulta: 06 de junio de 2016.

Tabla XXX. **Características técnicas de la celda de derivación**

		Tensión nominal kV		
		13,8	23	34
Tensión máxima de servicio	kV	15	25.8	36
Corriente nominal	A	400	400	400
Frecuencia nominal	Hz	60	60	60
Tensión auxiliar para circuito de control**	Vc.c.	125	125	125
Tensión auxiliar para circuito de calefacción**	Vc.a.	120	120	120
Barras colectoras <sup>(1)</sup>		Cobre	Cobre	Cobre
Dimensión barras colectoras	mm	6.35x25.4	6.35x25.4	6.35x25.4
Barra de tierra PE <sup>(1)</sup>		Cobre	Cobre	Cobre
Dimensión barra de tierra PE	mm	6.35x25.4	6.35x25.4	6.35x25.4
Tipo de protección** <sup>(2)</sup>		IP-40/50/54	IP-40/50/54	IP-40/50/54
Designación de fases		L1-L2-L3	L1-L2-L3	L1-L2-L3
Altura sobre el nivel del mar	m	1,000	1,000	1,000
Temperatura de ambiente	°C	40	40	40

Datos de prueba

Tensión de impulso (BIL)				
1.2/50 ms. (valor cresta)	kV	95	125	150
Tensión aplicada	kV	36	60	70
Corriente de corto circuito 3 seg.	kV	16	14	12,5

\*\* De acuerdo a los requerimientos del cliente.

(1) Las barras son de cobre sin platear.

(2) IP-40 (NEMA 1), IP-50 (NEMA 12), IP-54 (NEMA 3R)

Fuente: [www.siemens.com.mx](http://www.siemens.com.mx). p. 40. Consulta: 06 de junio de 2016.

De acuerdo con la proyección que se necesita, la celda de derivación deberá de contener la siguiente información para su construcción:

Celda derivadora en media tensión 15 kV, BIL 95 kV, completamente armada, para instalar en interiores NEMA 1, construida con lámina de acero rolada en frío calibre 12 en estructura y cubiertas, terminado con pintura electrostática a base de resinas, color Gris ANSI 61. Barras de cobre para 400 amperios de capacidad. Compuesta de derecha a izquierda de las siguientes secciones:

- Una sección derivadora T para recibir el cable de energía de media tensión.
- Una sección con un seccionador tripolar, de operación en grupo con carga. El seccionador se opera con un accionamiento de disco desde el frente del tablero. Un seguro mecánico evita abrir la puerta si no está conectado el seccionador. El seccionador posee un mecanismo percutor que desconecta las tres fases por el disparo de al menos uno de los tres fusibles con alta capacidad interruptiva 15 kV/ 100 A. En esta sección van montados tres apartarrayos de 10 kV conectados a un sistema de neutro a tierra.
- 3 fusibles 15 kV / 100 A y tres fusibles 15 kV / 50A de repuesto.

#### **2.3.4. Subestación principal (transformadores de potencia)**

La subestación es un punto que permite cambiar las características de la energía eléctrica (tensión, corriente, frecuencia, etc.) con la capacidad de configurar las conexiones de las líneas de distribución en media tensión. La función básica corresponde a reducir la magnitud del voltaje en media tensión a baja tensión.

La subestación que utilizaremos corresponde al tipo de distribución en media tensión debido a las características de la carga eléctrica que será suministrada al centro hospitalario, y para la protección del personal calificado que realizará las labores de mantenimiento. De acuerdo al diseño que se ejecutará, será del tipo frente muerto. El voltaje de operación para la subestación será 13 800 voltios en el lado de media tensión y para el lado de baja tensión, 480 voltios para distribución, de acuerdo al diagrama de conexión (ver figura 42).

Todos los elementos se alojan en el interior del edificio (ver figura 32), donde se ubicará la casa de máquinas eléctricas. La alimentación en media tensión será del tipo subterráneo y la distribución en baja tensión, también será subterránea, la cual es propiedad del centro hospitalario.

Para el cálculo de la capacidad nominal de los transformadores de potencia, se realizará el análisis a cada uno de los tableros de distribución eléctrica en baja tensión para un voltaje de operación de 480 V. Este alimentará los diferentes ambientes que componen el centro hospitalario, de acuerdo con lo indicado en la tabla número XXXI para el sistema de distribución normal.

Tabla XXXI. **Carga instalada de tableros de distribución sistema normal**

Tablero	Descripción	Sistema normal			Tensión (V)
		Potencia instalada en kVA	Factor de demanda	Demanda máxima estimada VA	
STNEA1	Tablero normal edificio A sector "a"	51 488	0,80	41 191	480
STNEA2	Tablero normal edificio A sectores "a y b"	73 606	0,80	58 885	480
STNEA3	Tablero normal edificio A sector "b"	87 177	0,80	69 742	480
STNEA4	Tablero normal edificio A sector "c"	99 812	0,80	79 850	480
STNEA4S	Tablero normal edificio A sector "c" sur	102 446	0,80	81 957	480
TNCE	Tablero normal consulta externa	60 454	0,75	45 341	480
TNEC	Tablero normal edificio "C"	22 486	0,80	17 989	480
CAJA NEMA	Elevador camillero 1B	10 000	0,85	8 500	480
CAJA NEMA	Elevador camillero 2B	10 000	0,85	8 500	480
CAJA NEMA	Elevador 3ª	6 600	0,85	5 610	480
CAJA NEMA	Elevador 3B	6 600	0,85	5 610	480
CAJA NEMA	Elevador 4B	6 000	0,85	5 100	480
CAJA NEMA	Montacargas # 1	5 500	0,85	4 675	480
CAJA NEMA	Montacargas # 2	5 500	0,85	4 675	480
CAJA NEMA	Montacargas # 3	6 000	0,85	5 100	480
CAJA NEMA	Montacargas # 4	6 000	0,85	5 100	480
CAJA NEMA	Tomógrafo	100 000	1,00	100 000	480
CAJA NEMA	Rayos "X" digital	70 000	1,00	70 000	480
STG4	Subtablero alumbrado normal garita 4	3 940	1,00	3 940	480
STNFLAV	Subtablero de fuerza lavandería	62 466	0,90	56 220	480
CAJA NEMA	Esterilizador	45 000	1,00	45 000	480
	TOTAL			722 985	

Fuente: elaboración propia.

El valor obtenido en la tabla XXXI corresponde a la demanda máxima total estimada de la subestación, en el sistema normal, y tiene un valor de 722 985 VA. Se ha analizado la demanda máxima para los tableros de distribución eléctrica que operan en 480 voltios, así como los circuitos derivados para los equipos médicos energizados a través de las cajas tipo NEMA1 para su alimentación.

Por medio de estos se alimentará los ramales individuales para energizar a los subtableros eléctricos que operan en el sistema de distribución de 208 voltios, de acuerdo con lo descrito más adelante en la sección para tableros de distribución eléctrica. Se estimará un 20% previsto para un crecimiento futuro, por lo que el valor comercial asignado para el transformador de potencia en el sistema normal corresponderá a 750 kVA.

Para el sistema de distribución de emergencia, se realizará una división de cargas, las cuales estarán energizadas a través de dos sistemas, uno crítico y el otro, de emergencia.

- Sistema crítico
- Sistema de emergencia

En la tabla número XXXII se observa el cálculo de la demanda máxima estimada para las cargas eléctricas que son alimentadas por medio del voltaje de distribución en 480 voltios para los sistemas crítico y de emergencia, que determinará el valor de la capacidad para el transformador de potencia que alimenta ambos sistemas, de acuerdo al diagrama unifilar.

Tabla XXXII. **Carga instalada de tableros de distribución. Sistemas de emergencia y crítico**

Tablero	Descripción	Sistemas de emergencia y crítico			Tensión (V)	
		Potencia instalada en VA	Factor de demanda	Demanda máxima estimada VA		
STCEA1	Tablero crítico edificio A sector "a"	35 822	0,80	28 658	480	
STCEA2	Tablero crítico edificio A sectores "a y b"	72 694	0,75	54 521	480	
STCEA3	Tablero crítico edificio A sector "b"	84 583	0,80	67 667	480	
STCEA4	Tablero crítico edificio A sector "c"	62 220	0,80	49 776	480	
STEEA1	Tablero emergencia edificio A sector "a"	73 799	0,80	59 040	480	
STEEA2	Tablero emergencia edificio A sectores "a y b"	139 344	0,75	104 508	480	
STEEA3	Tablero emergencia edificio A sector "b"	57 141	0,80	45 713	480	
STEEA4N	Tablero emergencia edificio A sector "c" norte	65 750	0,80	52 600	480	
STEEA4S	Tablero emergencia edificio A sector "c" sur	59 956	0,80	47 965	480	
TECE	Tablero emergencia consulta externa	57 848	0,80	46 279	480	
TEEC	Tablero emergencia edificio "C"	50 813	0,80	40 651	480	
CAJA NEMA	Elevador camillero 1A	10 000	0,70	7 000	480	
CAJA NEMA	Elevador camillero 2A	10 000	0,70	7 000	480	
CAJA NEMA	Elevador 4A	6 000	0,70	4 200	480	
CAJA NEMA	Rayos Fluoroscopia	70 000	0,80	56 000	480	
CAJA NEMA	Lavado Instrumental	12 500	0,80	10 000	480	

Continuación tabla XXXII.

Tablero	Descripción	Sistema emergencia y crítico			Tensión (V)	
		Potencia instalada en VA	Factor de demanda	Demanda máxima estimada VA		
STFCQE	Subtablero de fuerza centro quirúrgico de emergencia	53 101	0,85	45 136	480	
STFUMA	Subtablero de fuerza unidad médica de apoyo	71 485	0,90	64 337	480	
STFUM	Subtablero de fuerza usos múltiples	71 832	0,90	64 649	480	
STFELAV	Subtablero de fuerza lavandería	27 114	0,90	24 403	480	
STFInf	Subtablero de fuerza infectología	36 150	1,00	36 150	480	
STFHGO	Subtablero de fuerza hospitalización gineco obstetricia	24 144	1,00	24 144	480	
STFCMC	Subtablero de fuerza casa de máquinas calderas	44 551	0,85	37 869	480	
STFQ#1	Subtablero de fuerza quirófanos # 1	35 808	0,80	28 647	480	
STFQ#2	Subtablero de fuerza quirófanos # 2	35 520	0,80	28 416	480	
STFQ#3	Subtablero de fuerza quirófanos # 3	39 696	0,80	31 757	480	
STFCBo	Subtablero de fuerza casa de bombas	537 915	0,40	215 166	480	
STGUPS	Tablero UPS edificio A sector "b"	105 738	0,80	84 591	480	
STGUCOMP	Tablero general UPS computo	105 735	0,80	84 588	480	
	TOTAL			1 451 431		

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el valor determinado en la tabla XXXII para el sistema de emergencia y crítico, corresponde a 1 451 431 VA. En el mercado se encuentra un transformador con una capacidad comercial de 1 500 kVA; este valor encontrado tiene ya calculado el 20% que se debe estimar para un crecimiento futuro de los transformadores.

Del análisis anterior de la demanda máxima estimada, en los tres sistemas se tendrá una potencia a plena carga de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla XXXIII. Capacidad nominal que será instalada en la subestación eléctrica**

<b>Sistema a servir</b>	<b>Capacidad nominal del transformador</b>
Normal	750 kVA
Emergencia y crítico	1 500 kVA
Total de carga instalada	2 250 kVA

Fuente: elaboración propia.

El criterio utilizado para determinar la capacidad de los transformadores de potencia en media tensión está basado en el cálculo de la demanda máxima estimada.

Los valores del factor de demanda aplicados a los tableros de distribución, están determinados de acuerdo al criterio de utilización en las zonas de trabajo y están seleccionados con los valores indicados en el artículo 220 del NEC 2011.

Al igual que para la construcción de los reguladores de voltaje, los transformadores de potencia en media tensión y voltaje de operación 13,8 kV deberán cumplir con las siguientes normas.

Tabla XXXIV. **Normas que deberán cumplir los transformadores de potencia en media tensión**

<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
NEC 450	Exigencias para los transformadores con aislamiento de aceite instalados en interiores
ANSI C57,12,25	Requerimientos para transformadores de distribución monofásicos, tipo pedestal en armario, auto enfriado con conectores primarios aislados enchufables.
ANSI/IEEE 386	Conectores aislados enchufables para sistemas de distribución de potencia superiores a 600 voltios.
ANSI C57,12,80	Terminología para transformadores, reguladores y rectificadores.
ANSI C57,12,00	Requerimientos generales para transformadores de distribución de potencia y de regulación inmersos en líquidos.
ANSI C57,100	Procedimiento para prueba de evaluación térmica de transformadores de distribución inmersos en aceite
ANSI C57,106-1977	Guía de IEEE para la aceptación y para el mantenimiento del aceite dieléctrico en equipos

Fuente: elaboración propia.

Los transformadores de potencia en media tensión deberán de cumplir las siguientes características técnicas para su fabricación e instalación:

- La construcción de un pozo para contener el derrame de aceite y evitar la propagación de un incendio.
- Su ubicación deberá de ser de fácil acceso, con el fin de facilitar al personal de mantenimiento la revisión e inspección, así como su instalación.
- Se deberá de construir una malla de puesta a tierra que garantice la seguridad del personal.
- La obra civil de apoyo deberá proveer el espacio adecuado para proteger los cables durante los movimientos del transformador.
- Los transformadores tipo pedestal no deberán de localizarse en áreas clasificadas como peligrosas según los artículos 500 a 517 del NEC.
- En la subestación estará prohibido que crucen canalizaciones de agua, gas natural, aire comprimido, gases industriales o combustibles, excepto las tuberías de extinción de incendios.
- Contar con aviso preventivo de peligro riesgo eléctrico.

Figura 40. **Pozo para evitar derrame de aceite del transformador**



Fuente: elaboración propia.

En la figura número 41 se observa la construcción de una base de concreto sobre la cual se instala el transformador tipo pedestal. De acuerdo con la capacidad del peso en kilogramos, se ha previsto el pozo para evitar derrames de aceite. También se observa el cableado en el lado de baja tensión para la distribución hacia el tablero general en un voltaje secundario de 480 voltios, en una canalización bajo piso.

**Figura 41. Instalación de transformadores de potencia tipo pedestal**



Fuente: elaboración propia.

Las características que deberán de cumplir para el diseño de los transformadores de potencia serán las siguientes:

- Transformador trifásico para el sistema normal de 750 kVA inmerso en aceite tipo pedestal para interior.
- Transformador trifásico para el sistema emergencia y crítico de 1 500 kVA inmerso en aceite tipo pedestal para interior.
- Fases: 3
- Ciclos: 60
- Aislamiento clase: 15 kV
- Tipo de transformador sumergido en aceite y con 5 derivaciones
- Voltaje primario: 13,8 kV
- Voltaje secundario: 480/277 voltios
- Derivaciones del transformador:  $2 \pm 2.5\%$
- Impedancia: 5.75%
- Clase de enfriamiento: Auto enfriado, para 55°C de sobre temperatura conforme normas ASA y NEMA
- Conexión primaria: Delta
- Conexión secundaria: Estrella aterrizada
- Desplazamiento angular: 30°
- Altura: 2 300 metros sobre el nivel del mar

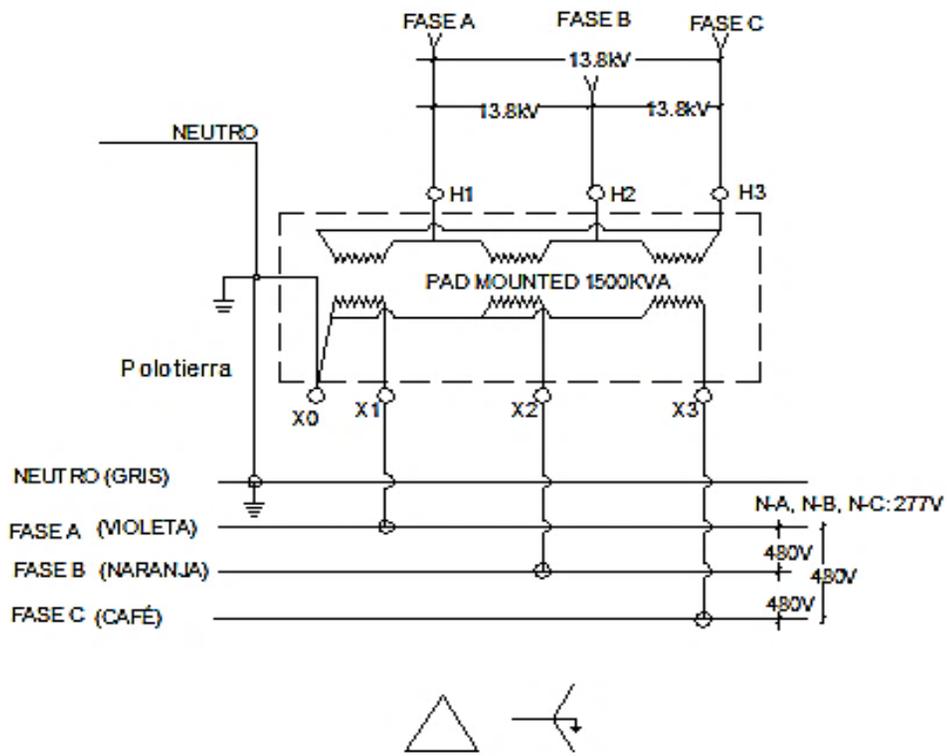
Los transformadores deberán de contar con los accesorios siguientes:

- Operador exterior para cambio de derivaciones
- Indicador de nivel de aceite
- Termómetro indicador de temperatura de aceite
- *Bushings* secundarios tipo espada
- Barrera separadora entre *bushings* primarios y secundarios
- Válvula de alivio

- Válvula de muestreo de aceite
- Argollas de levantamiento
- Perno para puesta a tierra
- Rótulo con indicación de peligro alto voltaje

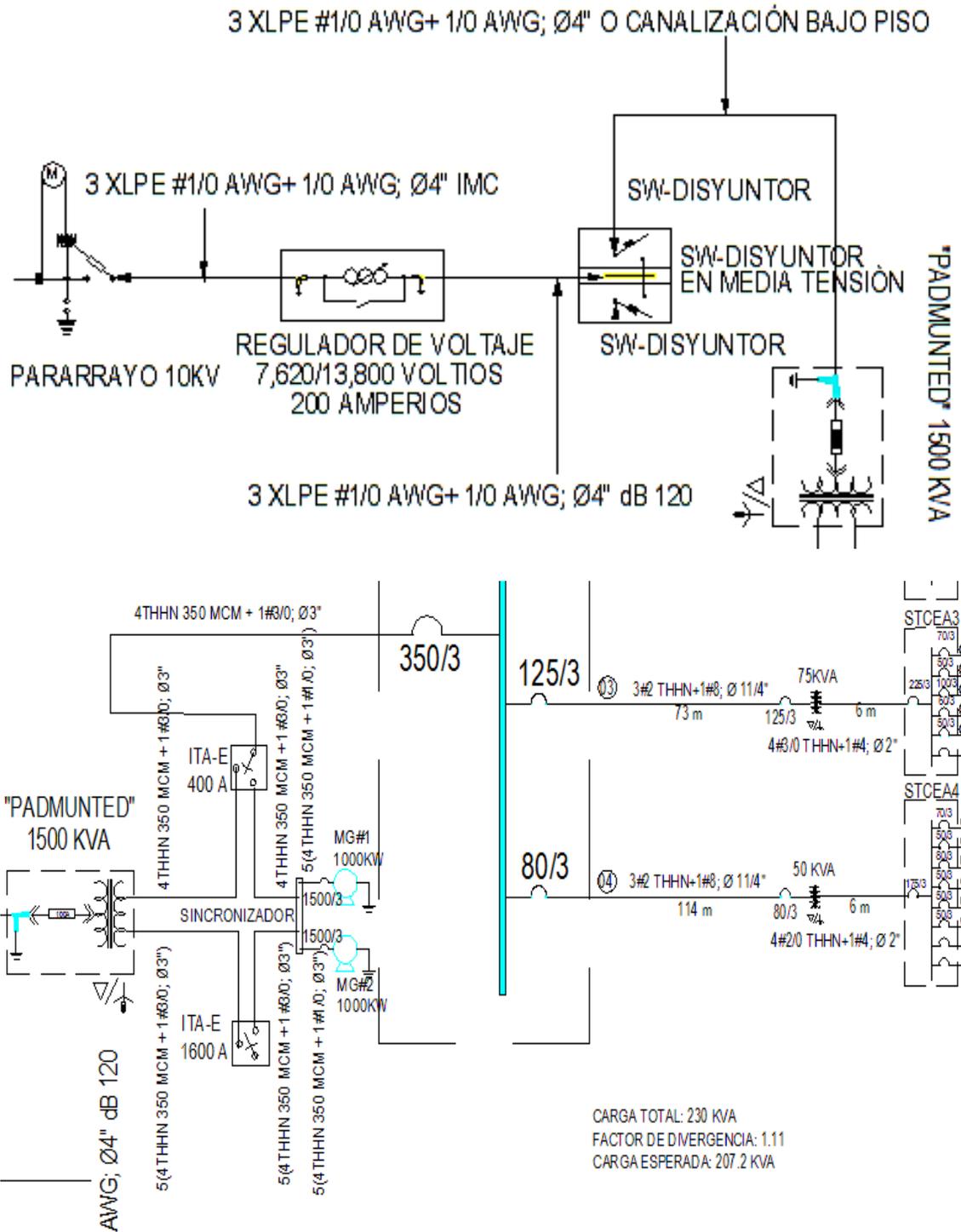
Para la distribución de los equipos dentro de la casa de máquinas eléctricas, en donde se localizan los reguladores de voltaje, transformadores de distribución, celda de derivación en media tensión, grupos electrógenos, transferencias automáticas, tableros de distribución, ver la figura 32.

Figura 42. **Diagrama de conexión delta - estrella aterrizada para transformador de 1 500 kVA y 750 kVA**



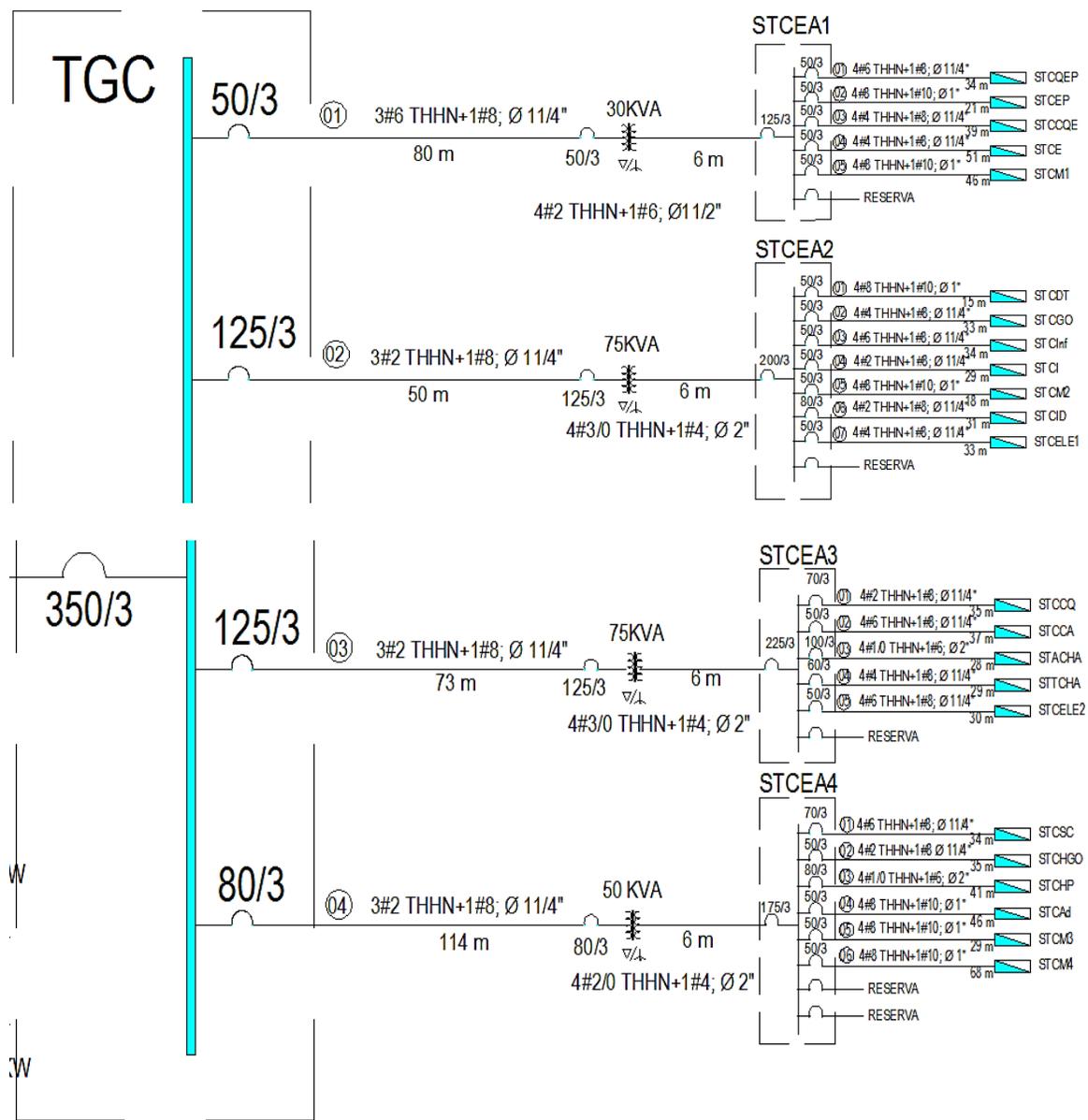
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 43. Diagrama unifilar sistema crítico



En la figura 43 se observa la acometida eléctrica, celda de derivación hacia el sistema de emergencia alimentado por el transformador de 1 500 kVA, hacia la transferencia automática de 400A y de esta al tablero general crítico TGC.

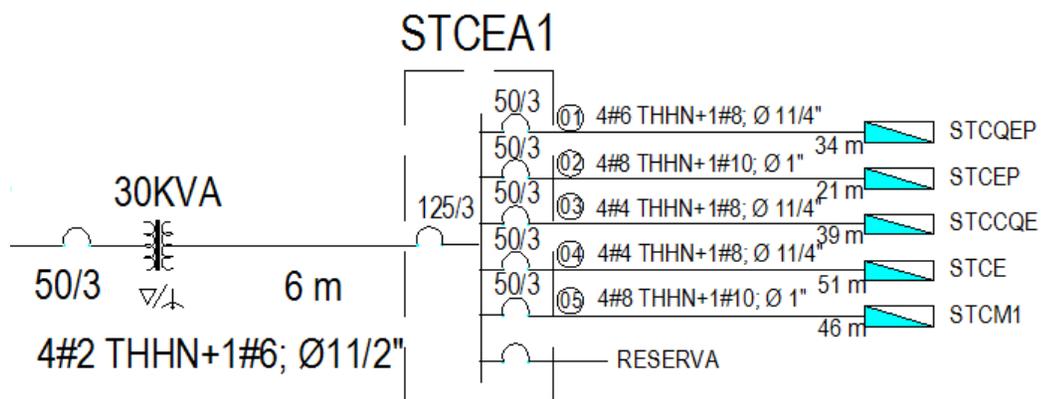
Continuación figura 43.



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

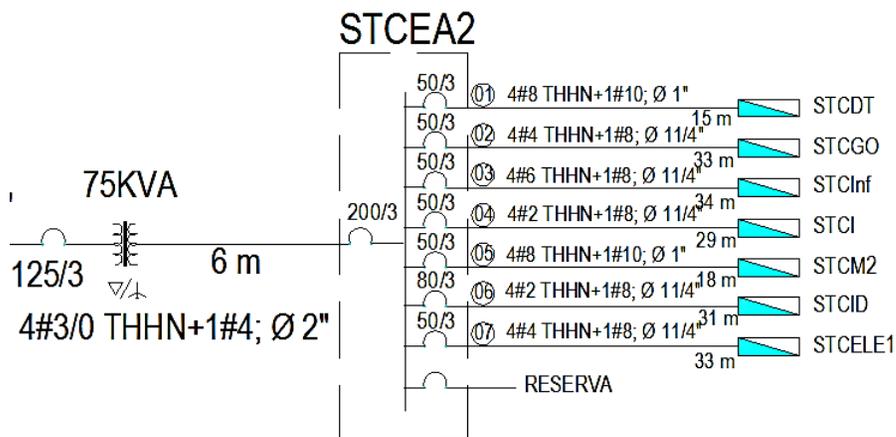
Se observa que el tablero general crítico (TGC), alimenta 4 ramales hacia los transformadores del tipo seco en 480 voltios y de estos hacia cada uno de los tableros de distribución, STCEA1, STCEA2, STCEA3 y STCEA4 para su energización en voltaje de 208 trifásico hacia los subtableros indicados.

Figura 44. **Diagrama unifilar tablero STCEA1**



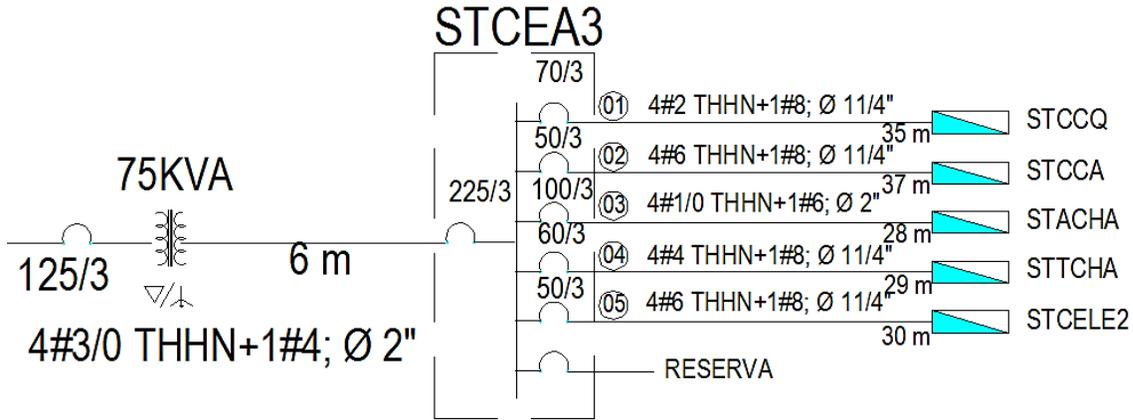
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 45. **Diagrama unifilar tablero STCEA2**



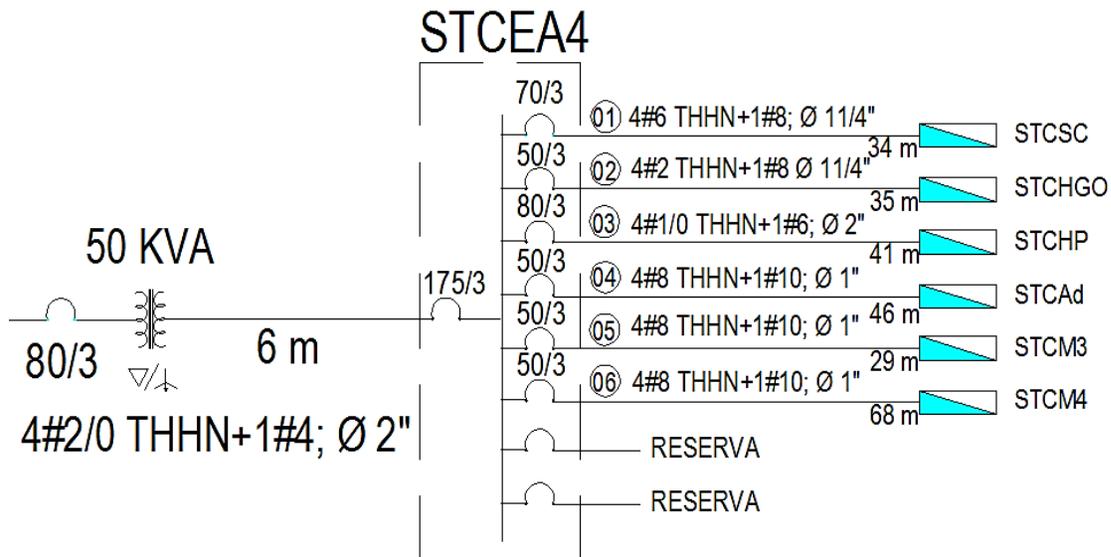
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 46. Diagrama unifilar tablero STCEA3



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

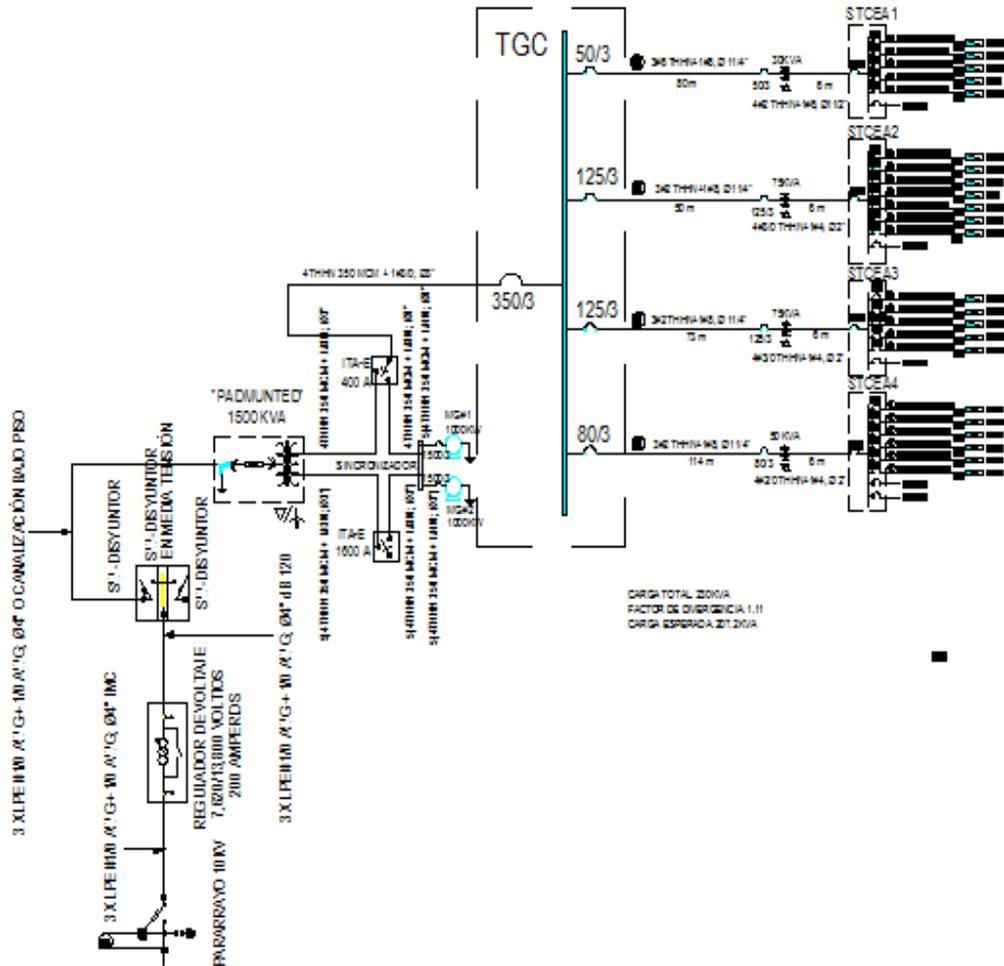
Figura 47. Diagrama unifilar tablero STCEA4



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

En la figura 48 se observa el diagrama unifilar para el sistema crítico en su totalidad, razón por la cual se ha descrito en forma parcial para su interpretación.

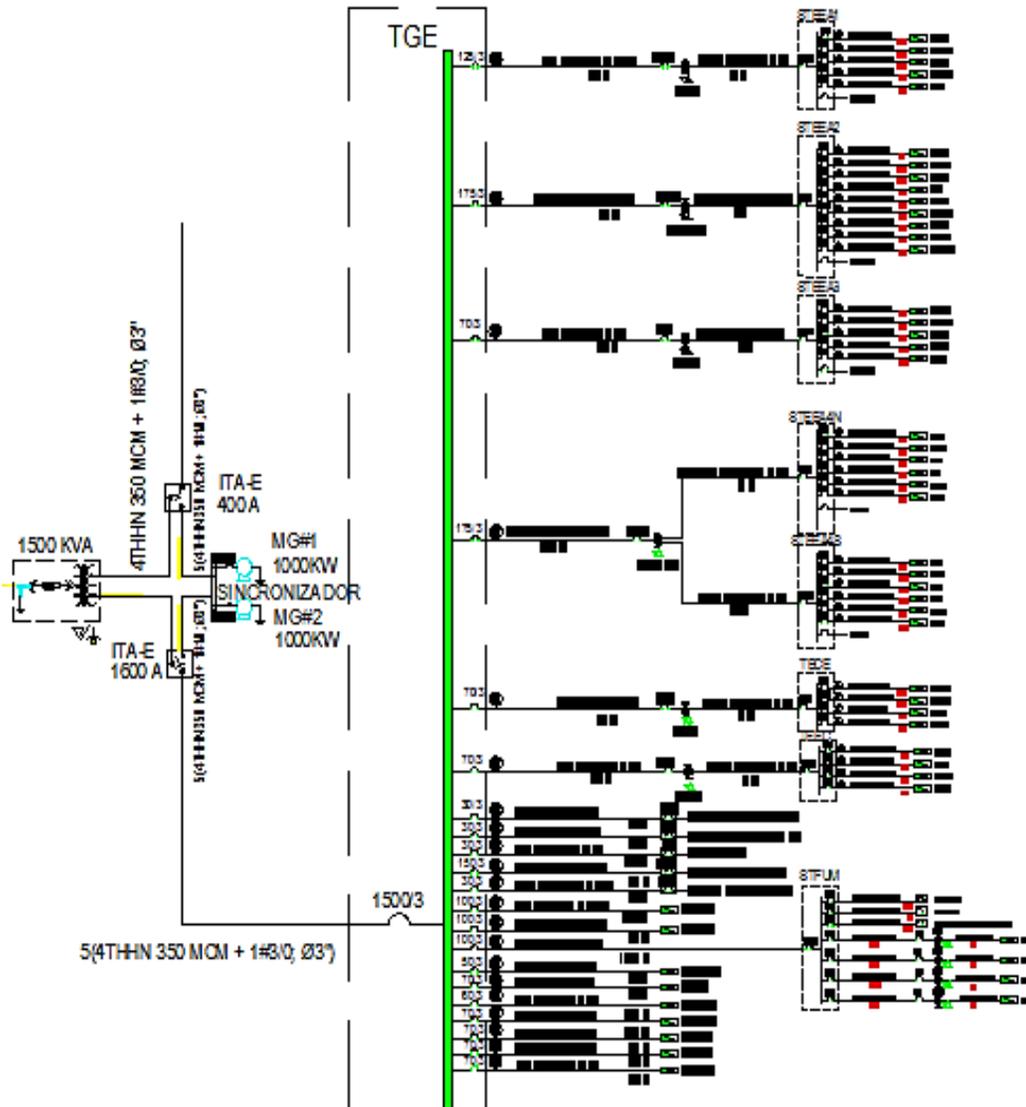
Figura 48. Diagrama unifilar sistema crítico completo



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

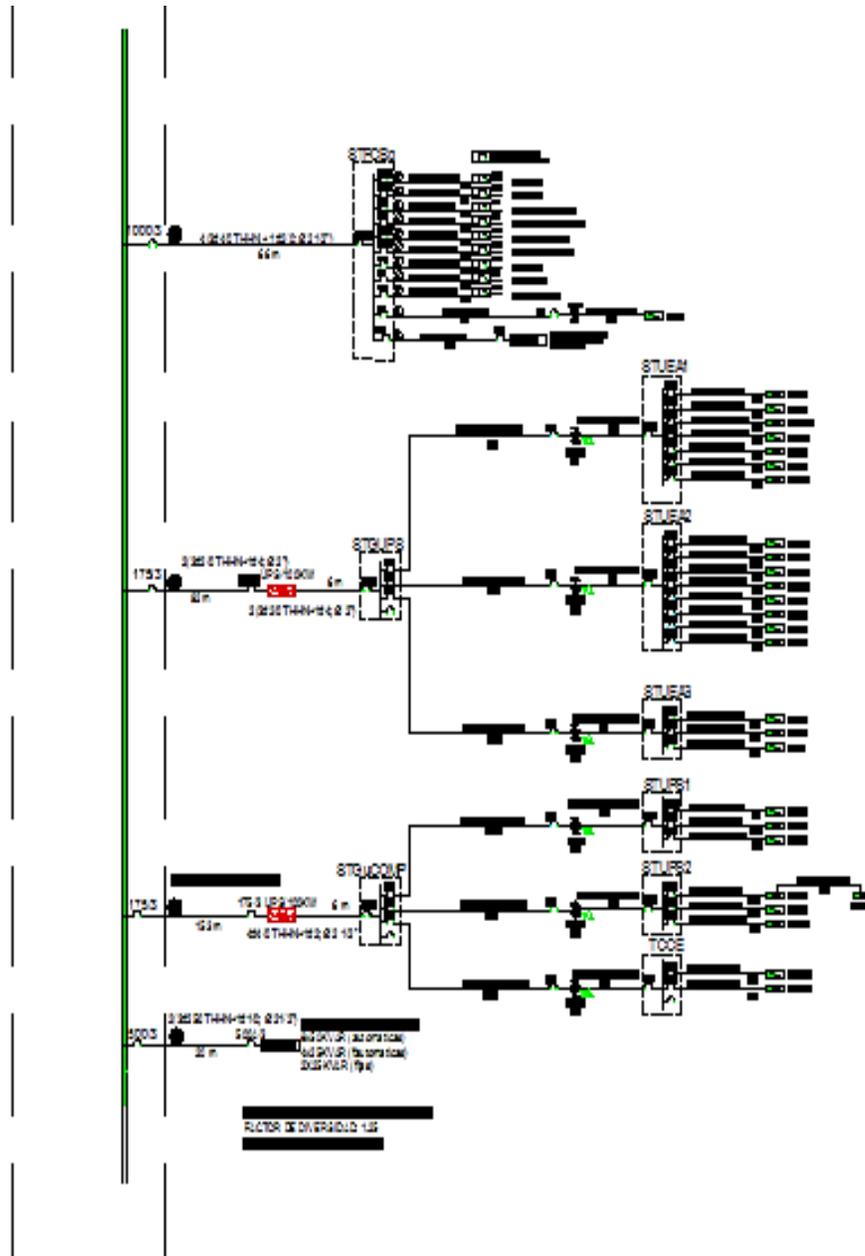
En la figura 49 se presenta el diagrama unifilar para el sistema de emergencia. Para facilitar su interpretación se ha dividido en dos , en las cuales se describe el tipo de conductores eléctricos, tipo de tuberías, clases, protecciones para los ramales y protección principal. Además, el transformador de potencia de 1 500 kVA, que alimenta las dos transferencias automáticas, una para el sistema crítico y la otra para el sistema de emergencia, el sistema de sincronización y los dos grupos electrógenos.

Figura 49. Diagrama unifilar sistema de emergencia



Para el diagrama unifilar del sistema de emergencia, que en el funcionamiento del centro hospitalario tendrá la cobertura en la mayoría de las instalaciones eléctricas, en la primera división se describen los ramales del 1 al 21. Para la segunda, de los ramales 22 al 25, de acuerdo a su dimensionamiento, ver figura 49.

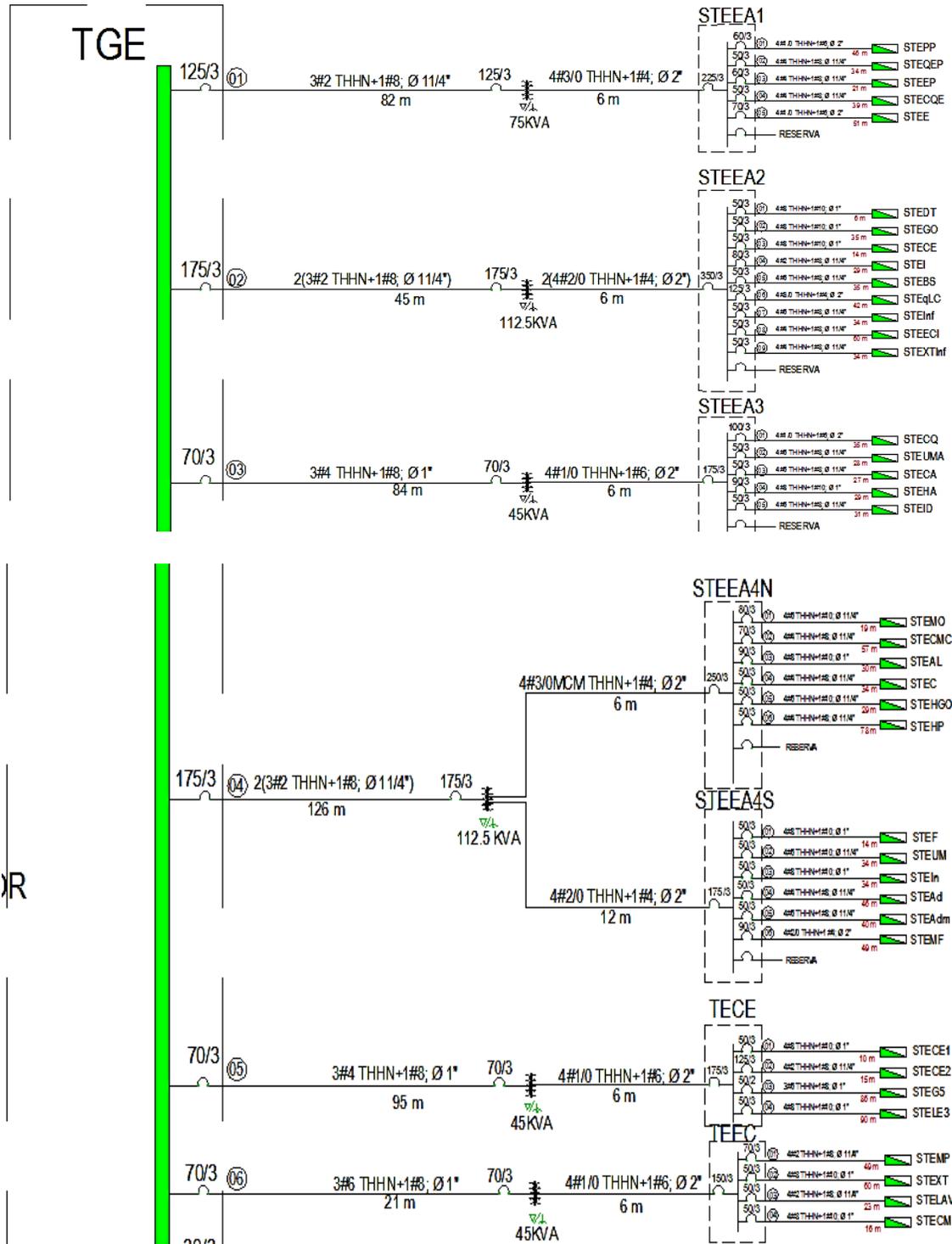
Continuación figura 49.



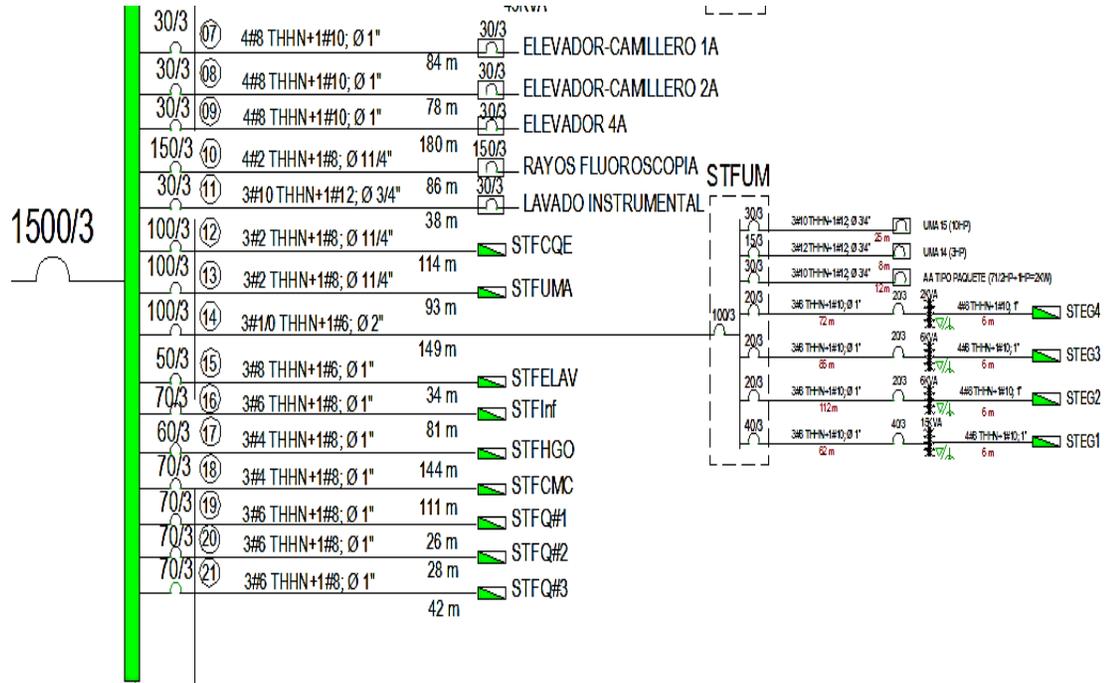
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Para su comprensión se detalla en forma parcial cada uno de los ramales que integran el tablero general de emergencia (TGE).

Figura 50. Diagrama unifilar tablero general de emergencia ramales del 1 al 21

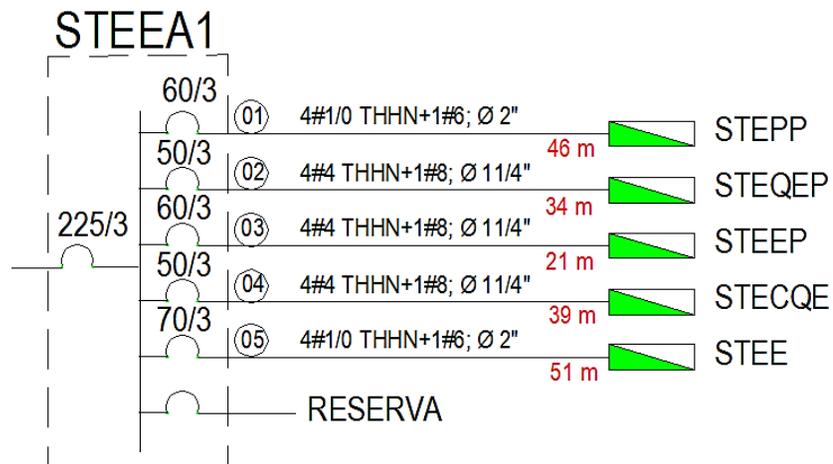


Continuación figura 50.



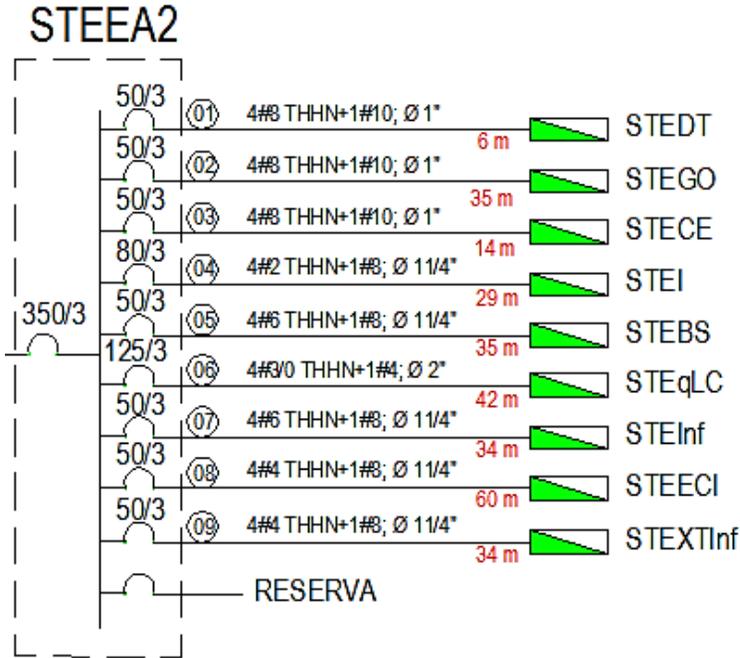
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 51. Diagrama unifilar tablero STEEA1



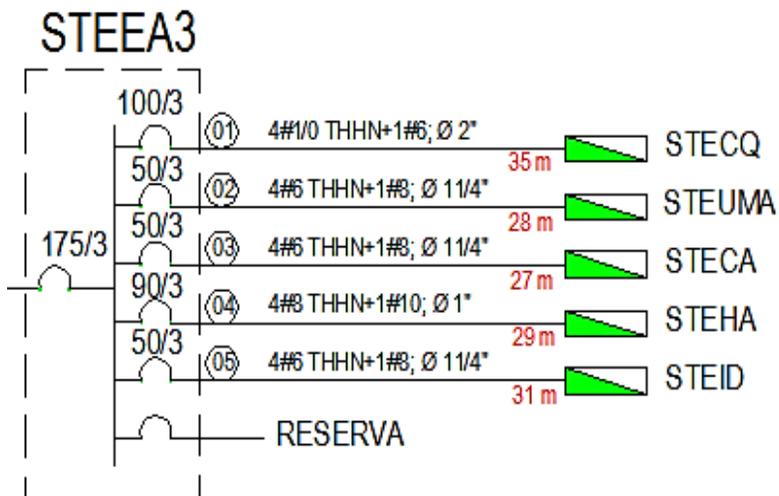
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 52. Diagrama unifilar tablero STEEA2



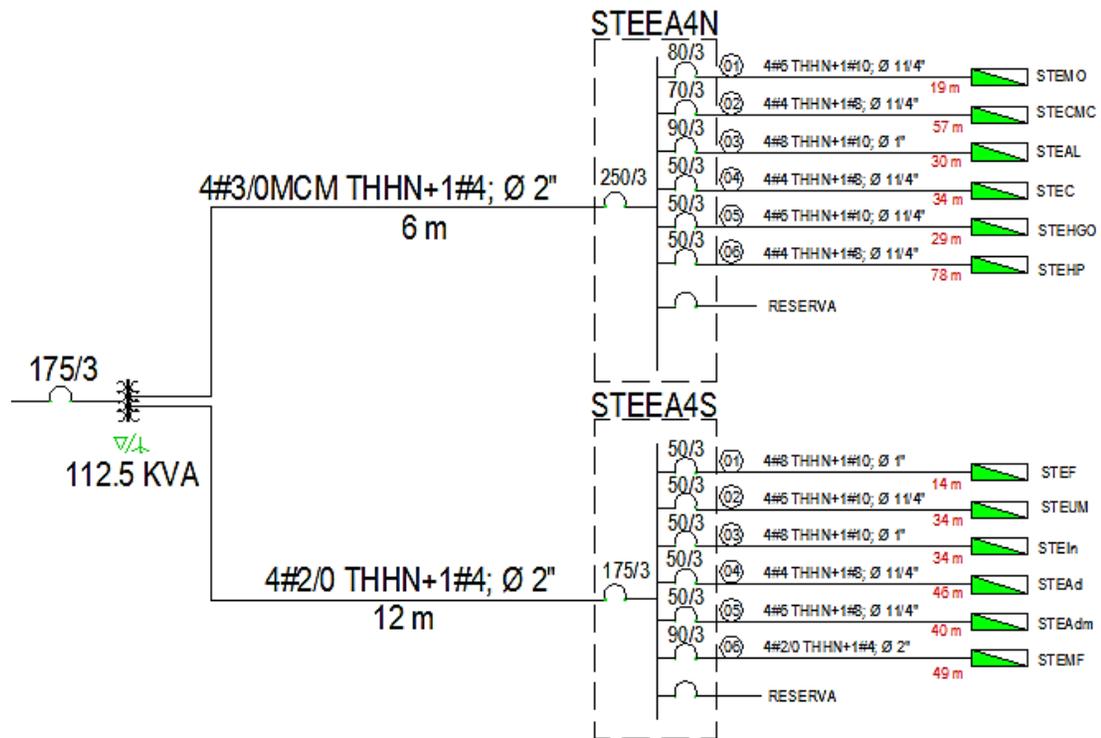
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 53. Diagrama unifilar tablero STEEA3



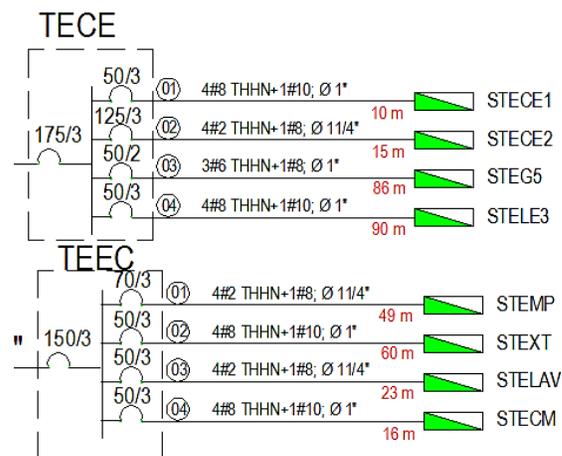
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 54. Diagrama unifilar tableros STEEA4N y STEEA4S



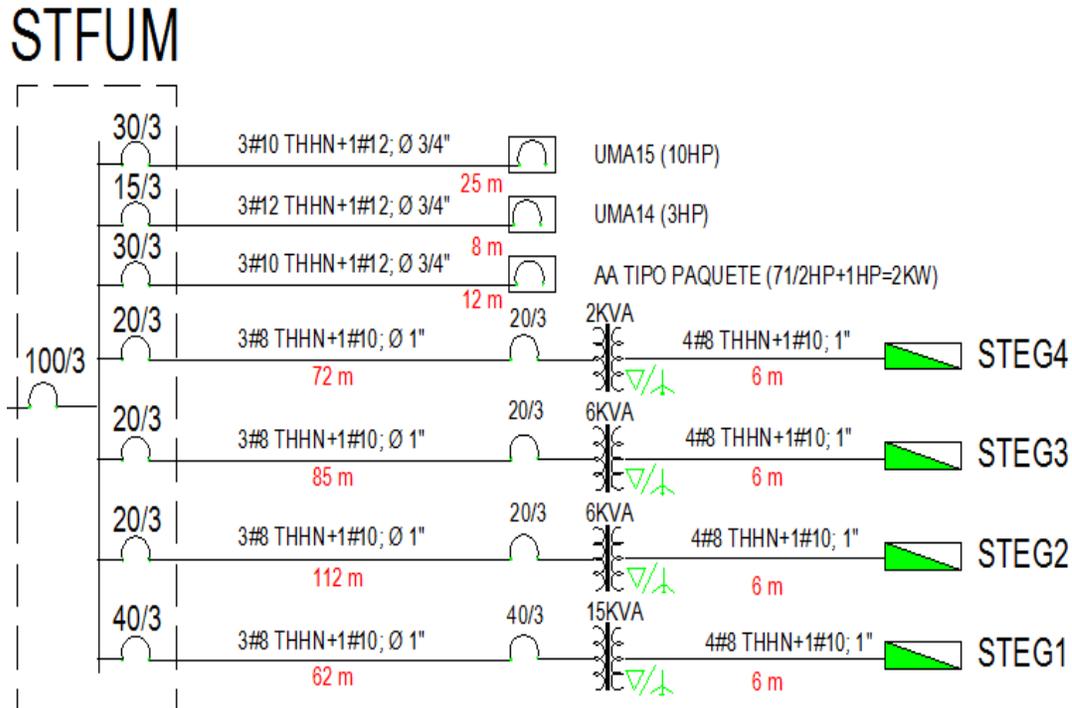
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 55. Diagrama unifilar tableros TECE y TEEC



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 56. Diagrama unifilar tablero STFUM

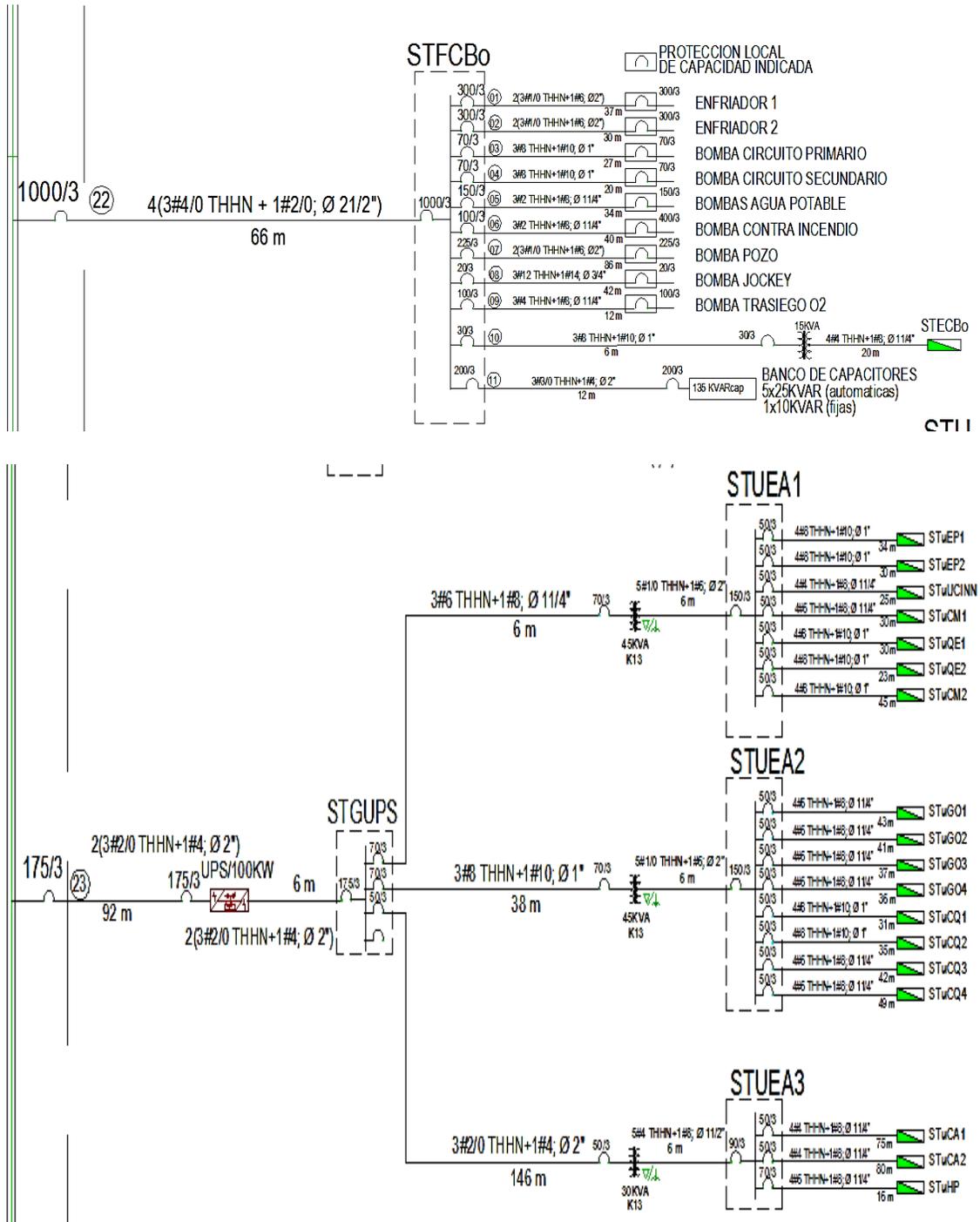


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

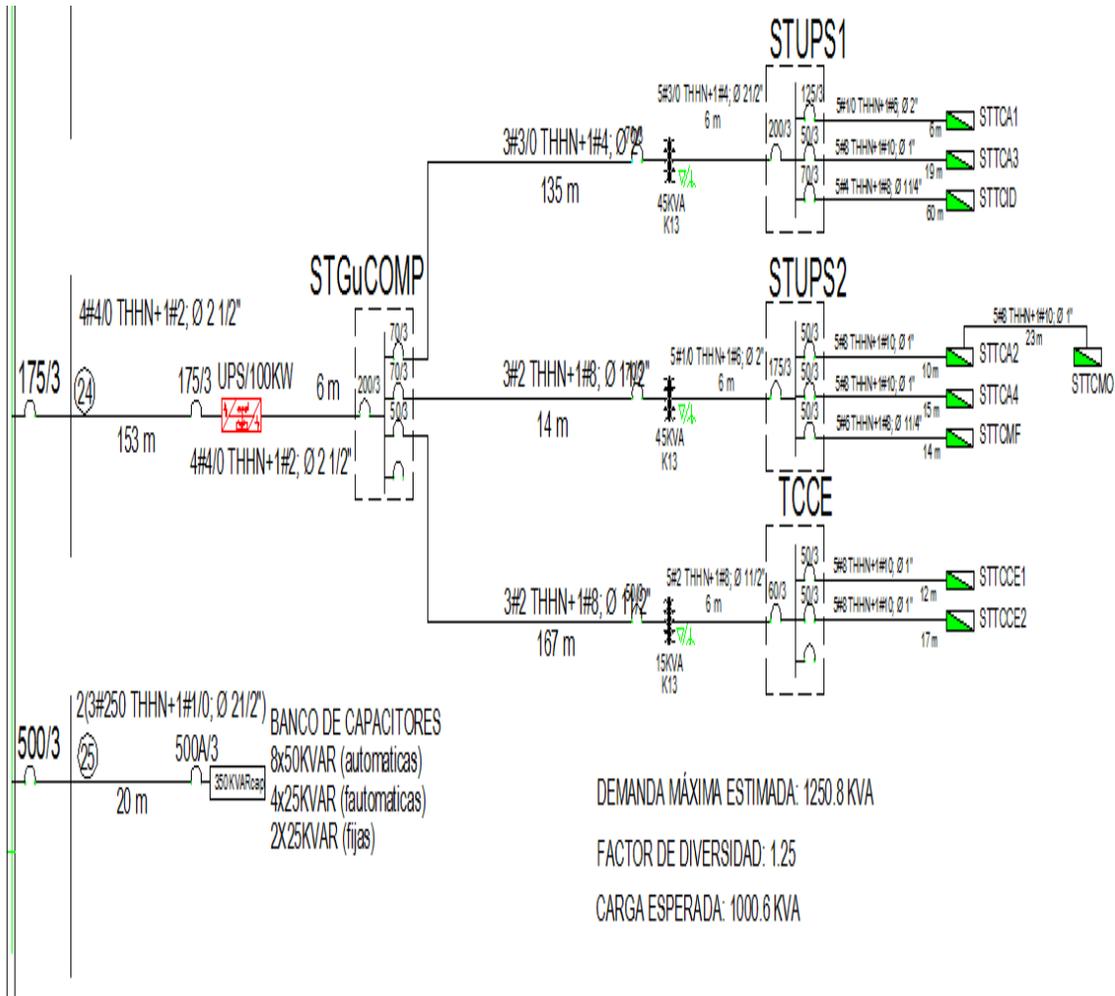
Se describió el calibre de conductores eléctricos, distancia y diámetro de tubería que comprende cada uno de los ramales del 1 al 21 de la primera división del diagrama unifilar del sistema de emergencia correspondiente al tablero general de emergencia. En los ramales no se indica el tipo de tubería, pero de acuerdo a la especificación técnica, en general toda la tubería deberá ser del tipo EMT, razón por la que no aparece indicada en el diagrama unifilar de los sistemas normal, emergencia y crítico.

A continuación, se presenta la segunda división del diagrama unifilar correspondiente al sistema de emergencia.

Figura 57. Diagrama unifilar tablero general de emergencia ramales del 22 al 25



Continuación figura 57.

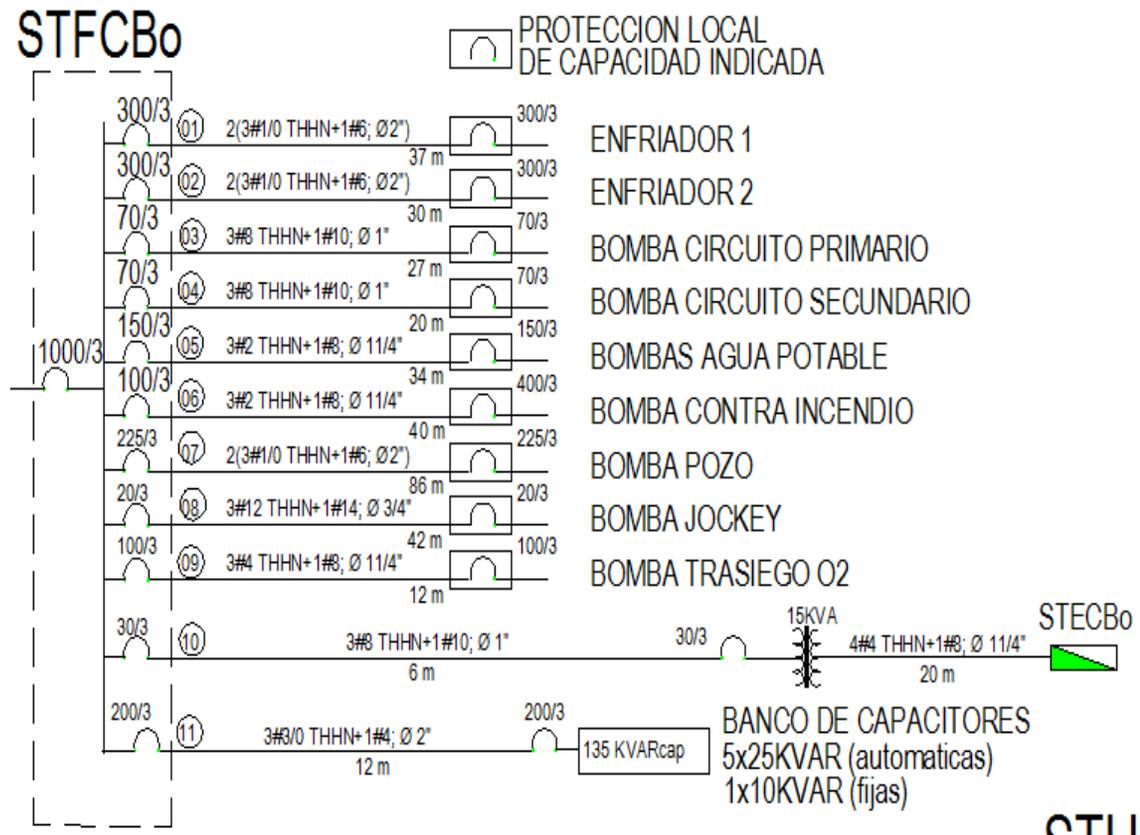


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

La segunda división del diagrama unifilar para el tablero general de emergencia (TGE) inicia desde el ramal 22 al ramal 25, que alimenta en voltaje 480 a cada tablero de distribución STFCBo, STGUPS, STGuCOMP y el banco de capacitores. Se observa los transformadores del tipo seco con factor K=13 que alimenta el sistema de distribución para cómputo, de 480 a 208 voltios en sistema trifásico hacia cada uno de los subtableros de distribución.

A continuación, se presenta de forma más amplia la descripción del contenido de los tableros de distribución que comprenden la segunda división.

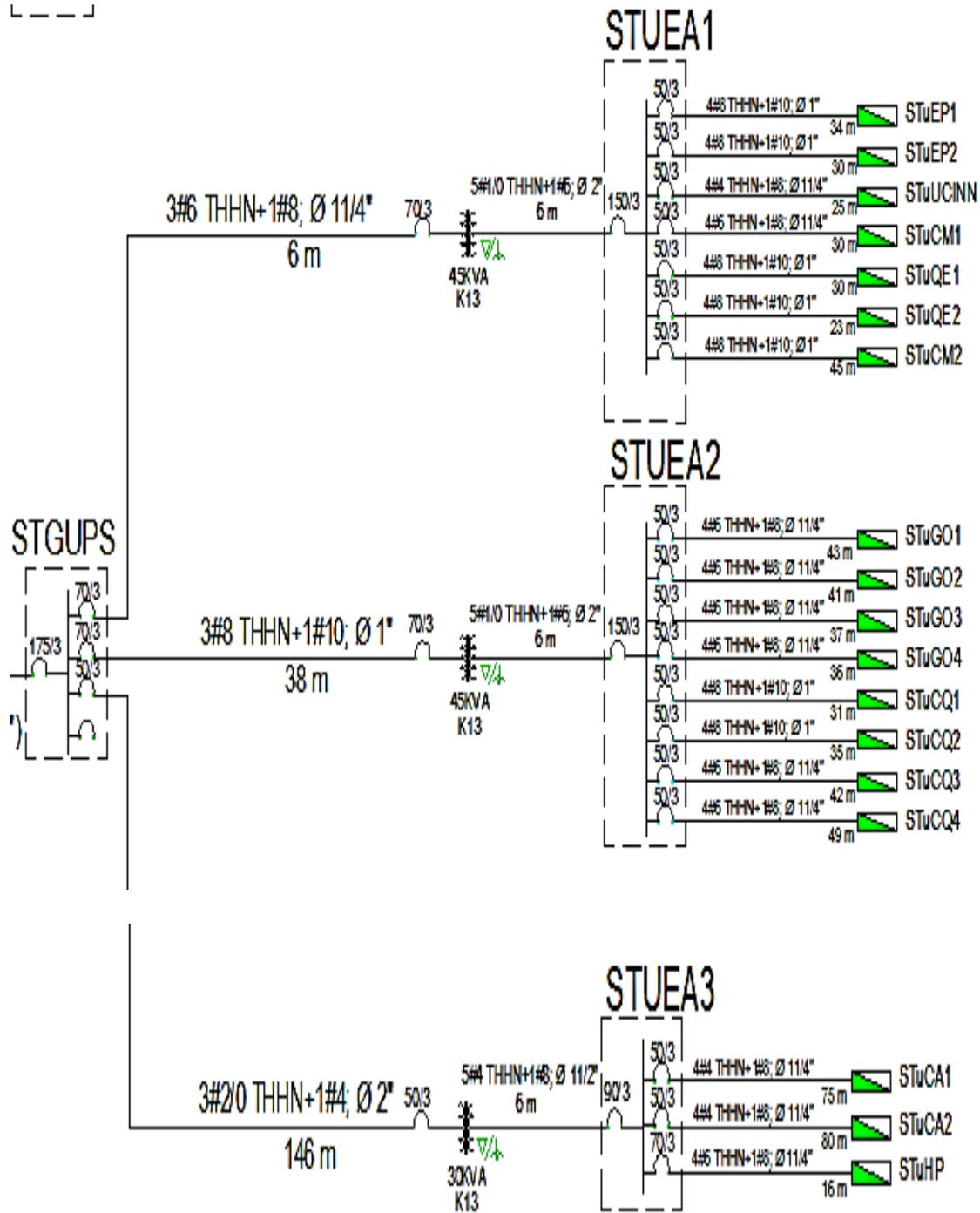
Figura 58. Diagrama unifilar tablero STFCBo



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

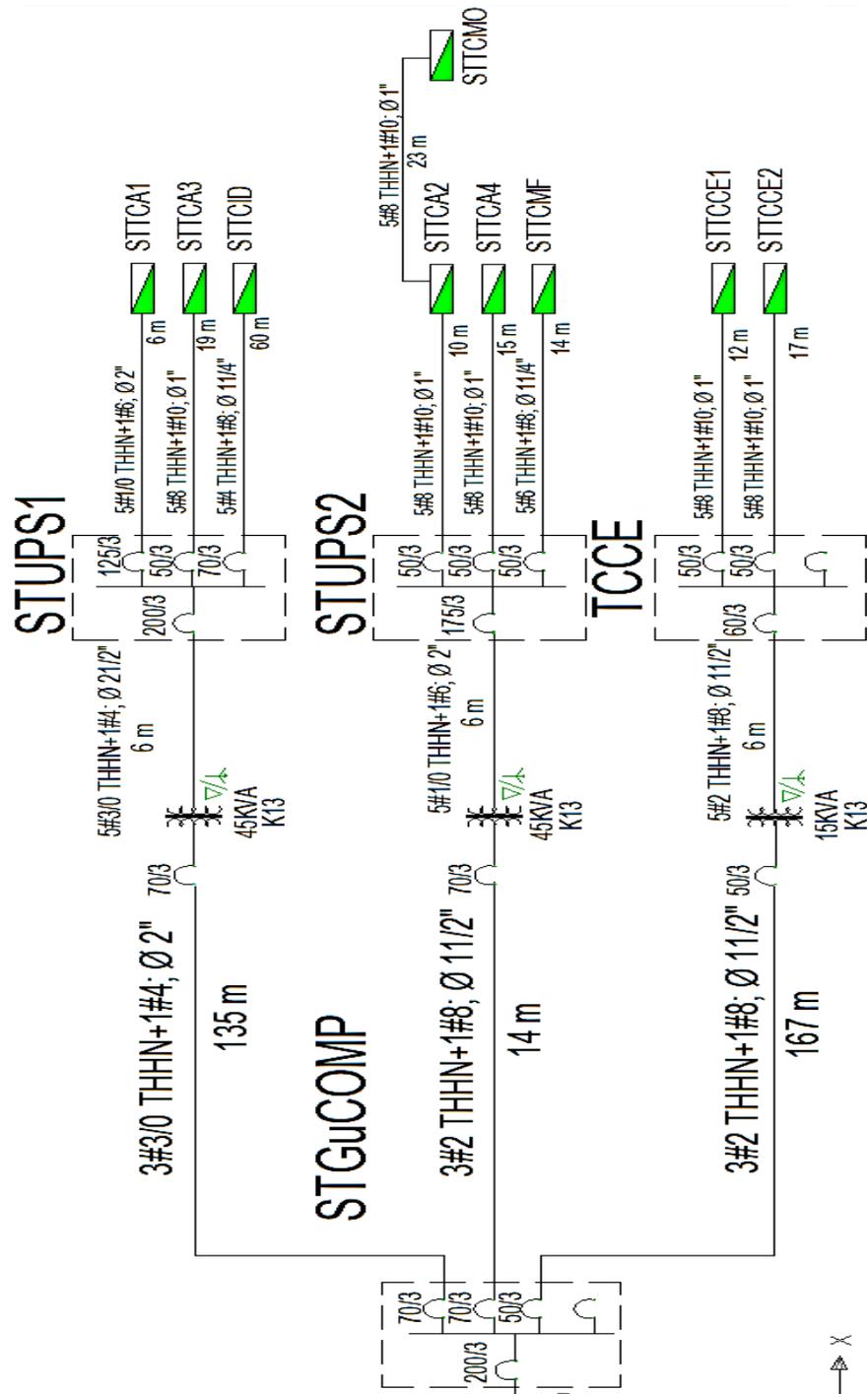
Se observa el diagrama unifilar para el subtablero de fuerza casa de bombas (STFCBo), el cual será analizado en la sección de diseño de circuitos de fuerza, en relación al cálculo para la capacidad de los conductores eléctricos y sus protecciones, de acuerdo a la capacidad de la corriente nominal de cada ramal según el equipo que se conectará. También se describirá el cálculo para el banco de capacitores.

Figura 59. Continuation diagrama unifilar tablero general de emergencia (TGE) segunda division, subtablero STGUPS



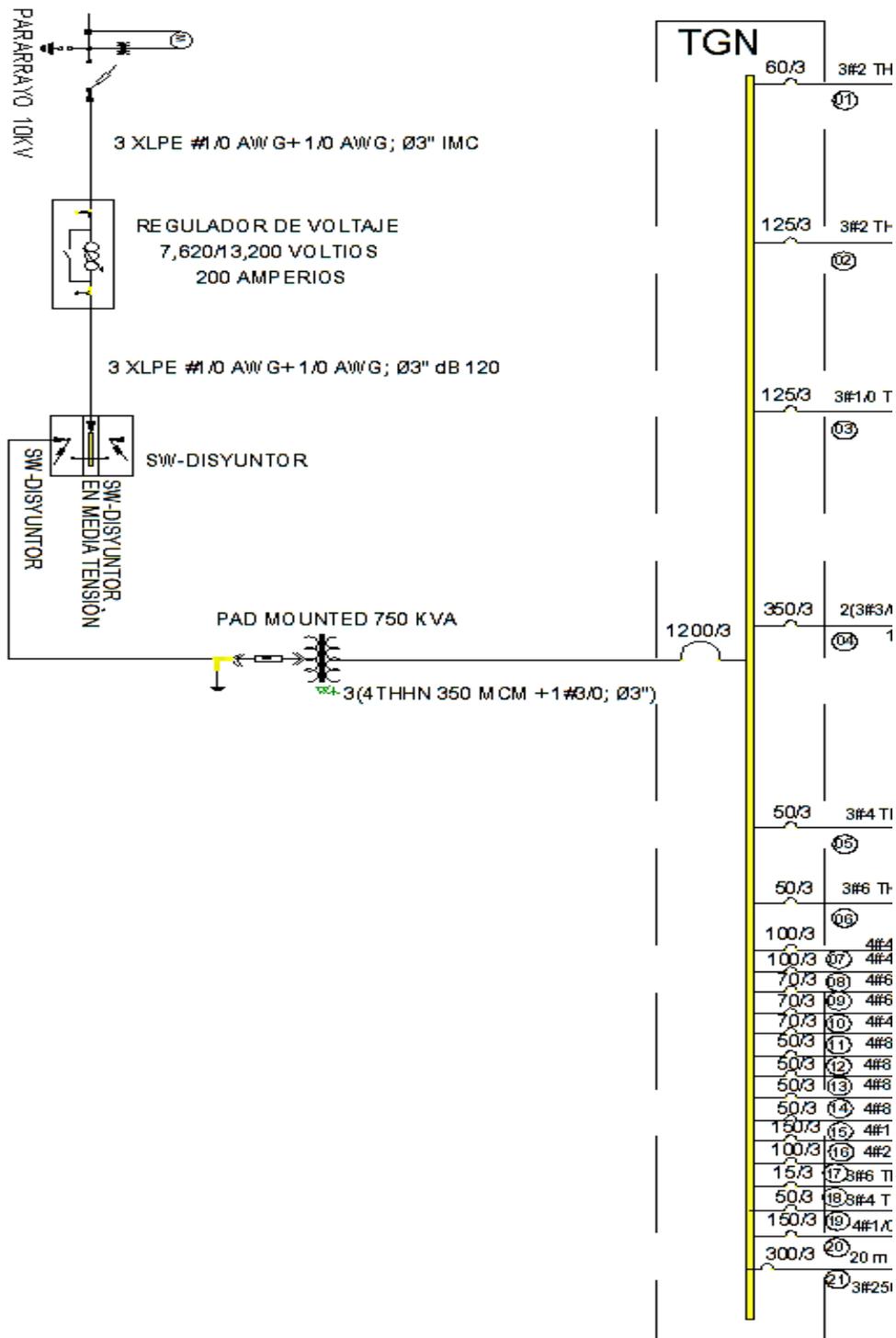
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 60. Continuación diagrama unifilar tablero general de emergencia (TGE) segunda división, subtablero STGuCOMP

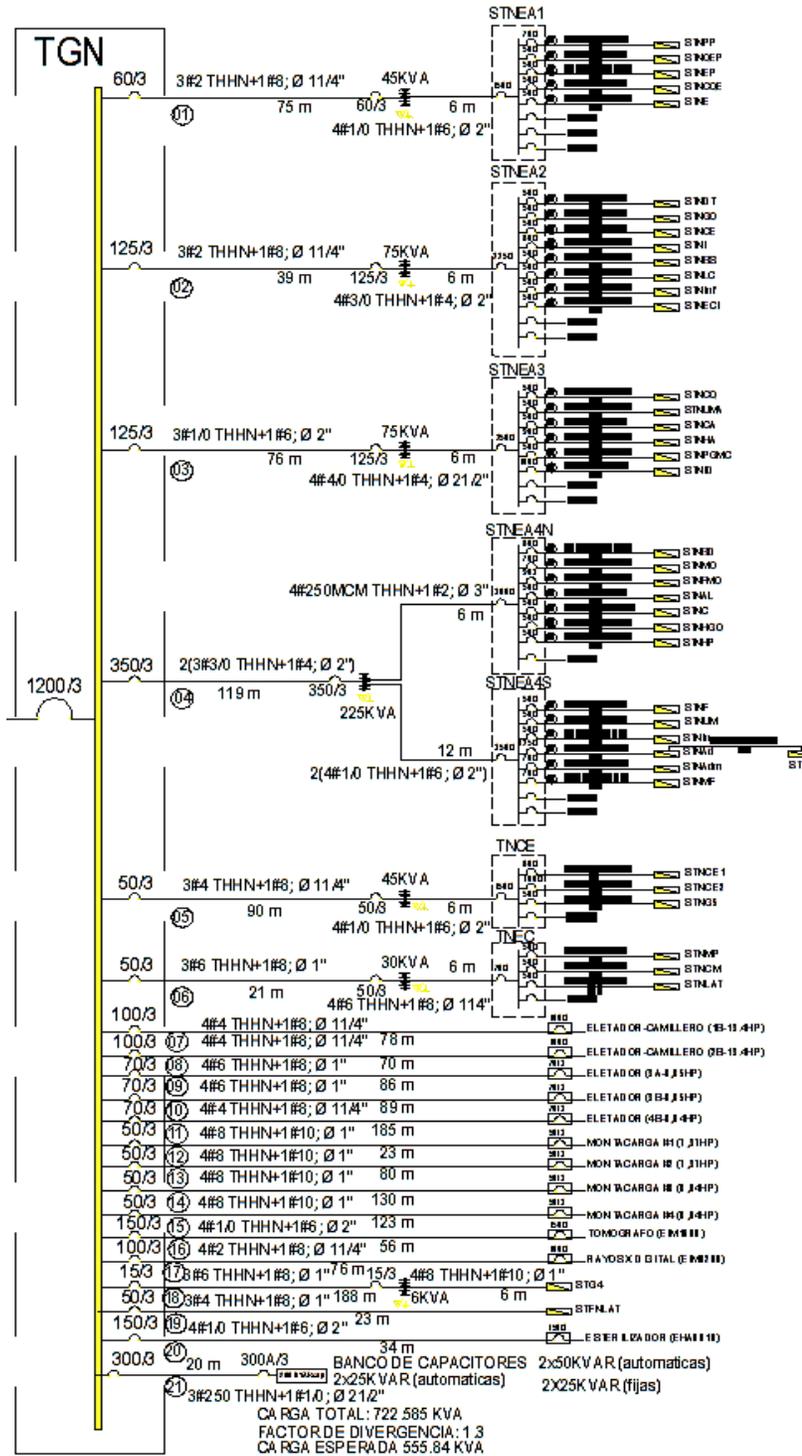


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 61. Diagrama unifilar sistema normal

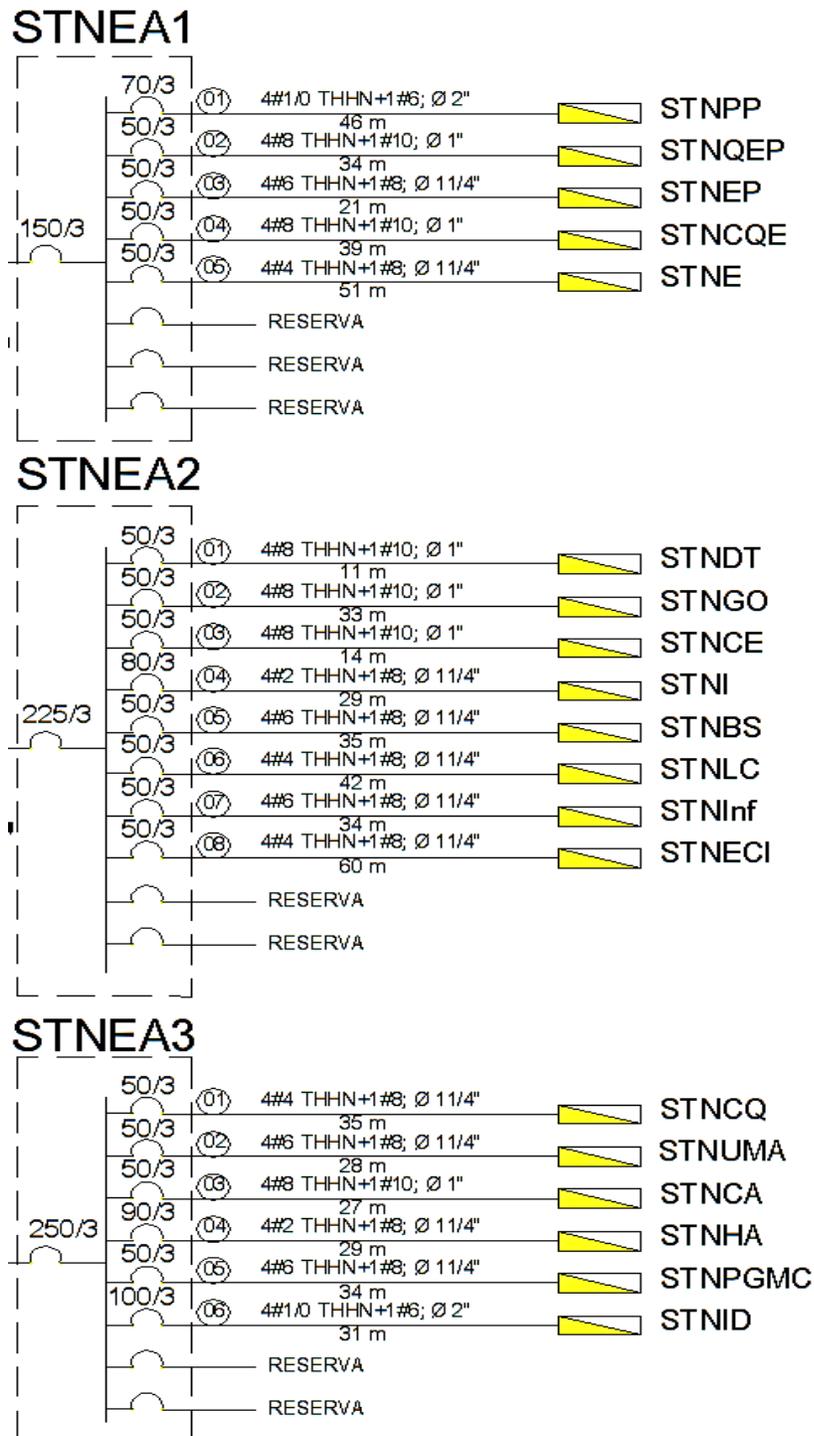


Continuación figura 61.



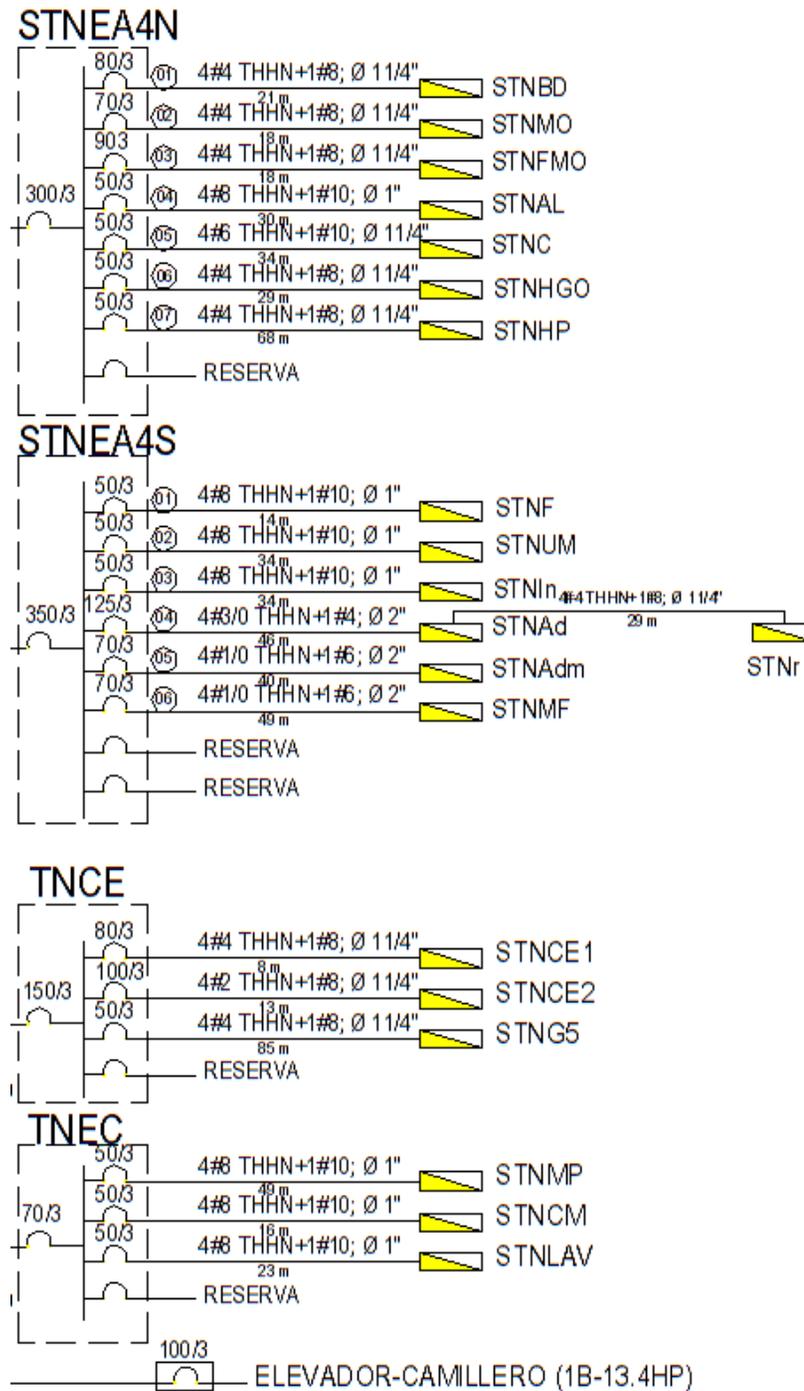
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 62. Diagrama unifilar tableros STNEA1, STNEA2 y STNEA3



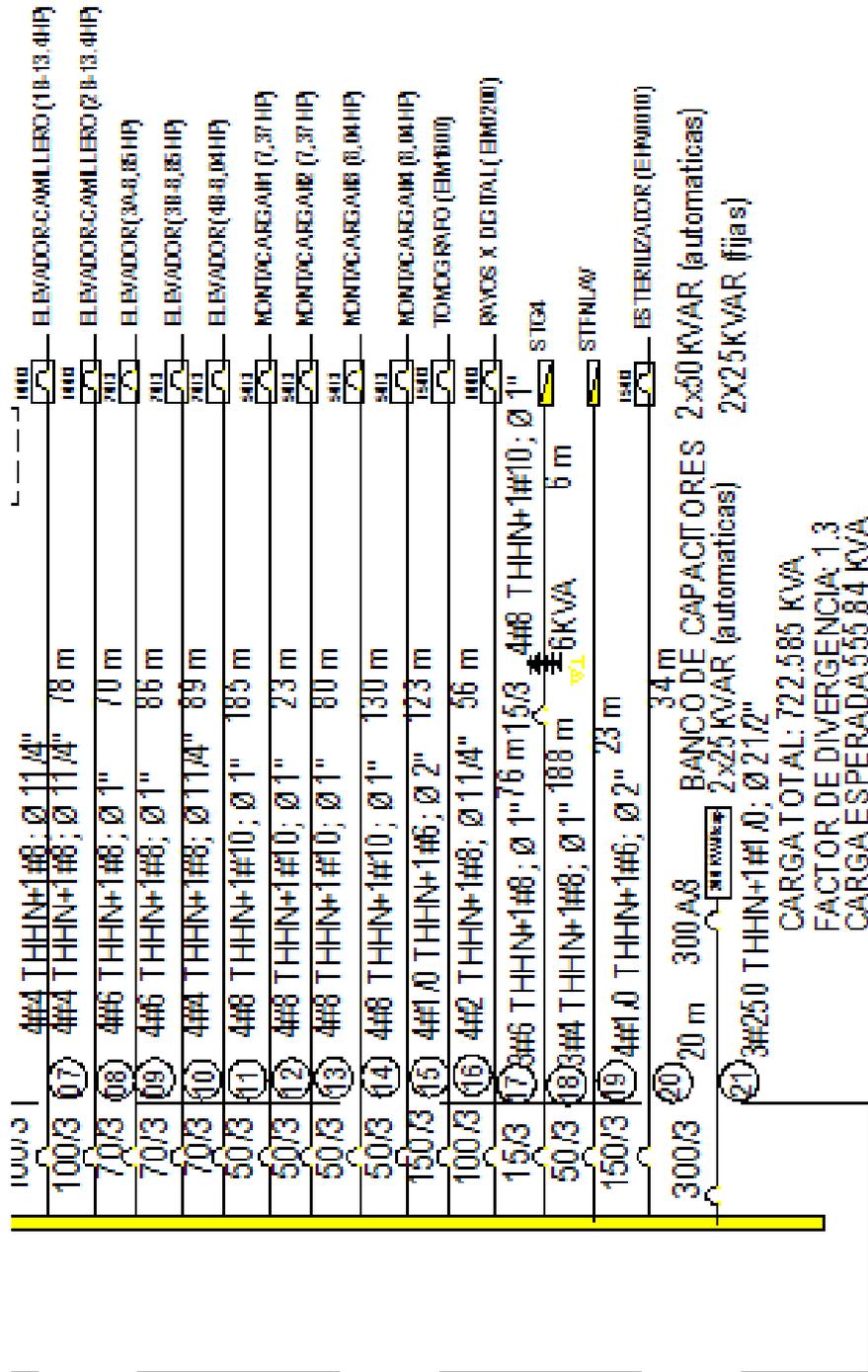
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figurar 63. Diagrama unifilar tableros STNEA4N, STNEA4S, TNCE y TNEC



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 64. Continuación diagrama unifilar sistema normal ramales del 6 al 21



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

### **3. METODOLOGÍA DE DISEÑO EN BAJA TENSIÓN 480/277 VOLTIOS ESTRELLA ATERRIZADA**

Para el desarrollo de esta metodología se presenta el diagrama de flujo, el cual analiza cada uno de los pasos para diseñar el sistema en baja tensión que alimentará al centro médico. El artículo 517 del NEC indica que se debe tener dos sistemas de suministro de energía para la alimentación del hospital, para así evitar la falta del servicio de energía eléctrica.

Debido a que un corte en la energía eléctrica en el momento de atención al paciente puede significar la vida del mismo, el sistema de emergencia estará compuesto también del sistema crítico. Este será alimentado por medio de un UPS principal, de manera tal que al fallar el sistema de energía, en un procedimiento de cirugía dentro de quirófanos, no sea detectable la falta del servicio proveído por la empresa suministradora, para que quede fuera de peligro la vida de los pacientes.

Los sistemas principales que serán analizados para el diseño son los siguientes: iluminación, toma de corrientes, fuerza. El sistema de tableros de distribución es el punto en donde se integran todos y serán alimentados por el suministro de energía eléctrica desde los tableros generales. Son clasificados en los sistemas de emergencia y normal, según lo indicado por el NEC en el artículo 517 de la norma NFPA 70.

A continuación, se describe el diagrama de flujo para la metodología de diseño en baja tensión con voltajes de operación 480/208 voltios, configuración de conexión estrella aterrizada. Se describe los procesos, métodos, cálculos para diseñar cada uno de los sistemas de alimentación eléctricos constituidos dentro del centro médico y son de suma importancia para la prestación de los servicios de salud, que brindarán un confort y pronta recuperación del paciente.

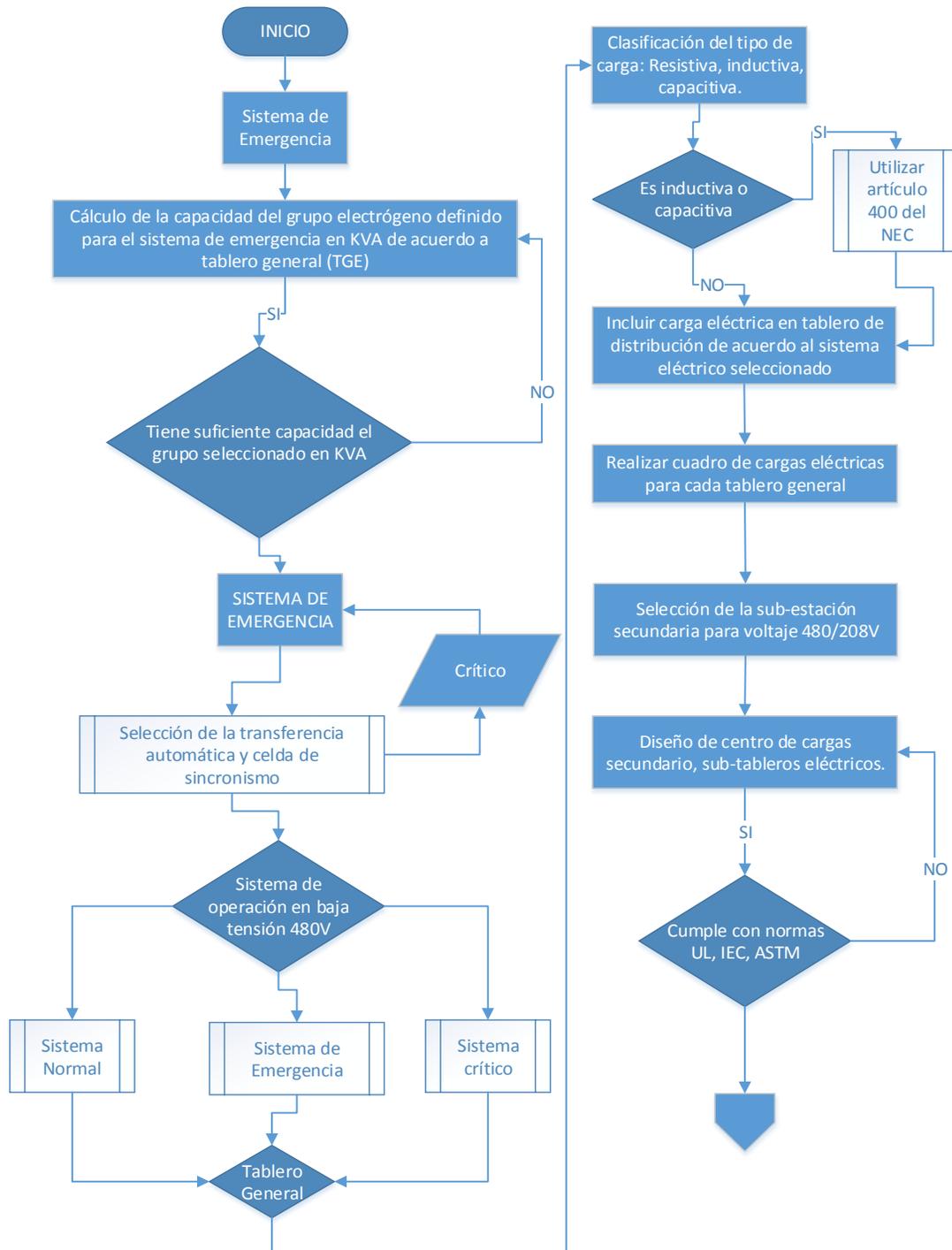
### **3.1. Sistema de emergencia**

Son los circuitos y equipos destinados a suministrar, distribuir y controlar el sistema eléctrico para la iluminación, tomas de corriente, circuitos derivados para equipos de fuerza y especiales para mantener energizada la instalación hospitalaria en caso de falla o ausencia de la energía eléctrica del sistema normal suministrada por la empresa distribuidora de energía eléctrica.

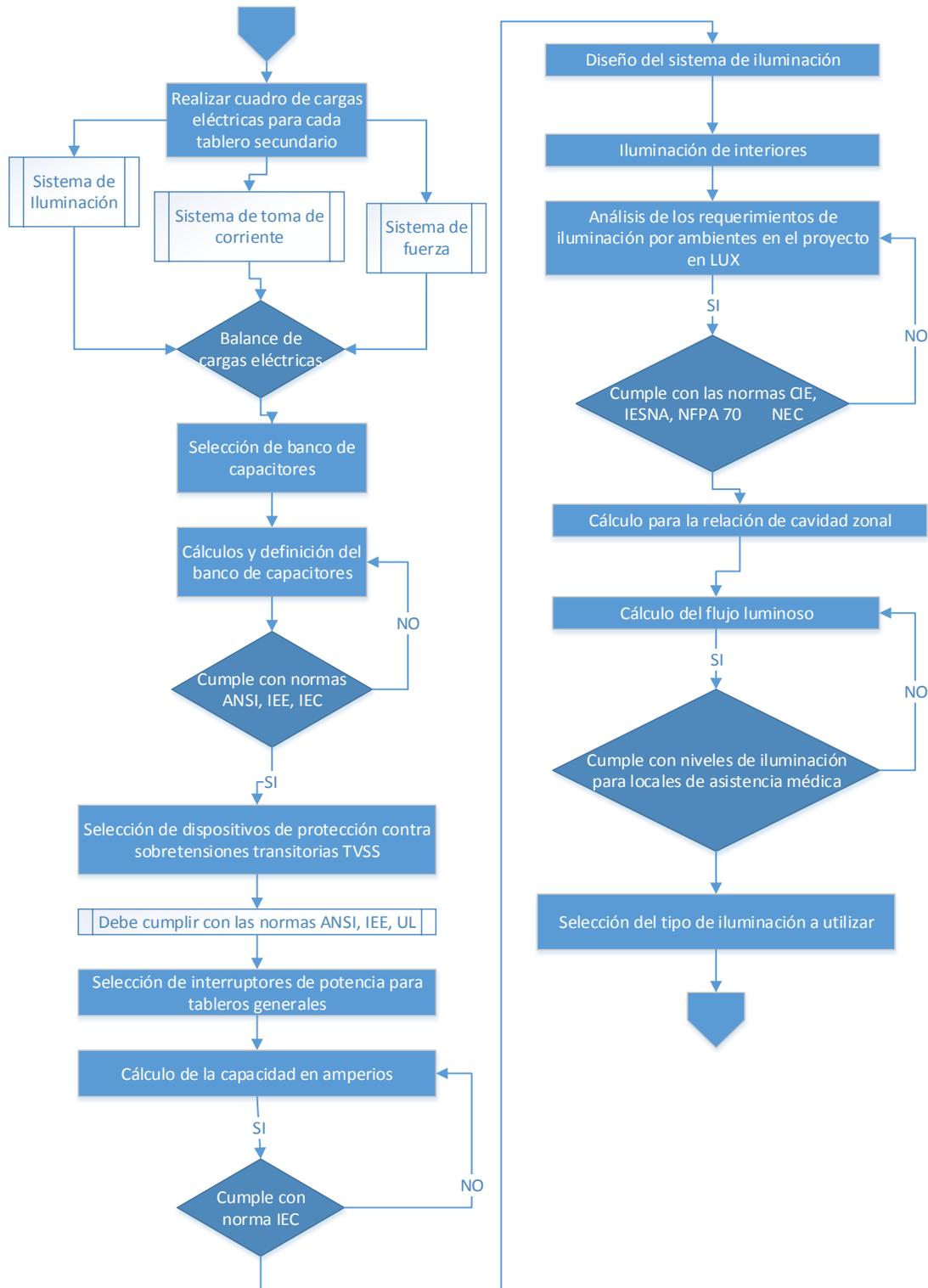
El NEC recomienda, en el artículo 517, la implementación de un sistema de emergencia para suministrar energía eléctrica al centro hospitalario en caso de falla del suministro. También el artículo 700 del NEC indica que la implementación del sistema de emergencia se aplicará a la seguridad eléctrica de la instalación.

El sistema de emergencia estará conformado por los grupos electrógenos que trabajarán en forma sincronizada y paralela para suministrar la energía que necesite el centro hospitalario en las condiciones de la ausencia del servicio de la empresa distribuidora.

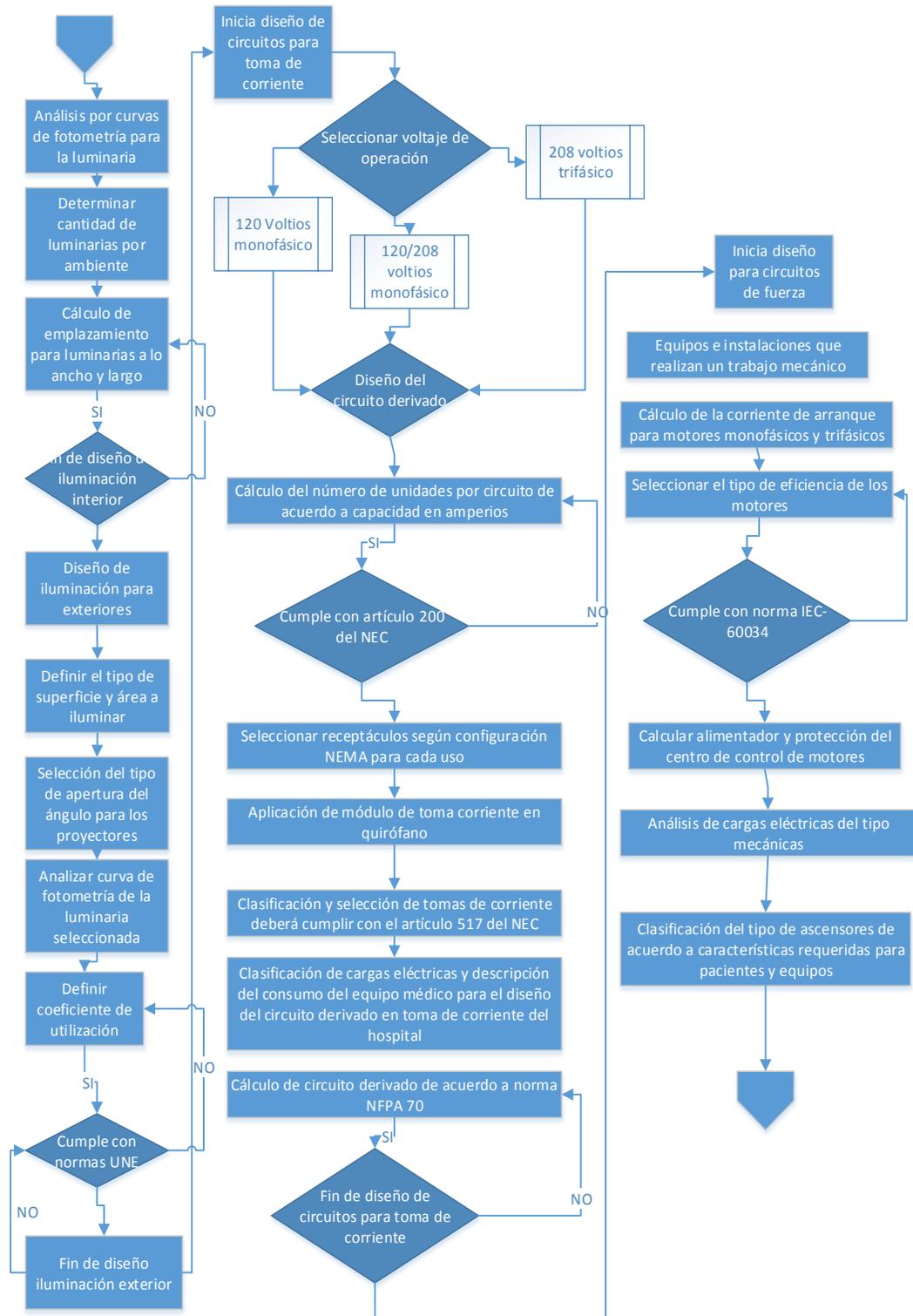
Figura 65. Diagrama de flujo para la metodología de diseño del sistema de distribución en baja tensión 480/208 voltios estrella aterrizada



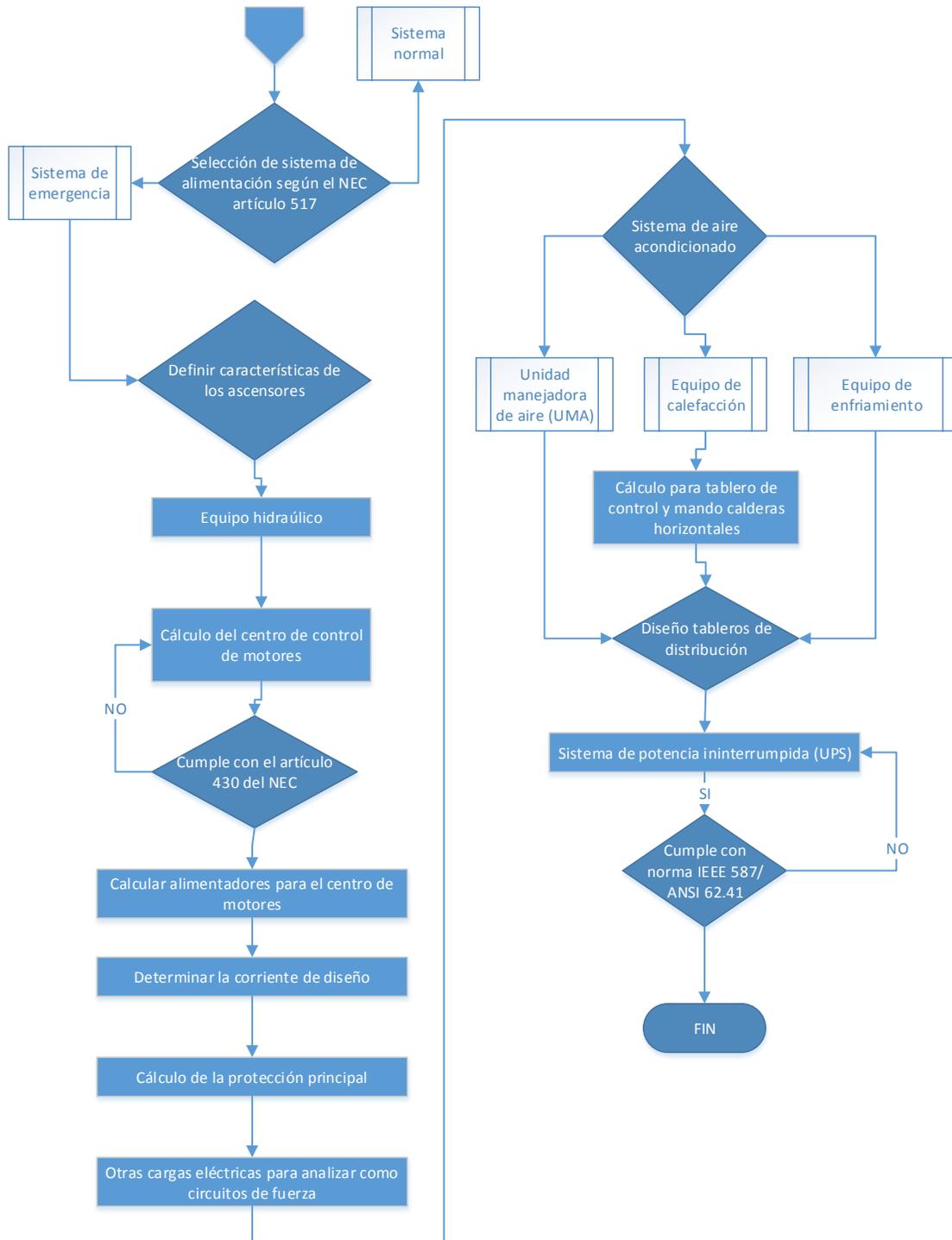
Continuación figura 65.



Continuación figura 65.



Continuación figura 65.



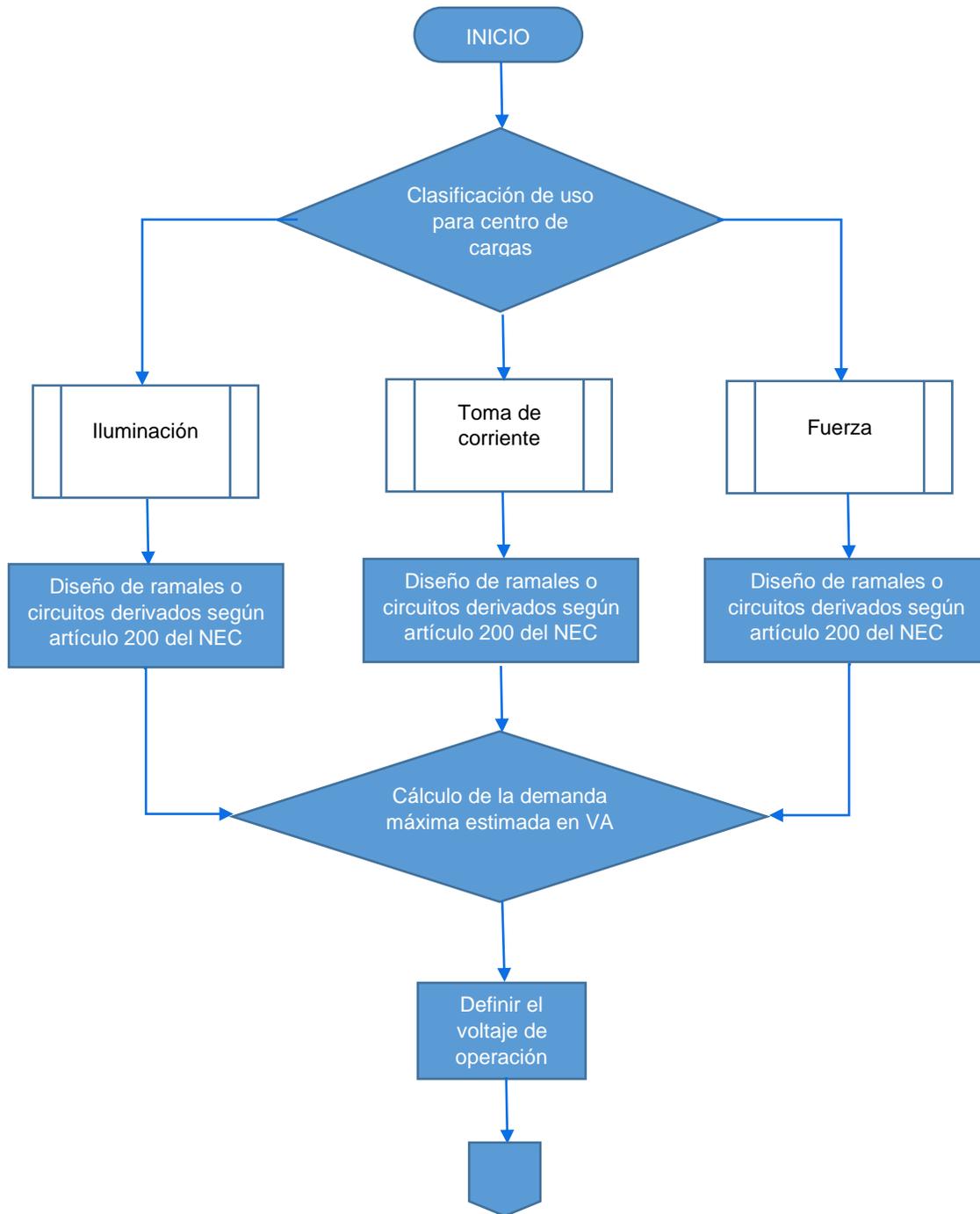
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Una vez definida la metodología de diseño del sistema de distribución en baja tensión 480/277 voltios estrella aterrizada, y los sistemas de iluminación, toma de corriente y fuerza, se procederá a realizar el cálculo y diseño de los tableros de distribución y los circuitos derivados. Estos serán alimentados por medio de un sistema de transformadores del tipo seco en forma radial para tener un voltaje de alimentación en el lado primario de 480 voltios y en el lado secundario de 208 voltios, y con este valor de voltaje alimentar a los tableros de distribución en voltaje 208/120 voltios trifásico. Se tendrá así disponible un voltaje de operación por fase de 120 voltios para alimentar las cargas eléctricas monofásicas para los diferentes tipos de sistemas.

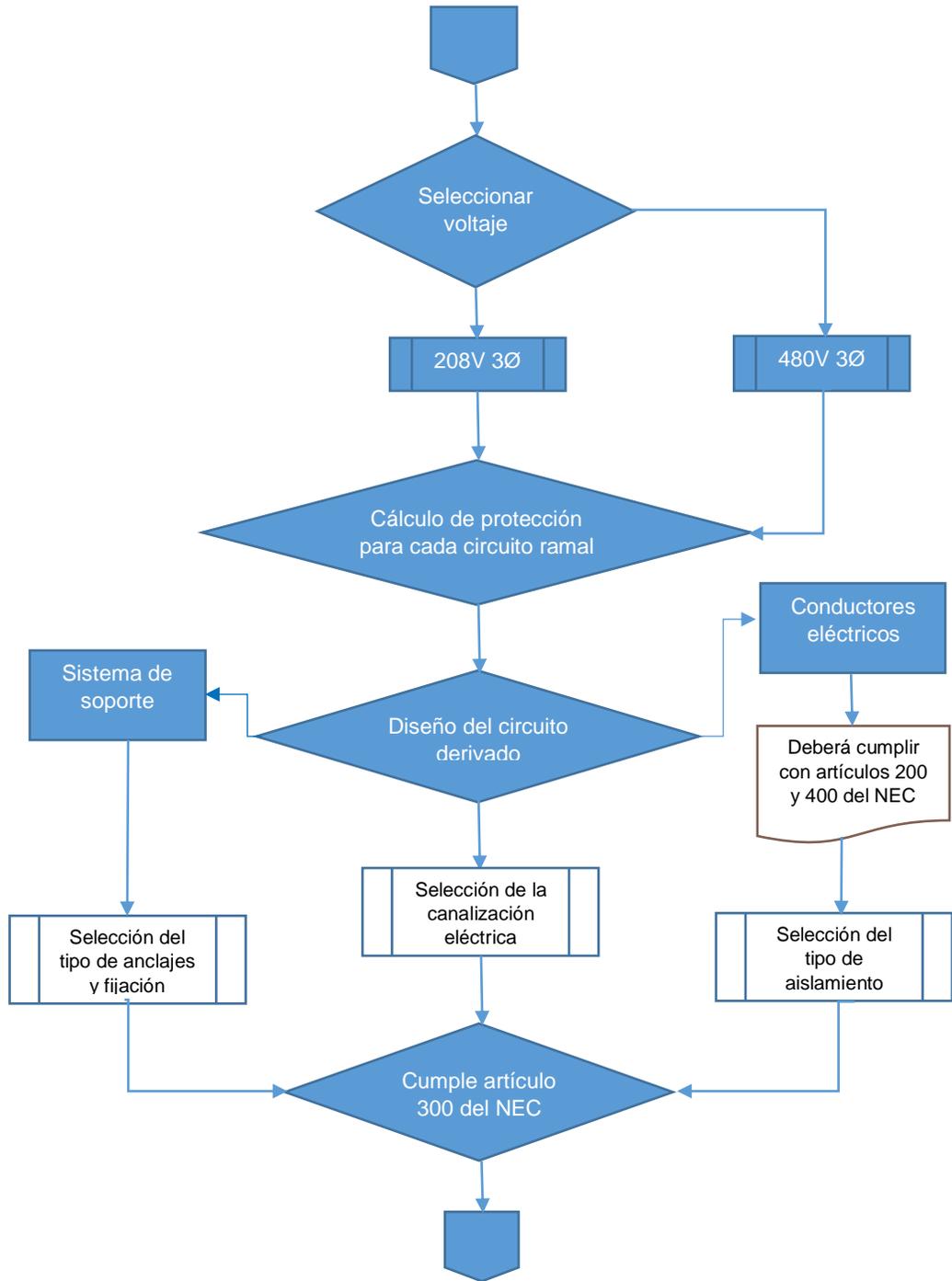
En la figura 66 se describe la metodología para el diseño de los tableros de distribución. Se ha contemplado el diseño de acuerdo al requerimiento del tipo de sistema que será alimentado eléctricamente. Se diseña con base en la carga instalada cada uno de los ramales, con su circuito derivado, tipo de canalización, conductores eléctricos, sistema de distribución en tuberías o bandejas adecuadas, según lo indicado en el Código Nacional Eléctrico (NEC).

El diseño para las diferentes protecciones por ramal, así como la protección principal, corriente de diseño, tipo de instalación, intemperie o interior, diseño mecánico, características mecánicas del tablero, barras de distribución, son según norma ANSI 61.

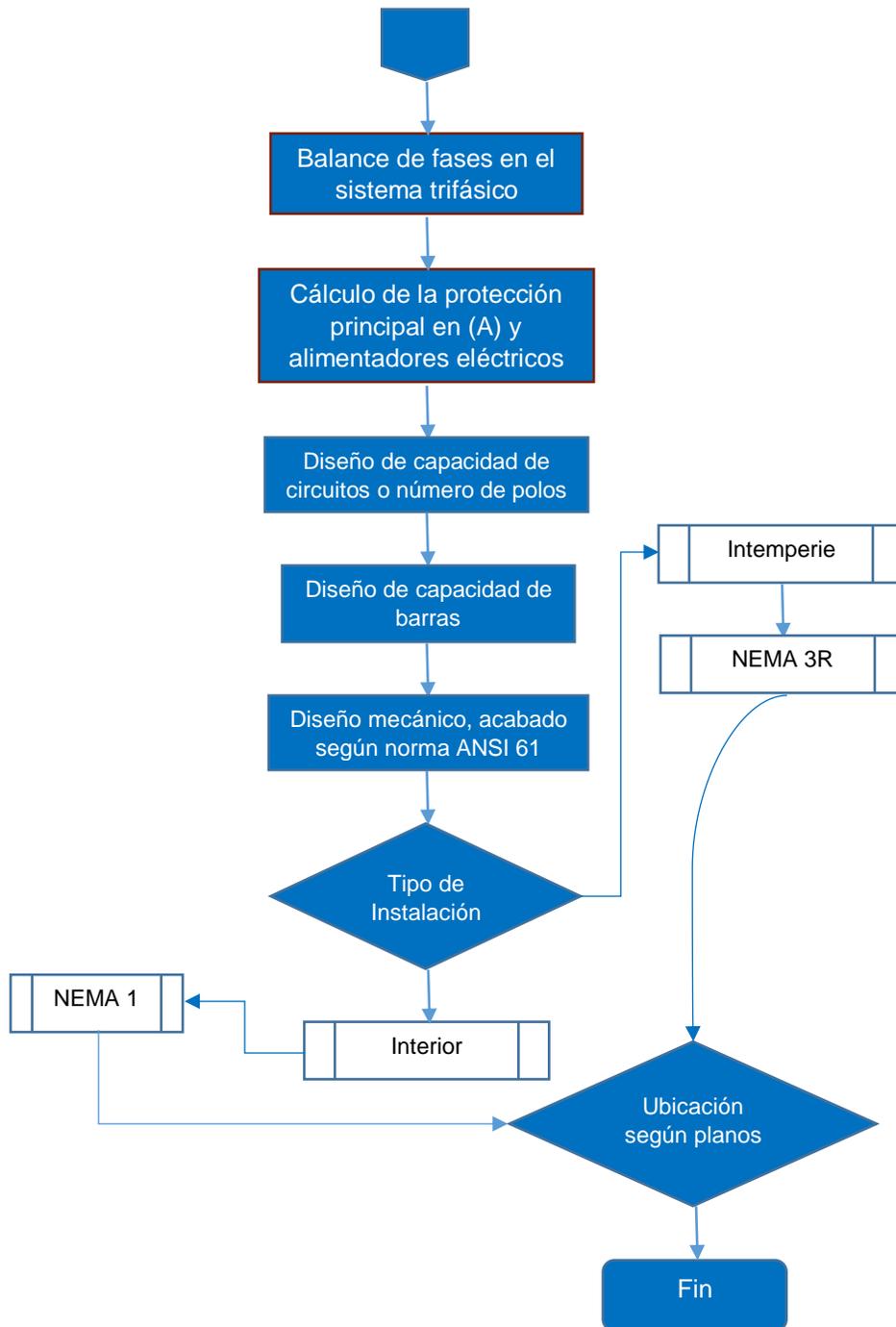
Figura 66. **Diseño de centros de carga o tableros de distribución**



Continuación figura 66.



Continuación figura 66.



Fuente: elaboración propia.

### 3.1.1. Grupos electrógenos (plantas eléctricas de emergencia)

Están constituidos por un generador síncrono de energía eléctrica de acuerdo a las siguientes características:

Tabla XXXV. **Características del motor de combustión diésel**

Descripción	Capacidad
Velocidad de operación	1 800 rpm
Frecuencia	60 Hz
Tensión de operación	480 voltios
Baterías para arranque	24 voltios DC

Fuente: elaboración propia.

Además, deberá de contar con radiador para mantener la temperatura estable, cargador de baterías, silenciadores del tipo crítico, tuberías de escape para gases de combustión, rieles estructurales, amortiguadores para disminuir las vibraciones. El grupo electrógeno se especifica en kVA y su motor en kW. La razón por la cual se especifica el grupo en kVA se debe a que no se conoce el factor de potencia de la carga que va a alimentar, ni la forma en que esta puede variar. De la tabla XXXII se obtiene el valor para  $S = 1\,451,431$  kVA.

Tabla XXXVI. **Cálculo para la capacidad del motor del grupo electrógeno**

Fórmula	Descripción
$P = S \cdot 0,8$	P: Potencia activa (kW)
$P = 1\,451,431 \cdot 0,8$	S: Potencia aparente (kVA)
$P = 1\,161\,144,8 \text{ W} = 1\,161,145 \text{ kW}$	0,8: Factor de potencia

Fuente: Norma NFPA 70.

El grupo debe estar siempre en compás de espera para arrancar tan pronto sea requerido al momento de una falla en el suministro eléctrico. No deberá pasar mucho tiempo en el proceso de encendido, por lo que deberá utilizar resistencias de precalentamiento.

Los grupos electrógenos tienen limitaciones, debido a que no se entregará el 100% de la potencia indicada en la placa. Para el cálculo se tomará un valor entre el rango de 70% a 80% de la capacidad total, que es el máximo rendimiento de un motor de su potencia nominal. De esta manera, se evitarán daños por sobreesfuerzo en las partes mecánicas o vida del motor. El grupo eléctrico estará diseñado para alimentar el sistema eléctrico de emergencia, por lo que su clasificación será en *standby*.

Para evitar que un grupo eléctrico trabaje con carga mínima y este sea calculado con una capacidad grande, se diseñará el sistema utilizando dos grupos y se procederá a establecer la capacidad requerida del grupo eléctrico. De esta manera, en caso de falla de uno de ellos no quedará desprotegida la instalación. A continuación, se analizará la carga instalada en el sistema de emergencia del centro hospitalario que será alimentado por el grupo.

Se realiza el cálculo con la información obtenida de la capacidad de potencia requerida por el sistema de emergencia (ver tabla XXXVII), el cual será suplido al momento de presentarse una falla en el sistema de distribución eléctrico exterior, de acuerdo con el artículo 517 del NEC 2011, para el centro hospitalario.

Tabla XXXVII. **Determinación de la capacidad del grupo electrógeno**

<b>Capacidad del grupo electrógeno en kW</b>	<b>Factores que intervienen en la capacidad del grupo electrógeno</b>
$1\ 161,145 / 0,8 = 1\ 451,431$	Potencia nominal del motor 80%
$1\ 451,431 / 0,9 = 1\ 612,701$	Pérdidas por ventilación, filtros, lubricantes, combustibles, mantenimiento, etc. Tipo: 10%
$1\ 612,701 / 0,95 = 1\ 697,580$	Pérdidas con turbo compresor. Tipo 5%

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la tabla XXXVII, el valor para la capacidad nominal del grupo electrógeno corresponde a 1 697 580 watts, por lo que en el diseño se utilizarán dos grupos con una capacidad de 1 000 kW cada unidad.

Figura 67. **Grupo electrógeno de 1 000 kW**



Fuente: elaboración propia.

El sistema de emergencia estará conformado por dos grupos electrógenos de igual capacidad, que trabajarán en forma sincronizada y paralela para suministrar la energía que necesitará el hospital en las condiciones de la ausencia del servicio de la empresa distribuidora.

Para el diseño de los grupos electrógenos se deberán de cumplir con las siguientes características:

- Capacidad nominal 1 000 kW / 1 250 kVA
- Sistema trifásico
- Tipo de operación: *standby*
- Frecuencia de operación: 60 Hz
- Voltaje de operación: 480 voltios
- Regulación automática: 1%
- Factor de potencia: 0,8
- Tipo de conexión: en estrella
- El generador del grupo electrógeno será de campo giratorio
- Motor diésel de 16 cilindros, 1 800 rpm
- Enfriado por líquido y de arranque eléctrico
- Formando ambos una sola unidad
- El generador podrá trabajar con una sobre carga no mayor de 10%, durante una hora continua
- Deberá ser a prueba de goteo NEMA clase A

Accesorios que deberán contener los grupos electrógenos:

- Paneles de transferencia automáticos
- Baterías de 24 voltios 220 amperios/hora para encendido
- Cargador de baterías para 24 voltios
- Voltímetro, amperímetro y *switch* selector de fase
- Medidor de frecuencia
- Medidor de horas de operación
- Panel de alarmas indicadoras
- Silenciadores tipo hospitalario
- Tanque para diésel de 500 galones
- El color del tanque para diésel deberá de cumplir con lo indicado en la norma NFPA 704 (color amarillo tostado) y tener el rombo. El contenido del rombo deberá indicar los números de los riesgos, de acuerdo con NFPA 704.

Figura 68. **Silenciador tipo hospitalario para el grupo electrógeno**

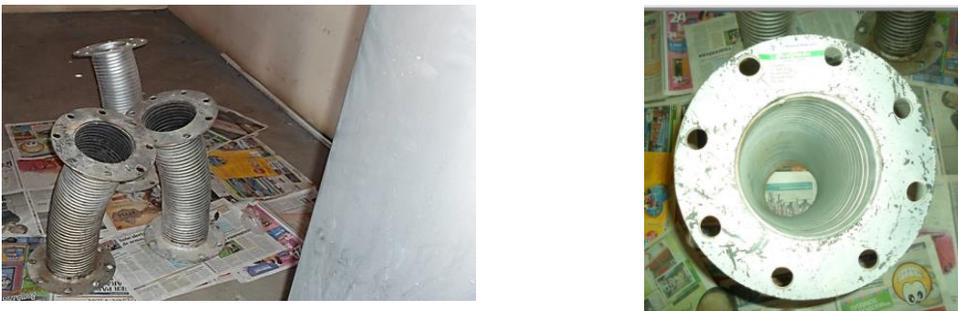


Fuente: elaboración propia.

El silenciador para el grupo electrógeno deberá de ser del tipo hospitalario. Para atenuar los niveles de ruido emitidos por el sistema de escape, también deberá de ser del tipo crítico.

En la siguiente figura se observa los tubos flexibles o fuelles que absorben la vibración generada por el grupo electrógeno para realizar el acople hacia los silenciadores, el cual deberá ser instalado en forma flangeada para obtener un acople seguro.

Figura 69. **Tubos flexibles para el acople hacia el silenciador**



Fuente: elaboración propia.

El sistema de escape deberá ser diseñado para transportar y desalojar los gases producto de la combustión, como resultado del trabajo del motor. Se deberá considerar:

- El diámetro del tubo de acuerdo a la capacidad de la máquina y el diámetro de salida de los gases de escape de la misma.
- La instalación se deberá proyectar para que tenga el menor número de curvas.
- Se deberá proyectar para que no tenga una longitud excesiva en caso de que no sea necesario.
- Deberá de tener las curvas del tipo de radio largo.
- Se debe incrementar el diámetro de la tubería en una pulgada cada 7 metros de longitud.

### **3.1.2. Paneles de transferencia**

Los paneles de transferencia deberán de operar en sincronismo, el cual consiste en un sistema que nos permitirá conectar un grupo electrógeno o los dos grupos electrógenos, hacia la red de distribución eléctrica.

Para cubrir el requerimiento de la energía eléctrica necesaria y hacer eficiente la instalación, se diseñará un sistema de sincronismo con dos grupos electrógenos entre sí y con la red comercial, para dar servicio a un barraje de distribución común.

Se requiere de equipos especiales electrónicos, cuya función será monitorear y controlar el funcionamiento de los grupos de generación y la transferencia automática o conexión de los mismos al sistema de distribución.

Para que exista la comunicación de dos vías entre los controladores, motores y generadores de los grupos, se necesitan módulos de interface que permiten recibir información del funcionamiento de los motores y generadores. Esta información será procesada por los sistemas de control de sincronismo, para dar respuesta y ajustar el funcionamiento de los grupos.

Por medio de los controladores se recibirá la información veraz y eficaz del funcionamiento del motor, generador y de la carga, por lo que se puede programar, monitorear y diagnosticar todo el sistema y la operación del mismo.

Lo más importante es que a través de estas interfaces se puede sincronizar, e igualar las frecuencias y los voltajes, que son las condiciones indispensables para el sincronismo.

Figura 70. **Celdas para sincronismo entre grupos generadores**



Fuente: <http://www.stmeu.com>. p. 2. Consulta: 20 de junio de 2016.

En la figura número 70 se observa el gabinete para sincronismo auto soportado, con paneles modulares, iluminación y ventilación interior.

Provisto de controladores *ComAp IntelliGen nt*, de construcción europea, compacta con sincronizador incorporado, repartidor de carga isócrono digital, el cual permite una solución total integrada para grupos electrógenos de emergencia en paralelo en isla o en paralelo a la red.

Los paneles de transferencia serán automáticos y tendrán suficiente capacidad para proteger las cargas, tanto inductivas como resistivas, de la pérdida de la continuidad del sistema normal. Las transferencias deberán dar completa protección al sistema y tendrán las siguientes características técnicas de acuerdo al diagrama unifilar.

Para el sistema de emergencia:

- Capacidad: 1 600 amperios
- Voltaje de operación: 277/480 voltios
- Ciclos: 60 Hertz

Para el sistema crítico:

- Capacidad: 400 amperios
- Voltaje de operación: 277/480 voltios
- Ciclos: 60 Hertz

Cada panel deberá transferir automáticamente los circuitos al suministro de la planta de emergencia después de la falla del suministro normal. Luego retransferirá automáticamente al restaurarse el suministro normal.

El equipo deberá ser un dispositivo mecánicamente mantenido o agarrado, con dos interruptores termomagnéticos accionados por un operador lineal de transferencia común para proveer acción de interruptor de dos vías, y con la opción de accionarlo manualmente.

Deberá ser entrecerrado mecánicamente de manera tal que una posición neutral no sea posible cuando esté en operación o eléctrica. Tampoco deberá poder conectar simultáneamente circuitos de carga normal y de emergencia.

El panel deberá contar con relevadores sensibles con campos de voltaje ajustable y estar provisto de monitores para cada fase. Cuando ocurra una caída de voltaje en cualquier fase abajo del valor de disparo establecido del relevador, este deberá de iniciar la transferencia de carga. Tan pronto como el voltaje se haya restablecido en cada fase y tenga un valor superior al de referencia predeterminado, deberá de iniciarse la retransferencia.

Todos los accesorios usados con los interruptores de transferencia deberán ser montados directamente en el gabinete cerrado del panel de transferencia. Todos los accesorios y equipos deberán ser accesibles por el frente para facilidad de mantenimiento.

La unidad deberá estar provista con un *switch* de prueba para simular ausencia de voltaje en las líneas y probar la operación del tablero de transferencia. Deberá contar con un contacto para hacer funcionar el circuito de arranque de la máquina cuando haya una interrupción del servicio normal.

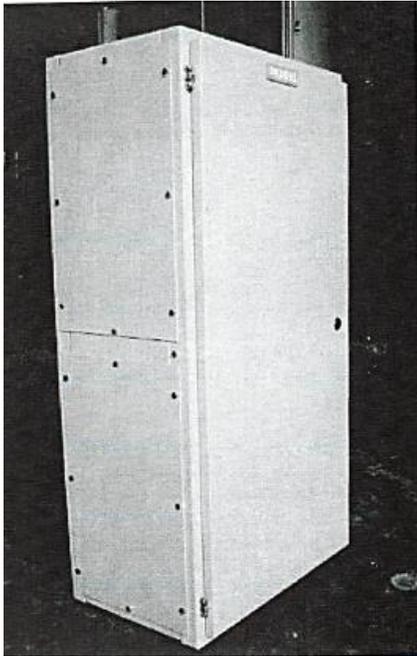
El tablero deberá estar en lista UL 1 008 (equipo interruptor de transferencia) y aprobado por ASA y contará con los siguientes accesorios:

- Retardador de tiempo de normal a emergencia, ajustable de 0,2 a 60 s
- Retardador de tiempo de emergencia a normal, ajustable de 30 segundos a 30 minutos
- Relevador de sobrefrecuencia para la fuente de emergencia
- Relevador de bajo voltaje para la fuente de emergencia
- Relevador de sobre voltaje para la fuente de emergencia
- Probador de botonera (en la cubierta del panel) estándar
- Interruptor selector en la cubierta del panel
- Luces indicadoras del sistema que está operando
- Ejercitador de la planta sin interrupción de la alimentación normal, ajustable de 0 a 168 horas

El panel de transferencia para el sistema crítico deberá de cumplir con la siguiente descripción: Transferencia automática de 400 A. 277/480 voltios, 5 hilos en gabinete tipo GT que consta de lo siguiente:

- Contactores tipo 3RT para 300 amperios enclavados eléctricamente y mecánicamente que ejecutan la transferencia entre el servicio normal y el grupo electrógeno del sistema crítico.
- Barra de carga común trifásica 500 amperios, neutro y polarización
- Luces piloto de operación para Red y planta eléctrica de emergencia
- Relé protector de bajo y alto voltaje y falla de fase para ambos sistemas
- Pulsador tipo hongo de paro de emergencia
- Manetas de dos posiciones para hacer prueba de sistema bajo carga, selección manual automático y selección Red - O - Planta
- Lámpara de señalización de funcionamiento de red o planta
- Voltaje de control a 230 VAC
- El sistema de control es por medio de mini PLC tipo LOGO

Figura 71. **Gabinete tipo GT**



Fuente: elaboración propia.

En este tipo de gabinete será instalado el equipo para la transferencia automática de 400 amperios. El gabinete cumple con los siguientes datos técnicos:

- Tensión normal AC 1 000 V / DC 600 V
- Intensidades nominales de las barras colectoras que se pueden instalar 400A, 630A, 1 000A, 1 200A, 1 600A
- Capacidad de corto circuito de las barras colectoras 110 kA para 1 600A
- Frecuencia 50/60 Hz
- Grado de protección según IEC IP40 / IP55, NEMA 1

El panel de transferencia para el sistema de emergencia deberá de cumplir con la siguiente descripción: Transferencia automática de 2 000A, 480/277V, 5 hilos en gabinete tipo 8MF IP40 que consta del equipo siguiente:

- Interruptores tipo 3WL motorizados con disparador electrónico de sobre corriente ETU 485, regulables 1 200 – 2 000A enclavados eléctricamente y mecánicamente que ejecutan la transferencia entre el servicio normal y el sistema de emergencia
- Barra de carga común trifásica 2 000A, neutro y polarización
- Luces piloto de operación para red y planta
- Relé protector de bajo y alto voltaje y falla de fase para ambos sistemas
- Pulsador tipo hongo de paro de emergencia
- Maneta de dos posiciones para hacer pruebas de sistema bajo carga
- Maneta de selección manual – automático
- Pulsadores de conexión de interruptores de red y planta
- Voltaje de control a 230 VAC
- El sistema de control es por medio de autómatas programables tipo SIMATIC S7-200

Figura 72. **Gabinete tipo 8MF**



Fuente: *Cátalogo Siemens sivacon power distribution boards, busway system and cubicle systems*. Consulta: 22 de junio de 2016.

El sistema cubículo 8MF es adecuado para el montaje de los dispositivos y equipos que se utilizan en los campos de la tecnología de control electrónico y convencional y dispositivos de distribución de baja tensión. El diseño permite a los sub-bastidores que se instalen para la colocación de varios componentes del sistema electrónico industrial de 19 pulgadas o de la rama que son adecuados para la distribución de energía.

Figura 73. **Interruptor tipo 3WL motorizado**



Fuente: Catálogo Siemens sistemas y productos especializados para la industria. p. 5.

Consulta: 22 de junio de 2016.

El interruptor tipo 3WL motorizado de Siemens tiene las siguientes características:

- 3 polos, tamaño tipo II, IEC
- Corriente nominal: 2 000A a 690V, AC 50/60Hz
- Corriente de corto circuito ICU = 80kA, AT 500V

## **3.2. Sistemas de operación en baja tensión**

Consiste en la distribución de energía eléctrica para cada uno de los sistemas normal, emergencia y crítico que energizan el centro hospitalario. Se realiza por medio de tableros generales, circuitos derivados que energizan las cajas NEMA tipo 1 y 3R, y tableros de distribución que operan equipos en una tensión de 480V. Para los equipos que funcionan con un voltaje de 208V se utilizarán transformadores del tipo seco que reducen el voltaje de 480V a 208V. Ver diagrama unifilar presentado en las figuras de la 43 a la 64.

### **3.2.1. Subestaciones secundarias**

La función de las subestaciones secundarias o transformadores de distribución del tipo seco será la de reducir el voltaje de operación en baja tensión de los transformadores de potencia en 480 voltios en el lado primario conexión en delta, hacia 208Y/120 voltios en el lado secundario conexión en estrella aterrizada. Ver figuras 74 y 75.

Los transformadores secos estarán diseñados para uso interior. Su sistema de enfriamiento es por medio de la libre circulación de aire, cuya temperatura máxima no debe superar los 40°C (104°F). Pueden ocurrir daños si el flujo de aire es limitado o si la carga del transformador supera el valor nominal de su capacidad.

Su instalación deberá cumplir los factores de seguridad del personal, accesibilidad, ventilación, ubicación que influya en el nivel de sonido y condiciones ambientales.

De acuerdo al artículo 450,21 del NEC, los transformadores tipo seco instalados en interiores y potencia menor a 112,5 kVA deberán de tener una separación de por lo menos 300 mm (12 pulgadas) de materiales combustibles que no estén separados por una barrera resistente al fuego, aislamiento térmico.

El cálculo de la capacidad de los transformadores del tipo seco en el centro hospitalario, se analiza de acuerdo a la demanda máxima estimada (DME) en VA, en cada uno de los tableros de distribución que serán alimentados por estos de acuerdo a lo indicado en el diagrama unifilar.

**Tabla XXXVIII. Cálculo de capacidades para transformadores tipo seco sistemas emergencia y crítico**

Tablero	Descripción	Sistemas emergencia y crítico			Capacidad del transfo. en kVA	Capacidad del breaker
		Potencia instalada en VA	Factor de demanda	DME (VA)		
STEEA1	Tablero emergencia edificio A sector "a"	73 799	0,80	59 039	75,00	125A/3P
STEEA2	Tablero emergencia edificio A sectores "a" y "b"	139 344	0,75	104 508	112,50	175A/3P
STEEA3	Tablero emergencia edificio A sector "b"	57 141	0,80	45 713	45,00	70A/3P
STEEA4N STEEA4S	Tableros de emergencia edificio A Sector "c" norte y sur	125 706	0,80	100 565	112,50	175A/3P
TECE	Tablero emergencia consulta externa	57 848	0,80	46 279	45,00	70A/3P
TEEC	Tablero emergencia edificio "c"	50 813	0,80	40 651	45,00	70A/3P
STEG4	Subtablero alumbrado emergencia garita 4	1 700	1,00	1 700	2,00	20A/3P
STEG3	Subtablero alumbrado emergencia garita 3	4 190	1,00	4 190	6,0	20A/3P
STEG2	Subtablero alumbrado emergencia garita 2	4 264	1,00	4 264	6,0	20A/3P
STEG1	Subtablero alumbrado emergencia garita 1	15 660	0,80	12 528	15,00	40A/3P

Continuación tabla XXXVIII.

Tablero	Descripción	Sistema de emergencia y crítico			Capacidad del trafo. En kVA	Capacidad del breaker
		Potencia instalada en VA	Factor de demanda	DME (VA)		
STECBo.	Subtablero de emergencia casa de bombas	13 044	0,80	10 435	15	30A/3P
STUEA1	Tablero UPS edificio A Sectores "a"	48 045	0,80	38 436	45, K=13	70A/3P
STUEA2	Tablero UPS Edificio A Sectores "a"	45 976	0,80	36 781	45, K=13	70A/3P
STUEA3	Tablero UPS Edificio A Sector "b"	26 136	0,80	20 909	30, K=13	50A/3P
STUPS1	Subtablero UPS computo 1	57 010	0,80	45 608	45, K=13	70A/3P
STUPS2	Subtablero UPS computo 2	44 309	0,80	35 447	45, K=13	70A/3P
TCCE	Tablero computo consulta externa	18 835	0,80	15 068	15, K=13	50A/3P
STCEA1	Tablero crítico edificio A sectores "a"	35 822	0,80	28 657	30	50A/3P
STCEA2	Tablero crítico edificio A sectores "a" y "b"	72 694	0,75	54 521	75	125A/3P
STCEA3	Tablero crítico edificio A Sector "b"	84 583	0,80	67 666	75	125A/3P
STCEA4	Tablero crítico edificio A Sector "c"	62 221	0,80	49 777	50	80A/3P

Fuente: elaboración propia.

El índice "K" define la capacidad que tiene el transformador de alimentar las pérdidas por corrientes de Eddy en comparación con un transformador tipo K=1, que es el transformador convencional sin contenido armónico.

En el diseño del sistema de emergencia se ha contemplado para la distribución de los circuitos del sistema UPS que alimentan los equipos de computación. La distribución se realizará con transformadores tipo seco de factor K=13, por ser cargas no lineales y que producen distorsión armónica en sus componentes electrónicos. Con estos transformadores se reducirá sus efectos nocivos en el sistema.

### Características de los transformadores tipo seco factor K=13

- Carga no lineal: 100%
- Componente de corriente 3<sup>a</sup> armónica: 33,3%
- Componente de corriente 5<sup>a</sup> armónica: 20,0%
- Componente de corriente 7<sup>a</sup> armónica: 14,3%
- Componente de corriente 9<sup>a</sup> armónica: 11.1%

Tabla XXXIX. **Cálculo de capacidades para transformadores tipo seco sistema normal**

Tablero	Descripción	Sistema normal			Capacidad del transformador en kVA	Capacidad del breaker
		Potencia instalada en VA	Factor de demanda	DME VA		
STNEA1	Tablero normal edificio A sectores "a"	51 488	0,80	41 190	45	60A/3P
STNEA2	Tablero normal edificio A sectores "a" y "b"	73 606	0,80	58 885	75	125A/3P
STNEA3	Tablero normal edificio A sector "b"	87 177	0,80	69 742	75	125A/3P
STNEA4N STNEA4S	Tablero normal edificio A sector "c" norte Tablero normal edificio A sector "c" sur	202 258	0,80	161 806	225	350/3P
TNCE	Tablero normal consulta externa	60 453	0,75	45 340	45	50A/3P
TNEC	Tablero normal edificio "c"	22 486	0,80	17 989	30	50A/3P
STG4	Subtablero alumbrado normal garita 4	3 940	1,00	3 940	6	15A/3P

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la información de las tablas números XXXVIII y XXXIX, se obtiene la siguiente información presentada en la tabla número XL.

Tabla XL. **Capacidades y modelos para transformadores tipo seco**

Cantidad	Descripción	Capacidad	Tipo	Modelo
1	Transformador tipo seco	225 kVA	FH	T4T225E
2	Transformador tipo seco	112,5 kVA	FH	T4T112E
5	Transformador tipo seco	75 kVA	FH	T4T75E
1	Transformador tipo seco	50 kVA	FH	T4T50E
5	Transformador tipo seco	45 kVA	FH	T4T45E
4	Transformador tipo seco	45 kVA / Factor K=13	FHK	T4T45SK13E
2	Transformador tipo seco	30 kVA	FH	T4T30E
1	Transformador tipo seco	30 kVA / Factor K=13	FHK	T4T30SK13E
2	Transformador tipo seco	15 kVA	FH	T4T15E
1	Transformador tipo seco	15 kVA / Factor K=13	FHK	T4T15SK13E
3	Transformador tipo seco	6 kVA		
1	Transformador tipo seco	2 kVA		

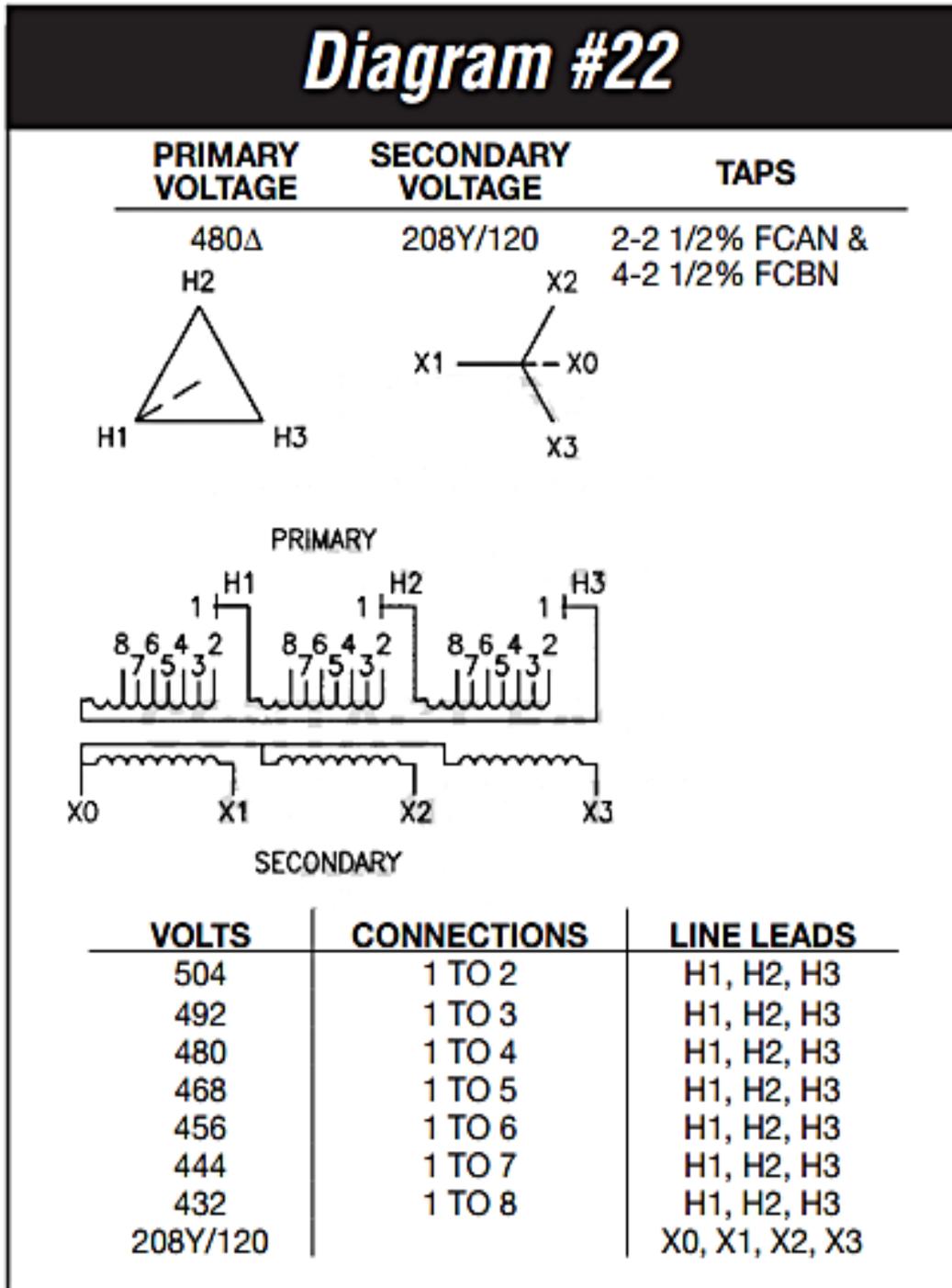
Fuente: elaboración propia.

Donde

- T = (*Three Phase*) Trifásico, ventilado NEMA 1 de uso general
- 4 = Voltaje primario/secundario, 480 Delta – 208Y/120
- T = Taps, +2,-4 X 2,5% FCAN
- 45 = kVA, Capacidad del transformador tipo seco
- S = (*Electrostatically Shielded*) Blindado electrostáticamente
- E = Nema tipo 1

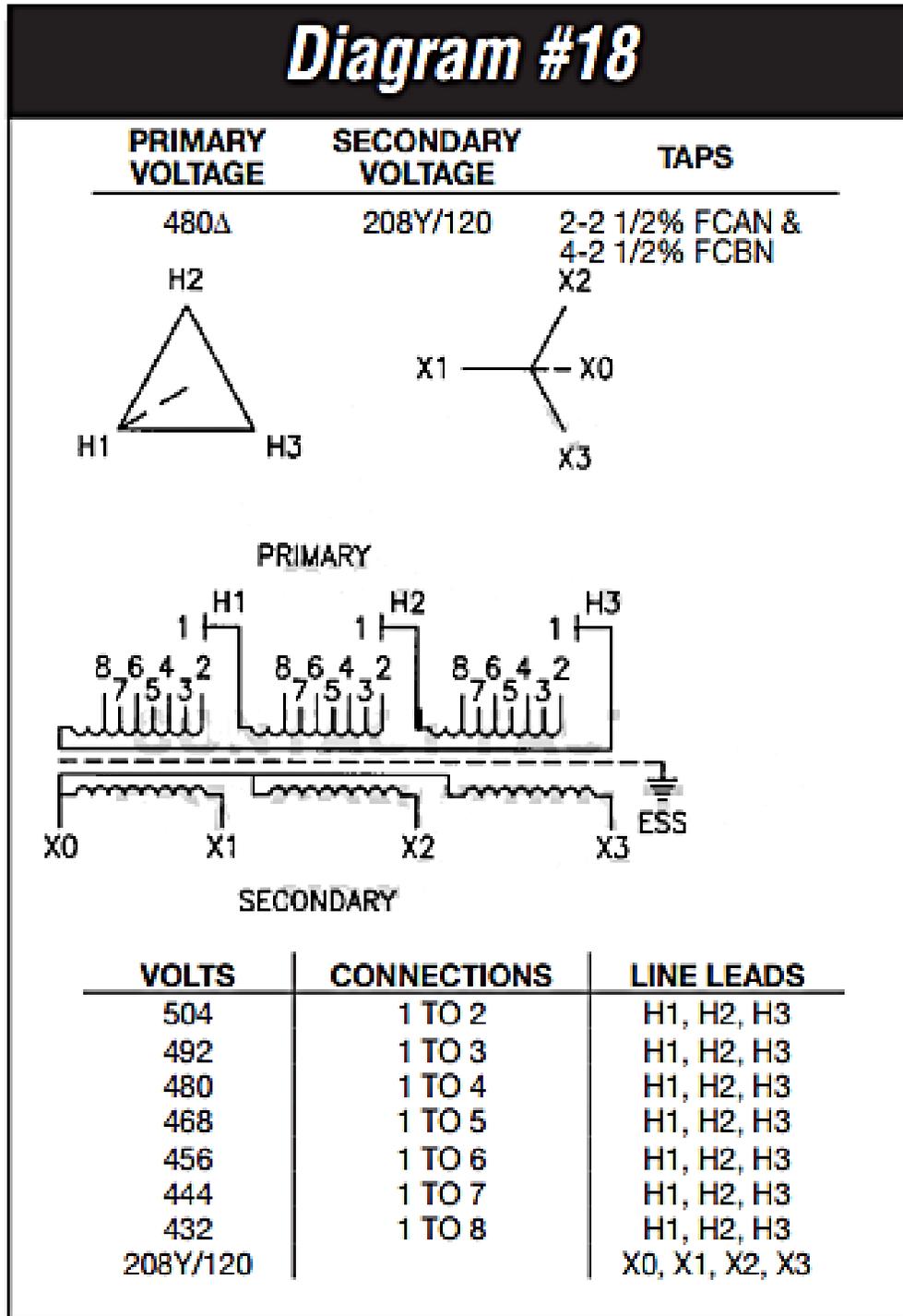
En la tabla anterior se presenta la lista de cantidades y capacidad de los transformadores del tipo seco con factores K=1 y K=13 que se han diseñado para la alimentación de los equipos en el centro hospitalario, y están indicados en el diagrama unifilar de los sistemas crítico, emergencia y normal.

Figura 74. Diagrama de conexión para transformador tipo FH seco



Fuente: [www.federalpacific.com](http://www.federalpacific.com) Consulta: 30 de junio de 2016.

Figura 75. Diagrama de conexión para transformador tipo FHK  
seco



Fuente: [www.federalpacific.com](http://www.federalpacific.com) Consulta: 30 de junio de 2016.

Figura 76. **Transformadores tipo seco de 15, 30 y 75 kVA**



Fuente: elaboración propia.

Figura 77. **Transformadores del tipo seco de 2 kVA y 6 kVA**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 76 se observa el montaje para transformadores del tipo seco de capacidad 15, 30 y 75 kVA sobre un pad de concreto diseñado de acuerdo a la carga en kilogramos de cada transformador. La figura 77 presenta el montaje en pared para transformadores tipo seco de 6 y 2 kVA.

### **3.2.2. Tableros generales eléctricos**

Constituyen la base para el comando, protección y distribución del sistema eléctrico. Por medio de ellos se alimenta a los sistemas crítico, emergencia y normal para un voltaje de alimentación en baja tensión desde los transformadores de potencia hacia los tableros generales, para 480 voltios.

La distribución se realiza desde los tableros generales de cada sistema hacia los transformadores secundarios del tipo seco, y circuitos derivados en donde la carga que será alimentada está conectada al sistema de distribución eléctrica en 480 voltios.

Por las características eléctricas de carga, estos tableros generales tendrán protecciones termomagnéticas y motorizadas, que deberán estar contruidos de lámina de acero galvanizado y pintado al horno, con las siguientes características generales: 277/480 voltios, 3 fases, 5 hilos, 60 ciclos.

Acerca de las características de construcción mecánica, el tablero estará formado por cubículos de lámina de acero galvanizado, con cubierta para interiores tipo NEMA 1, con accesibilidad a los componentes por el frente, base de canal de acero y rótulos indicadores metálicos; y con acabado ANSI 61 indicando el sistema al que sirve.

Características de construcción eléctrica: las barras principales tendrán la capacidad necesaria y serán de cobre, con aislamiento PVC. La distribución de barras será estándar, y deberá permitir la salida de conductores eléctricos por las partes inferior y superior. El interruptor general deberá de proveerse con protección de falla a tierra, pérdida de fase, corriente inversa, alto y bajo voltaje. Además del interruptor principal y los interruptores ramales, el tablero albergará los siguientes elementos: amperímetro, wattímetro, factorímetro, *switches* selectores de fase, transformadores de corriente y demás accesorios normales.

El detalle de la capacidad para las protecciones en amperios se observa en el diagrama unifilar de cada sistema. Los circuitos de control deberán alambrarse con conductor calibre # 18 AWG. Para su dimensionamiento se utilizará la información de los cuadros de cargas eléctricas siguientes:

Tabla XLI. **Cuadro de cargas eléctricas tablero general crítico (TGC)**

Circuito	(V)	Potencia activa watts	FD	(DME) VA	Fase a (A)	Fase b (A)	Fase c (A)	Breaker trifásico	Calibre del cable	Descripción
01-02-03	480	35 822	0,80	28 658	53,93	53,93	53,93	50A/3P	6 THHN	STCEA1
04-05-06	480	72 694	0,75	54 521	109,43	109,43	109,43	125A/3P	2 THHN	STCEA2
07-08-09	480	84 583	0,80	67 667	127,33	127,33	127,33	125A/3P	2 THHN	STCEA3
10-11-12	480	62 220	0,80	49 776	93,66	93,66	93,66	80A/3P	2 THHN	STCEA4
Valor actual		255 319		200 622	384,35	384,35	384,35	Tablero auto soportado tipo: gabinete NEMA 1. 480/277V. 5 hilos, barras de: 400 amperios. Principal: 350A/3P; Ramales: 2 – 125A/3P + 1 – 80A/3P + 1-50A/3P Alimentador: 4 # 350 MCM THHN + 1 # 3/0 THHN; Ø3". Colores: fase violeta (A), naranja (B), café (C). Neutro: gris. Tierra: verde		
Reserva		51 064	1,00	51 064	76,87	76,87	76,87			
Total		306 383		251 686	461,22	461,22	461,22			
Corriente de diseño: ID		302,73 amperios								

Fuente: elaboración propia.

**Tabla XLII. Cuadro de cargas eléctricas tablero general emergencia (TGE)**

Circuito	(V)	Potencia activa watts	FD	(DME) VA	Fase a (A)	Fase b (A)	Fase c (A)	Breaker para 3 fases	Calibre del cable	Descripción
01-02-03	480	73 799	0,80	59 040	111	111	111	125A/3P	2 THHN	STEEA1
04- 05-06	480	139 344	0,75	104 508	209,76	209,76	209,76	125A/3P	2 (2 THHN)	STEEA2
07-08-09	480	57 141	0,80	45 713	86,02	86,02	86,02	70A/3P	4 THHN	STEEA3
10-11-12	480	125 706	0,80	100 565	189,23	189,23	189,23	175A/3P	2 (2 THHN)	STEEA4N STEEA4S
13-14-15	480	57 848	0,80	46 279	87,08	87,08	87,08	70A/3P	4 THHN	TECE
16-17-18	480	50 813	0,80	40 651	76,49	76,49	76,49	70A/3P	6 THHN	TEEC
19-20-21	480	10 000	0,70	7 000	15,06	15,06	15,06	30A/3P	10 THHN	ELEVADOR 1 A
22-23-24	480	10 000	0,70	7 000	15,06	15,06	15,06	30A/3P	10 THHN	ELEVADOR 2 A
25-26-27	480	6 000	0,70	4 200	9,04	9,04	9,04	30A/3P	10 THHN	ELEVADOR 4 A
28-29-30	480	70 000	0,80	56 000	105,38	105,38	105,38	150A/3P	2 THHN	Rayos Fluoroscopia
31-32-33	480	12 500	0,80	10 000	18,82	18,82	18,82	30A/3P	10 THHN	Lavado Instrumental
34-35-36	480	53 101	0,85	45 136	79,94	79,94	79,94	100A/3P	2 THHN	STFCQE
37-38-39	480	71 485	0,90	64 337	107,61	107,61	107,61	100A/3P	2 THHN	STFUMA
40-41-42	480	71 832	0,90	64 649	108,13	108,13	108,13	100A/3P	1/0 THHN	STFUM
43-44-45	480	27 114	0,90	24 403	40,82	40,82	40,82	50A/3P	8 THHN	STFELAV
46-47-48	480	36 150	1,00	36 150	54,42	54,42	54,42	70A/3P	6 THHN	STFinf
49-50-51	480	24 144	1,00	24 144	36,35	36,35	36,35	60A/3P	4 THHN	STFHGO
52-53-54	480	44 551	0,85	37 869	67,07	67,07	67,07	70A/3P	4 THHN	STFCMC
55-56-57	480	35 808	0,80	28 647	53,91	53,91	53,91	70A/3P	6 THHN	STFQ#1
58-59-60	480	35 520	0,80	28 416	53,47	53,47	53,47	70A/3P	6 THHN	STFQ#2
61-62-63	480	39 696	0,80	31 757	59,76	59,76	59,76	70A/3P	6 THHN	STFQ#3
64-65-66	480	537 915	0,40	215 166	809,73	809,73	809,73	1 000A/3P	4 (4/0 THHN)	STFCBo
67-68-69	480	105 738	0,80	84 591	159,17	159,17	159,17	175A/3P	2 (2/0 THHN)	STGUPS
70-71-72	480	105 735	0,80	84 588	159,17	159,17	159,17	175A/3P	4/0	STGUCOMP
Valor actual		1 801 940		1 250 809	2 712,58	2 712,58	2 712,58	Tablero auto soportado tipo: gabinete NEMA 1, 480/277V 5 hilos, barras de 2 000A. Principal: 1 500A/3P; ramales: 1-1 000A/3P + 4-175A/3P + 1-150A/3P + 1-125A/3P + 3-100A/3P + 8-70A/3P + 1-60A/3P + 1-50A/3P + 1-30A/3P + 3-15A/3P Alimentador: 4 # 350MCM + 1 - 3/0THHN; Ø 3". Colores: fase violeta (A), naranja (B), café (C). Neutro: gris. Tierra: verde.		
Total, instalado		1 801 940		1 250 809	2 712,58	2 712,58	2 712,58			
Corriente de diseño: ID		1 444,3 amperios								
Factor de diversidad		1,25		1 000 647,2						

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. Cuadro de cargas eléctricas tablero general normal (TGN)

Circuito	(V)	Potencia activa en watts	FD	(DME) VA	Fase a (A)	Fase b (A)	Fase c (A)	Breaker para 3 fases	Calibre del cable	Descripción
01-02-03	480	51 488	0,80	41 191	77,51	77,51	77,51	60A/3P	2 THHN	STNEA1
04-05-06	480	73 606	0,80	58 885	110,80	110,80	110,80	125A/3P	2 THHN	STNEA2
07-08-09	480	87 177	0,80	69 742	131,23	131,23	131,23	125A/3P	1/0 THHH	STNEA3
10-11-12	480	202 258	0,80	161 807	304,46	304,46	304,46	350A/3P	2 (3/0 THHN)	STNEA4 STNEEA4S
13-14-15	480	60 454	0,75	45 341	91,01	91,01	91,01	50A/3P	4 THHN	TNCE
16-17-18	480	22 486	0,80	17 989	33,85	33,85	33,85	50A/3P	6 THHN	TNEC
19-20-21	480	10 000	0,85	8 500	15,06	15,06	15,06	15A/3P	10 THHN	Elevador 1B
22-23-24	480	10 000	0,85	8 500	15,06	15,06	15,06	15A/3P	10 THHN	Elevador 2B
25-26-27	480	6 600	0,85	5 610	9,94	9,94	9,94	15A/3P	10 THHN	Elevador 3A
28-29-30	480	6 600	0,85	5 610	9,94	9,94	9,94	15A/3P	10 THHN	Elevador 3B
31-32-33	480	6 000	0,85	5 100	9,04	9,04	9,04	15A/3P	10 THHN	Elevador 4B
34-35-36	480	5 500	0,85	4 675	8,28	8,28	8,28	15A/3P	10 THHN	Montacargas #1
37-38-39	480	5 500	0,85	4 675	8,28	8,28	8,28	15A/3P	10 THHN	Montacargas #2
40-41-42	480	6 000	0,85	5 100	9,04	9,04	9,04	15A/3P	10 THHN	Montacargas #3
43-44-45	480	6 000	0,85	5 100	9,04	9,04	9,04	15A/3P	10 THHN	Montacargas #4
46-47-48	480	100 000	1,00	100 000	150,53	150,53	150,53	150A/3P	1/0 THHN	Tomógrafo
49-50-51	480	70 000	1,00	70 000	105,38	105,38	105,38	100A/3P	2 THHN	Rayos "X" digital
52-53-54	480	3 940	1,00	3 940	5,94	5,94	5,94	15A/3P	6 THHN	STG4
55-56-57	480	62 466	0,90	56 220	94,03	94,03	94,03	50A/3P	4 THHN	STNFLAV
58-59-60	480	45 000	1,00	45 000	67,74	67,74	67,74	150A/3P	1/0 THHN	Esterilizador
Valor actual		841 075		722 985	1 266,16	1 266,16	1 266,16	Tablero auto soportado tipo gabinete NEMA 1, 480/277V, 5 hilos, barras de: 1 500 amperios. Principal: 1 200A/3P; ramales: 1 – 350A/3P + 2 – 150A/3P + 2 – 125A/3P + 1 – 100A/3P + 3 – 50A/3P + 10 – 15A/3P. Alimentador: 4#350 MCM THHN + 1 # 3/0 THHN; Ø3". Colores: Fase violeta (A), naranja (B), café (C). Neutro: gris. Tierra: verde.		
Total, instalado		841 075		722 985	1 266,16	1 266,16	1 266,16			
Corriente de diseño: ID		1 042,96 amperios								

Fuente: elaboración propia.

Figura 78. **Tableros generales**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 78 se observa la construcción de los tableros generales armados en celda 8MF, IP 40 para un voltaje de 480/277 voltios con sus barras de cobre. De acuerdo con la capacidad requerida en amperios, con su protección principal.

Figura 79. **Instalación de tableros generales**



Fuente: elaboración propia.

### **3.2.3. Subtableros eléctricos**

Son el punto de distribución primaria compuesto por el conjunto de elementos de protección y medición agrupados en un gabinete, el cual se ubicará de acuerdo al centro de la mayor densidad de cargas eléctricas determinadas por sectores, desde donde se controlará la distribución de energía eléctrica de la instalación.

Operarán en el sistema de distribución trifásico en baja tensión para el voltaje de 208/120 voltios, de acuerdo al diagrama unifilar. La fuente de alimentación para cada uno de los subtableros de distribución parte desde las subestaciones eléctricas de distribución en baja tensión (transformadores del tipo seco) que reducirá el voltaje de operación de 480 voltios a 208/120V.

En este sistema de distribución se realizará la conexión para cada uno de los circuitos eléctricos de iluminación, tomas de corriente y circuitos derivados. Su cálculo se realizará a través del análisis de la cantidad de unidades instaladas en cada ramal en relación a la capacidad de carga en amperios de cada unidad y de acuerdo a lo indicado en el NEC. Así se calculará las protecciones, cargas eléctricas, potencia aparente, diseño del cuadro de cargas eléctricas en forma individual para el cálculo de la protección principal, protección de los ramales y los conductores eléctricos en baja tensión, así como el diámetro de tubería que se utilizará.

Se tendrá también circuitos derivados, que alimentarán las cargas específicas que operan en voltajes de 480/277 y a través de los transformadores secos en voltaje de 208/120 voltios.

El centro de carga compacto o tablero de distribución se seleccionará tomando en cuenta las siguientes características:

- Selección del tipo de servicio monofásico o trifásico
- Selección de la capacidad del interruptor principal
- Cálculo de la capacidad para barras de distribución de cobre
- Cantidad de polos: máximo de 14 polos por fase o 42 por tablero (en tableros trifásicos).
- De acuerdo con la capacidad del ramal mayor, así deberá ser el tipo de interruptores que irán instalados en cada tablero.
- Si se utilizará neutro sólido o neutro aislado
- Tipo de alimentación, si será superior o inferior, dependiendo del tipo de acometida.
- Tipo de material para el gabinete. Dependiendo de la zona en donde se ubicará, podrá ser tipo NEMA 1 o NEMA 3R o grado de protección IP
- Diámetro para los bornes de acceso de los conductores eléctricos de la acometida.
- Espacio para acomodo de cables y tuberías de ingreso
- Propiedades dieléctricas
- Distancia de aislamiento y fuga
- Valores de corto circuito
- Comprobación del funcionamiento mecánico de sistemas de bloqueo, puertas, cerraduras u otros elementos destinados a ser operados durante el uso normal del tablero.

- Resistencia a la corrosión del encerramiento
- Resistencia al calor anormal y al fuego de los elementos aislantes
- Medidas de protección contra el contacto directo (barreras, señales de advertencia, etc.).
- Incremento de temperatura
- Aplicación de pintura color gris RAL serie 70 similar a RAL 7032

Los tableros de distribución para baja tensión deberán de cumplir con las siguientes normas exigidas por RETIE, artículo 17, requisitos de productos numeral 17,8 tableros eléctricos.

Tabla XLIV. **Normas para la construcción de tableros de distribución eléctrica**

Norma	Descripción
UL 67	Tableros de mando ( <i>Panelboards</i> )
UL 508	Equipo de control industrial ( <i>Industrial Control Equipment</i> )
UL 508A	Paneles de control industrial ( <i>Industrial Control Panels</i> )
NTC 2050	Código eléctrico colombiano
NTC 3278	Paneles de maniobra y control de baja tensión
NTC 3475	Electrotecnia tableros eléctricos ( <i>Electrotechnics Panelboards</i> )
IEC 60364	Instalaciones eléctricas de los edificios
IEC 60439-1	Esta norma define las condiciones de empleo, las condiciones constructivas, las características técnicas y los ensayos para los conjuntos eléctricos de baja tensión
ASTM D 4541	Revestimientos Protectores Industriales para aplicación de las pinturas de los tableros de distribución
IEC 60947-1	Disposiciones generales
IEC 60947-2/3	Interruptores automáticos/interruptores
IEC 60269-1	Fusibles baja tensión

Fuente: Requisitos para tableros en baja tensión [www.schneider-electric.com.co](http://www.schneider-electric.com.co). p. 7 y 9.

Consulta 06 de julio de 2016.

Figura 80. **Subtableros de distribución eléctrica 208/120V y acomodo de conductores eléctricos en el interior**



Fuente: elaboración propia.

Figura 81. **Subtableros de distribución eléctrica 480/277V**



Fuente: elaboración propia.

La definición de los cuadros de cargas eléctricas permitirá analizar y calcular la capacidad de las protecciones principales, protecciones ramales, conductores eléctricos, barras de cobre. En las tablas XLV, XLVI y XLVII se indica las características para los tipos de subtableros de distribución, que operan en voltajes 208, 120 y 480 voltios, conectados a un sistema trifásico.

**Tabla XLV. Subtablero de distribución trifásico voltaje 208V**

STNEA3		Subtablero normal edificio A sector "b"							
Circuito	Voltios	VA	Amperios			Protección	Alimentador	Descripción	
			A	B	C				
01 - 03 - 05	208	9 010	27,19	27,19	22,66	50A/3P	4 THHN	STNCQ	
02 - 04 - 06	208	7 079	22,55	21,16	22,78	50A/3P	6 THHN	STNUMA	
07 - 09 - 11	208	6 165	15,45	18,22	17,70	50A/3P	8 THHN	STNCA	
08 - 10 - 12	208	22 714	64,60	63,44	63,98	100A/3P	2 THHN	STNHA	
13 - 15 - 17	208	7 945	23,68	21,52	21,00	50A/3P	6 THHN	STNPGMC	
14 - 16 - 18	208	26 339	75,62	76,74	76,73	100A/3P	1/0 THHN	STNID	
19 - 24								RESERVA	
VALOR ACTUAL		79 252	229,09	228,27	224,85	Panelboard trifásico 24 espacios, 208V			
RESERVA		7 925	22,91	22,83	22,49	5 hilos, barras de 400 amperios			
TOTAL		87 177	252,00	251,10	247,34	Principal 250 Amperios / 3 Polos. Ramales:			
FD = 0,8		69 742	201,60	200,88	197,87	2 - 100A/3P + 4 - 50A/3P Alimentador: 4 THHN #4/0; 1#4; Ø 2 ½"			

Fuente: elaboración propia.

El subtablero de distribución operará en el voltaje de 208 voltios. De acuerdo con el diagrama unifilar es alimentado por un transformador del tipo seco, que reduce el voltaje de 480 a 208 voltios a un valor de operación para el sistema trifásico. Se observa los valores de corriente de las fases que están balanceadas, se indica el valor del factor de demanda establecido en 80%, así como sus protecciones térmicas principal y ramales, los calibres de conductores eléctricos para subalimentación de cada ramal, así como la descripción de la carga eléctrica para alimentar.

Tabla XLVI. **Subtablero de distribución trifásico voltaje 208/120V**

STNHA		Subtablero normal de hospitalización adulto						
Circuito	Voltios	VA	Amperios			Protección	Alimentador	Descripción
			A	B	C			
1	120	780	6,50			15A/1P	10 THHN	Iluminación
2	120	800	6,67			20A/1P	10 THHN	4 TD
3	120	460		3,83		15A/1P	10 THHN	Iluminación
4 - 6	208	1 000		4,81	4,81	15A/2P	10 THHN	Iluminación
5	120	420			3,50	15A/1P	10 THHN	Iluminación
7 - 9	208	1 200	5,77	5,77		15A/2P	10 THHN	Iluminación
8	120	800	6,67			20A/1P	10 THHN	4 TD
10	120	400		3,33		20A/1P	10 THHN	2 TD
11	120	800			6,67	20A/1P	10 THHN	4 TD
12	120	1 200			10,00	20A/1P	10 THHN	6 TD
13	120	1 000	8,33			20A/1P	10 THHN	5 TD
14	120	1 200	10,00			20A/1P	10 THHN	6 TD
15	120	800		6,67		20A/1P	10 THHN	4 TD
16	120	600		5,00		20A/1P	10 THHN	3 TD
17	120	600			5,00	20A/1P	10 THHN	3 TD
18	120	600			5,00	20A/1P	10 THHN	3 TD
19	120	600	5,00			20A/1P	10 THHN	3 TD
20	120	800	6,67			20A/1P	10 THHN	4 TD
21	120	600		5,00		20A/1P	10 THHN	3 TD
22	120	800		6,67		20A/1P	10 THHN	4 TD
23	120	600			5,00	20A/1P	10 THHN	3 TD
24	120	800			6,67	20A/1P	10 THHN	4 TD
25	120	600	5,00			20A/1P	10 THHN	3 TD
26	120	800	6,67			20A/1P	10 THHN	4 TD
27	120	600		5,00		20A/1P	10 THHN	3 TD
28	120	800		6,67		20A/1P	10 THHN	4 TD
29	120	800			6,67	20A/1P	10 THHN	4 TD
30	120	1 000			8,33	20A/1P	10 THHN	5 TD
31								RESERVA
32								RESERVA
33	120	600		5,00		20A/1P	10 THHN	3 TD
34	120	1 000		8,33		20A/1P	10 THHN	5 TD
35	120	600			5,00	20A/1P	10 THHN	3 TD
36 - 42								RESERVA
VALOR ACTUAL		23 660	67,28	66,08	66,65	Tablero trifásico 42 espacios 120/208 voltios,		
RESERVA		4 732	13,46	13,22	13,33	5 hilos; barras de 150 amperios		
TOTAL		28 392	80,74	79,22	79,98	Principal 100 Amperios / 3 Polos		
FD = 0,80		22 714	64,60	63,44	63,98	Alimentador: 4 THHN # 2; 1 # 6; Ø 1 ¼"		

Fuente: elaboración propia.

En la tabla XLVI se establece el cálculo para el cuadro de cargas que alimentará el subtablero de distribución STNHA (Subtablero Normal Hospitalización Adulto). Se indica en la descripción el circuito que alimentará cada ramal, iluminación y tomas de corriente (TD), así como la capacidad de espacios, protección térmica principal y de los ramales, conductores eléctricos y el balance entre fases.

Tabla XLVII. **Subtablero de distribución trifásico voltaje 480V**

STFCMC	Subtablero de fuerza casa de máquinas calderas								
	Circuito y Espacio	Voltios	VA	Amperios			Protección	Alimentador	Descripción
				A	B	C			
01 - 03 - 05	480	3 505	4,22	4,22	4,22	15A/3P	12 THHN	Panel Caldera de 50 HP	
02 - 04 - 06	480	4 620	5,56	5,56	5,56	15A/3P	12 THHN	Panel Caldera de 125 HP # 1	
07 - 09 - 11	480	4 620	5,56	5,56	5,56	15A/3P	12 THHN	Panel Caldera de 125 HP # 2	
08 - 10 - 12	480	2 706	3,25	3,25	3,25	15A/3P	12 THHN	Bomba de Condensado (Caldera de 50 HP)	
13 - 15 - 17	480	8 765	10,54	10,54	10,54	20A/3P	10 THHN	Bomba de Condensado (Caldera de 125 HP)	
14 - 16 - 18	480	2 710	3,26	3,26	3,26	15A/3P	12 THHN	Bomba de Circulación Calefacción (2 HP)	
19 - 21 - 23	480	8 765	10,54	10,54	10,54	15A/3P	10 THHN	RESERVA	
20 - 22 - 24	480	1 435	1,73	1,73	1,73	15A/3P	12 THHN	Bomba de Circulación Agua Caliente (1 HP)	
25 - 30								RESERVA	
VALOR ACTUAL		37 126	44,66	44,66	44,66	Panelboard 30 espacios 277/480 voltios, 5 hilos;			
RESERVA		7 425	8,94	8,94	8,94	Barras de 100 amperios			
TOTAL		44 551	53,60	53,60	53,60	Principal: 70 amperios / 3 polos; Ramales: HACR			
FD = 0.85		37 868	45,56	45,56	45,56	Alimentador: 3 THHN # 4; 1 # 8; Ø 1 ½"			

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la tabla anterior, se observa el balance que deberá existir entre las fases, el valor para la capacidad de las barras, protecciones térmicas, principal y ramales, conductores eléctricos de ramales y de alimentación.

### 3.2.4. Banco de capacitores

La metodología para el cálculo de la potencia del banco de condensadores está basada en la compensación de energía reactiva. El factor de potencia es la relación entre la potencia activa (kW) usada en un sistema y la potencia aparente (kVA) que se obtiene de las líneas de alimentación eléctrico en un sistema trifásico.

El análisis que utilizaremos está encaminado a encontrar el valor de la potencia reactiva de acuerdo a las fórmulas siguientes, para determinar las potencias y sus unidades de medición.

Tabla XLVIII. **Fórmulas para determinar el triángulo de potencias**

<b>Fórmula</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad de medida</b>
$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$	S = Potencia aparente	kVA
$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \text{Cos}\phi$	P = Potencia efectiva	kW
$Q = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \text{Sen}\phi$	Q =Potencia reactiva	kVAR
	V = Voltaje del sistema	Voltios
	I = Corriente	Amperios
$\text{Cos}\phi = P/S$	$\text{Cos}\phi$ = Factor de potencia	

Fuente: Norma NFPA 70 (NEC).

Tipos de compensación: las inductividades se compensan con la conexión en paralelo de capacitancias, conocida como compensación en paralelo. Esta forma de compensación es las más usual, especialmente en sistemas trifásicos.

Los tres tipos de compensación en paralelo son:

- Compensación individual: a cada consumidor inductivo se le asigna el condensador necesario. Este tipo es empleado ante todo para compensar consumidores grandes de trabajo continuo.
- Compensación en grupos: los grupos se conforman de varios consumidores de igual potencia e igual tiempo de trabajo y se compensan por medio de un condensador común. Este tipo de compensación se utiliza para compensar un grupo de luminarias fluorescentes.
- Compensación central: la potencia reactiva inductiva de varios consumidores de diferentes potencias y diferentes tiempos de trabajo es compensada por medio de un banco de condensadores. Una regulación automática compensa según las exigencias del momento.

Para la compensación individual de la potencia inductiva de los transformadores de distribución, se utilizará la siguiente tabla. Al valor de la potencia nominal de cada transformador se le asigna la correspondiente potencia del condensador necesario, el cual es instalado en el secundario del transformador.

Tabla XLIX. **Compensación individual para transformadores de distribución**

<b>Potencia nominal del transformador en kVA</b>	<b>Potencia reactiva del condensador en kVAR</b>
100,00	4,00
160,00	6,00
250,00	15,00
400,00	25,00
630,00	40,00
1 000,00	60,00
1 600,00	100,00

Fuente: Universidad del Atlántico. Corrección del factor de potencia y control de la demanda.  
p. 12. Consulta: 14 de julio de 2016.

Para compensar un motor trifásico se necesita probar primero si el motor es arrancado directamente o por medio de un dispositivo arrancador estrella-delta.

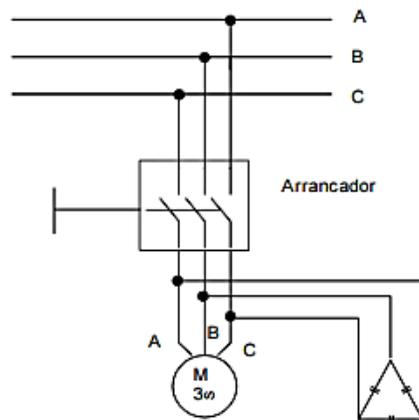
Al efectuar un arranque directo por medio de un arrancador electromagnético, la compensación individual es sencilla. El condensador se conecta directamente a los terminales A, B y C del motor, sin necesidad de más dispositivos. La potencia reactiva capacitiva necesaria para un motor está dada en la siguiente tabla:

Tabla L. **Compensación individual para motores trifásicos**

Potencia nominal del motor en kW	Potencia reactiva del condensador en kVAR
4,00	2,00
5,50	2,00
7,50	3,00
11,00	3,00
15,00	4,00
18,50	7,50
22,00	7,50
30,00	10,00
>30,00	Más o menos 35% de la potencia del motor

Fuente: Universidad del Atlántico. Corrección del factor de potencia y control de la demanda.  
p. 12. Consulta: 14 de julio de 2016.

Figura 82. **Conexión en paralelo de condensadores hacia motor trifásico**



Fuente: Universidad del Atlántico. Corrección del factor de potencia y control de la demanda.  
p. 13. Consulta: 14 de julio de 2016.

La compensación reactiva, se realizará por medio de la siguiente fórmula:

Tabla LI. Cálculo para la compensación de potencia reactiva

Fórmula	Descripción
$Q = P \cdot (\text{tg}\phi_1 - \text{tg}\phi_2)$	Tgφ1 = Valor del fp. antes de la compensación
$Q = P \cdot \text{Factor "C"}$	Tgφ2 = Valor del fp. posterior de la compensación

Fuente: www.schneider-electric.com.co. Compensación de energía reactiva. p. 4.

Norma ANSI/IEEE STD 18. Consulta: 14 de julio de 2016.

Tabla LII. Determinación del valor del coeficiente "C"

Antes de compensación	Coeficiente "C" ( $\text{tg}\phi - \text{tg}\phi'$ ) a multiplicar por la potencia instalada Pa para alcanzar el factor de potencia $\text{cos}\phi$ deseado														
	$\text{tg}\phi'$	0.75	0.59	0.48	0.46	0.43	0.40	0.36	0.33	0.29	0.25	0.20	0.14	0.08	
$\text{tg}\phi$	$\text{cos}\phi$	$\text{cos}\phi'$	0.80	0.86	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
1.33	0.60		0.584	0.733	0.849	0.878	0.905	0.939	0.971	1.005	1.043	1.083	1.131	1.192	1.334
1.30	0.61		0.549	0.699	0.815	0.843	0.870	0.904	0.936	0.970	1.008	1.048	1.096	1.157	1.299
1.27	0.62		0.515	0.665	0.781	0.809	0.836	0.870	0.902	0.936	0.974	1.014	1.062	1.123	1.265
1.23	0.63		0.483	0.633	0.749	0.777	0.804	0.838	0.870	0.904	0.942	0.982	1.030	1.091	1.233
1.20	0.64		0.450	0.601	0.716	0.744	0.771	0.805	0.837	0.871	0.909	0.949	0.997	1.058	1.200
1.17	0.65		0.419	0.569	0.685	0.713	0.740	0.774	0.806	0.840	0.878	0.918	0.966	1.007	1.169
1.14	0.66		0.388	0.538	0.654	0.682	0.709	0.743	0.775	0.809	0.847	0.887	0.935	0.996	1.138
1.11	0.67		0.358	0.508	0.624	0.652	0.679	0.713	0.745	0.779	0.817	0.857	0.905	0.966	1.108
1.08	0.68		0.329	0.478	0.595	0.623	0.650	0.684	0.716	0.750	0.788	0.828	0.876	0.937	1.079
1.05	0.69		0.299	0.449	0.565	0.593	0.620	0.654	0.686	0.720	0.758	0.798	0.840	0.907	1.049
1.02	0.70		0.270	0.420	0.536	0.563	0.597	0.629	0.663	0.701	0.741	0.783	0.850	0.992	
0.96	0.72		0.213	0.364	0.479	0.507	0.534	0.568	0.600	0.634	0.672	0.712	0.754	0.821	0.963
0.94	0.73		0.186	0.336	0.452	0.480	0.507	0.541	0.573	0.607	0.645	0.685	0.727	0.794	0.936
0.91	0.74		0.159	0.309	0.425	0.453	0.480	0.514	0.546	0.580	0.618	0.658	0.700	0.767	0.909
0.88	0.75		0.132	0.282	0.398	0.426	0.453	0.487	0.519	0.553	0.591	0.631	0.673	0.740	0.882
0.86	0.76		0.105	0.255	0.371	0.399	0.426	0.460	0.492	0.526	0.564	0.604	0.652	0.713	0.855
0.83	0.77		0.079	0.229	0.345	0.373	0.400	0.434	0.466	0.500	0.538	0.578	0.620	0.687	0.829
0.80	0.78		0.053	0.202	0.319	0.347	0.374	0.408	0.440	0.474	0.512	0.552	0.594	0.661	0.803
0.78	0.79		0.026	0.176	0.292	0.320	0.347	0.381	0.413	0.447	0.485	0.525	0.567	0.634	0.776
0.75	0.80			0.150	0.266	0.294	0.321	0.355	0.387	0.421	0.459	0.499	0.541	0.608	0.750
0.72	0.81			0.124	0.240	0.268	0.295	0.329	0.361	0.395	0.433	0.473	0.515	0.582	0.724
0.70	0.82			0.098	0.214	0.242	0.269	0.303	0.335	0.369	0.407	0.447	0.489	0.556	0.698
0.67	0.83			0.072	0.188	0.216	0.243	0.277	0.309	0.343	0.381	0.421	0.463	0.530	0.672
0.65	0.84			0.046	0.162	0.190	0.217	0.251	0.283	0.317	0.355	0.395	0.437	0.504	0.645
0.62	0.85			0.020	0.136	0.164	0.191	0.225	0.257	0.291	0.329	0.369	0.417	0.478	0.620
0.59	0.86				0.109	0.140	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.343	0.390	0.450	0.593
0.57	0.87				0.083	0.114	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.317	0.364	0.424	0.567
0.54	0.88				0.054	0.085	0.112	0.143	0.175	0.209	0.246	0.288	0.335	0.395	0.538
0.51	0.89				0.028	0.059	0.086	0.117	0.149	0.183	0.230	0.262	0.309	0.369	0.512
0.48	0.90					0.031	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.234	0.281	0.341	0.484

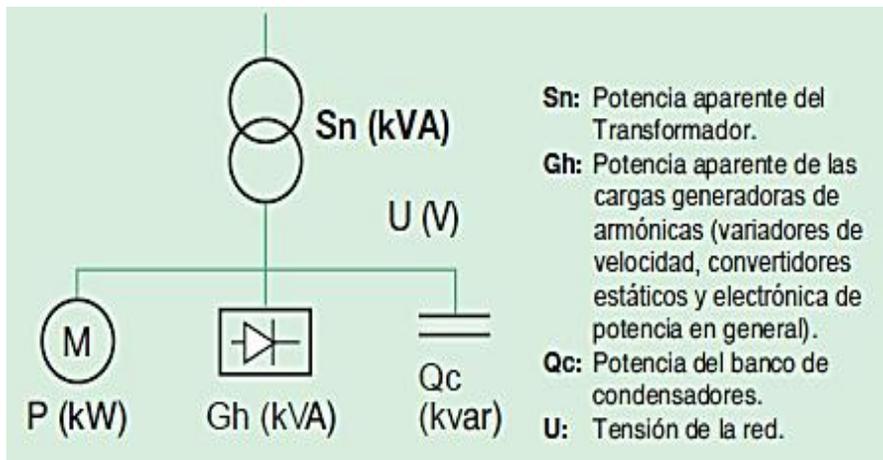
Fuente: www.schneider-electric.com.co. Compensación de energía reactiva. p. 4.

Consulta: 14 de julio de 2016.

Al determinar el valor del coeficiente “C” se multiplica por el valor de la potencia activa, lo que da el valor de la potencia reactiva en kVAR para el banco de condensadores. Por tanto, se deberá realizar la compensación de energía eléctrica a través de los bancos de capacitores utilizando los criterios de elección para el equipamiento:

La compensación de energía reactiva podrá realizarse de dos formas (mediante equipamiento tipo estándar, o tipo desintonizado o antiresonante) de acuerdo al nivel de contaminación armónica de la red, con el siguiente método:

Tabla LIII. **Método para la selección del equipo de condensación**



equipo seleccionado	Gh / Sn
equipo estándar	Gh / Sn < 15 %
equipo clase «H»	< 15 % < Gh / Sn < 25 %
equipo «SAH»	< 15 % < Gh / Sn < 60 %
Filtro Sintonizado	60 % < Gh / Sn

Fuente: [www.schneider-electric.com.co](http://www.schneider-electric.com.co). Compensación de energía reactiva. p. 3.

Consulta: 13 de julio de 2016.

En el diagrama unifilar de la tabla LIII se observa que, para seleccionar el tipo de equipo para la compensación, se debe conocer la capacidad del transformador, motores eléctricos, tensión de la red y cargas generadoras de armónicos.

Selección del banco de capacitores: tras definir el tipo de equipamiento, se seleccionará el banco de condensadores de acuerdo con las características de la red, el voltaje de operación y su frecuencia. Son los factores básicos para dimensionar los condensadores en baja tensión. La potencia reactiva varía de acuerdo al cuadrado del voltaje y la frecuencia según la fórmula siguiente:

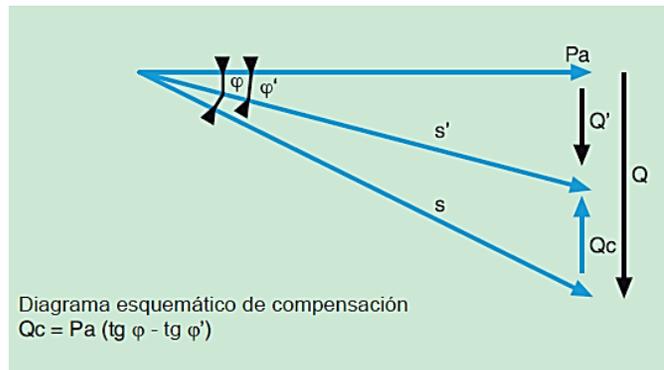
Tabla LIV. **Cálculo general para el banco de condensadores**

<b>Fórmula</b>	<b>Descripción</b>
$Q = V^2 \cdot C \cdot \omega$	Q = Potencia reactiva
	V = Voltaje de la red
	C = Capacidad del banco
	$\omega = 2\pi f$
	f = frecuencia de la red

Fuente: [www.schneider-electric.com.co](http://www.schneider-electric.com.co). Compensación de energía reactiva. p. 4.  
Norma ANSI/IEEE STD. 18. Consulta: 13 de julio de 2016.

El cálculo de la potencia reactiva es a partir del factor de potencia existente, el deseado y la potencia instalada Pa, de acuerdo con la figura siguiente que describe su aplicación en la compensación reactiva.

Figura 83. Diagrama esquemático de compensación



Fuente: www.schneider-electric.com.co. Compensación de energía reactiva. p. 4.

Consulta: 13 de julio de 2016.

Se analizará para determinar el banco de condensadores correspondiente al tablero de fuerza para la casa de bombas STFCBo, a partir del criterio de compensación individual con los siguientes valores:

Tabla LV. Compensación individual para motores del tablero STFCBo

Descripción	Potencia Activa (kW)	Compensación (kVAR)
Enfriador número 1	122,10	30,52
Enfriador número 2	122,10	30,52
Bomba circuito primario	22,38	7,50
Bomba circuito secundario	22,38	7,50
Bombas agua potable	59,68	14,92
Bomba contra incendio	37,30	9,33
Bomba Pozo	89,52	22,38
Bomba Jockey	6,055	2,00
Bomba Trasiego O <sub>2</sub>	41,40	10,35
Total	522,915	135,02

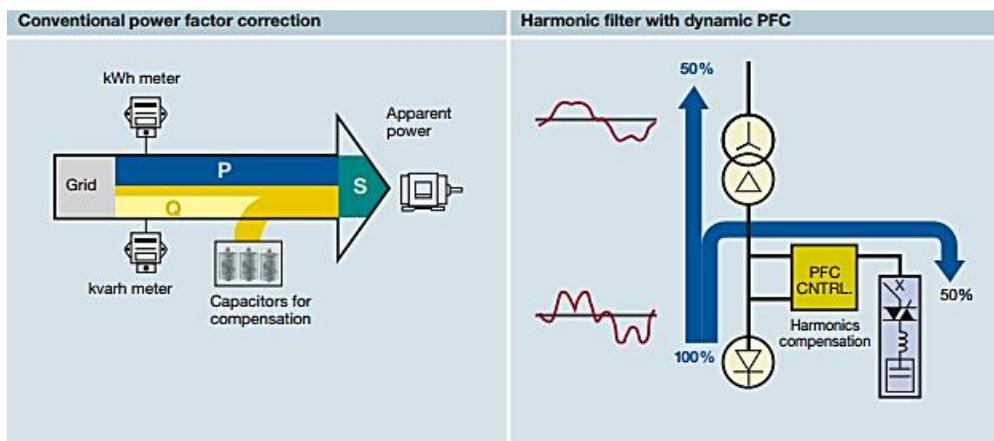
Fuente: elaboración propia.

De la tabla anterior se observa que es necesario un banco de capacitores con una capacidad de 135 kVAR.

El banco de condensadores automático estará formado por el controlador de factor de potencia, condensadores, contactores. El contactor detectará las variaciones en el factor de potencia y en función de estas fluctuaciones actuará sobre los contactores permitiendo la entrada o salida de los condensadores necesarios. El banco de capacitores automático está conformado por:

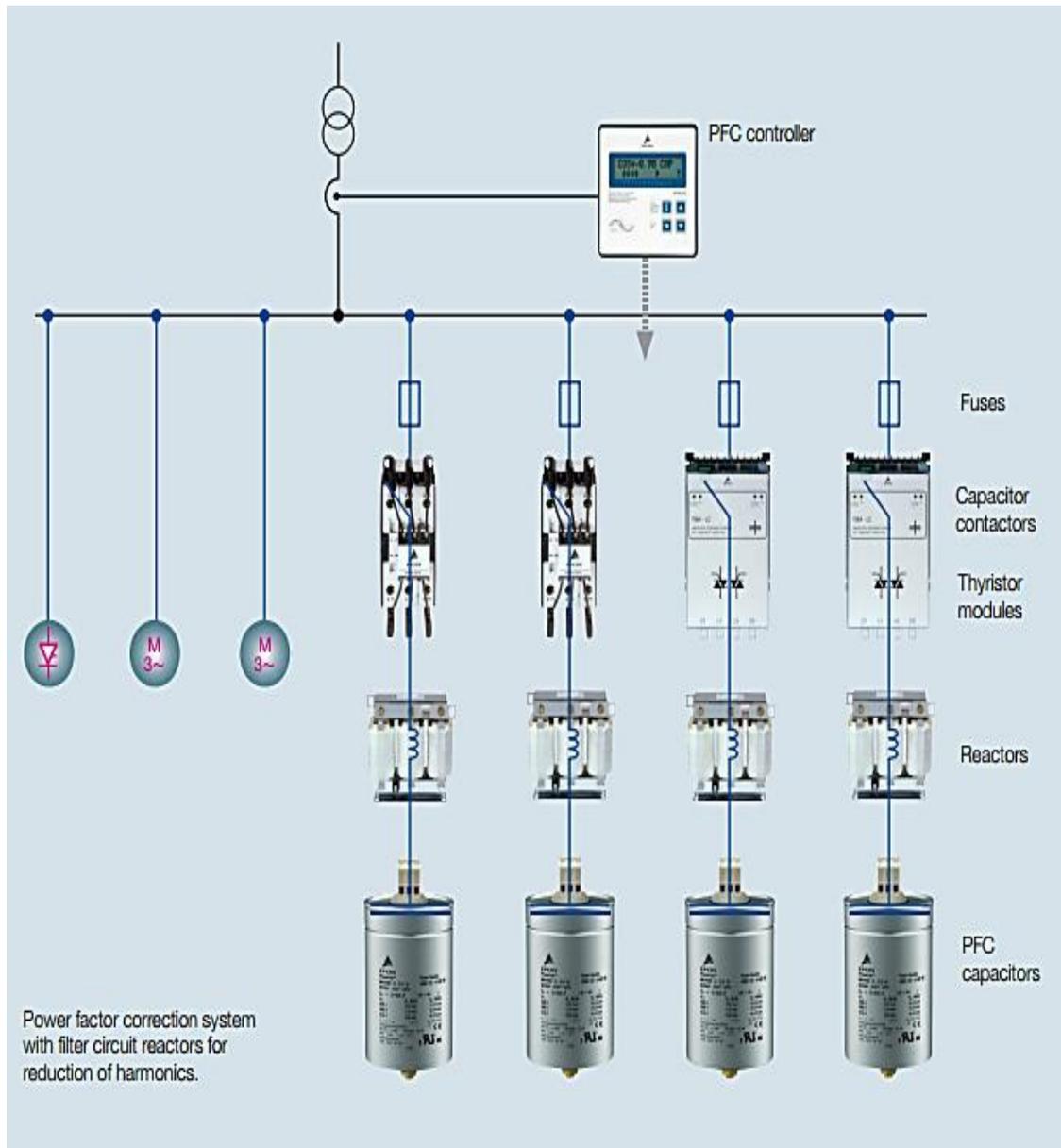
- Un gabinete tipo IP40 conteniendo un total de 135kVAR, 480/277V trifásico
- Ventilación forzada
- Protección principal para corte general del banco de condensadores
- Regulador automático del factor de potencia
- Etapas automáticas con su respectiva protección de corto circuito, contactor, fusibles y capacitores de bajas pérdidas autogenerable
- Control general 220V

Figura 84. **Compensación individual para motores trifásicos**



Fuente: [www.epcos.com](http://www.epcos.com). *Power factor correction*. p. 59. Consulta: 15 de julio de 2016.

Figura 85. Sistema de funcionamiento para banco de condensadores



Fuente: [www.epcos.com](http://www.epcos.com). *Power factor correction*. p. 59. Consulta: 15 de julio de 2016.

Conexión y calificación de los condensadores. En la tabla LIII se observa una expresión general para la calificación del condensador en kVAR.

El condensador en la solicitud de PFC es de una sola fase. Está conectado entre los conductores de fase y neutro y se somete a la fase de Voltaje-neutral (ver arriba de figura 85).

Conexión estrella: el condensador en la solicitud de PFC de una sola fase está sujeto a una tensión de  $(VL / \sqrt{3})$ . Por lo tanto, la compensación kVAR total se calcula de acuerdo a la tabla LVI.

Conexión delta: el condensador en la solicitud PFC está sujeto a VL voltaje de línea, una fase a otra. Por lo tanto, la compensación kVAR total se calcula de acuerdo a la tabla LVI.

Tabla LVI. **Cálculo para la compensación conexión estrella y delta**

Fórmula	Descripción
Conexión Estrella	QTOT = Potencia reactiva total (kVAR)
$QTOT = 3 \cdot (VL)^2 / (\sqrt{3})^2 \cdot \omega \cdot C$	VL = Voltaje de línea (voltios)
$CSTAR = QTOT / [(VL)^2 \cdot \omega]$	C = Capacitancia del condensador ( $\mu F$ )
$CSTAR = QTOT / [(VL)^2 \cdot 2\pi \cdot f]$	$\omega = 2\pi f$
Conexión Delta	f = Frecuencia de la red (60Hz)
$QTOT = 3 \cdot (VL)^2 \cdot \omega \cdot C$	CSTAR = Capacitancia en estrella ( $\mu F$ )
$CDELTA = QTOT / [3 \cdot (VL)^2 \cdot \omega]$	CDELTA = Capacitancia en delta ( $\mu F$ )
$CDELTA = QTOT / [3 \cdot (VL)^2 \cdot 2\pi \cdot f]$	
$CDELTA = CSTAR / 3$	

Fuente: [www.epcos.com](http://www.epcos.com). *Power factor correction*. p. 61. Norma ANSI/IEEE STD 18.

Consulta: 15 de julio de 2016.

De la información presentada en la tabla LVI para configuraciones de PFC, se observa que son generalmente conectadas en delta, porque la conexión en estrella requiere 3 veces la capacidad de una conexión delta.

Figura 86. Banco de condensadores trifásico



Fuente: elaboración propia.

Tabla LVII. Normas aplicables a bancos de condensadores

Norma	Descripción
ANSI/IEEE Std 18	Condensadores de potencia en paralelo
IEC 60507-1991	Prueba de contaminación artificial en aisladores de alta tensión para utilizarse en sistemas de corriente alterna
IEC 60871-1-2005	Condensadores a instalar en paralelo en corriente alterna de tensión asignada superior a 1 000V. Parte 1: General-Comportamiento, pruebas y valores nominales condiciones de seguridad-guía de instalación y operación
IEC 60549-1976	Fusibles de alta tensión para la protección externa de los condensadores eléctricos de derivación

Fuente: lapem.cfe.gob.mx. Banco de capacitores para redes de distribución. p. 1.

Consulta: 15 de julio de 2016.

### **3.2.5. TVSS (*Transient Voltage Surge Suppression*)**

Los supresores de transientes (TVSS) o dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias (DPS, *Surge Protective Device*) están conceptualizados por las normas internacionales como equipos destinados a proteger las instalaciones eléctricas contra aquellas sobretensiones generadas por fenómenos transitorios.

De acuerdo con la norma NTC 4552, es un dispositivo destinado a limitar las sobretensiones transitorias, que evacua las corrientes asociadas a dicha sobretensión.

Los TVSS son dispositivos que protegerán el sistema eléctrico en el proyecto hospitalario de los siguientes fenómenos:

- Sobretensiones de origen externo, ocasionada por descargas eléctricas tipo atmosférico. Dependen directamente de las descargas por kilómetro cuadrado año asociadas con el nivel cerámico.
- Los transitorios de origen interno asociados a las sobretensiones correlacionadas con maniobra o conmutación.

Las conmutaciones de las redes industriales, particularmente las de elevada potencia, producen sobretensiones en la apertura de circuitos de protección o de mando compuestos por contactores y relés, en aplicaciones de transferencia de redes, bancos de condensadores, puesta en marcha de motores de gran potencia, encendido de soldadores y balastos.

Estas maniobras generan sobretensiones de tipo oscilatorio, de alta frecuencia y con tiempos de amortiguación rápida. Pueden perturbar el funcionamiento de ciertas cargas sensibles como computadores.

Para el cálculo de la capacidad de los TVSS se deberá cumplir con las siguientes normas:

**Tabla LVIII. Normas aplicables para la construcción de TVSS**

<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
ANSI/IEEE C62,41	<i>Recommended Practice on Surge Voltages in Low Voltage AC Power Circuits</i>
ANSI/IEEE C62,45	<i>IEEE Guide of Surge Testing for Equipment Connected to Low Voltage AC Power Circuits</i>
ANSI/IEEE C62,33	<i>Standard Test Specifications for Varistors Surge Protective Devices</i>
NTC 4552	Norma Técnica Colombiana de protecciones externas
RETIE	Reglamento técnico de instalaciones eléctricas
UL 1449 3ª. Edición	<i>Transient Voltage Surge Supresion</i>

Fuente: I.E Martín Mercado Gómez. Supresores de transientes TVSS. p. 2.

Consulta: 15 de julio de 2016.

La norma ANSI/IEEE C62,41 establece varios tópicos para la selección de un DPS:

- Clasificación
- Nivel de exposición
- Tensión y conexión
- *Clamping*
- Corriente de corto circuito de la instalación
- Otros

Clasificación: se determina 3 categorías de utilización de los supresores que dependen del lugar donde serán instalados:

- Como protección directa de la carga. Punto más cercano al equipo que será protegido.
- Como protección de alimentadores de gran potencia y circuitos ramales cortos (tableros de distribución).
- Como protección primaria en la cabecera de la instalación contra sobretensiones externas. Punto de entrada entre el transformador y el primer medio de desconexión desde la acometida de servicio.

Nivel de exposición: está asociado con el nivel de riesgo en cuanto a fenómeno rayo se refiere. Los mecanismos del rayo son muy complejos, pero se puede decir de manera simplificada que se trata de una descarga eléctrica de gran energía provocada por la diferencia de potencial entre nubes o entre nubes y suelo. Las corrientes de rayo alcanzan valores de 10 a 300 kA, con tiempo de aumento de unos pocos microsegundos.

Tensión y conexión: el nivel de tensión y el grupo de conexión son fundamentales y es importante discernir si la instalación es monofásica o trifásica y así mismo su nivel a 208V o 480V, etc. Una vez se establece el nivel de tensión es esencial determinar si es conexión "Y" o "Delta".

*Clamping*: el *clamping* o residual se define como la tensión remanente del transitorio que el DPS desvía a tierra.

Cuando el supresor deriva la intensidad generada por una sobretensión, en sus extremos aparece una tensión debida a su propia impedancia. El supresor ideal, debe derivar toda la corriente de descarga generada por la sobretensión. La tensión residual generada debe ser menor que la soportada por el equipo a proteger.

Los laboratorios UL, en su publicación UL 1449, definen diferentes niveles de tensión residual que, bajo condiciones normales de utilización, el supresor deja pasar a la instalación (sobretensiones remanentes). Entre más bajo el nivel de “tensión residual” de un supresor, será mejor. Sin embargo, cuanto mayor sea la corriente máxima de descarga del supresor, más alto será el valor de la tensión residual (*Clamping*).

Conseguir un alto poder de descarga y un bajo valor de tensión residual en un mismo supresor es difícil, por lo que la utilización de un único TVSS no asegura la protección de toda la instalación donde haya equipos sensibles. Para ello se recomienda colocar 2 o más supresores de forma coordinada, dentro del concepto de coordinación de protecciones finas.

Corriente de corto circuito de la instalación: los DPS se instalan normalmente en paralelo antes del primer medio de desconexión. Esta conexión se realiza inmediatamente aguas arriba de la protección termomagnética.

Dentro del proceso de filiación y selectividad en la coordinación de protecciones deberá existir perfecta correlación entre las protecciones finas (DPS) y las protecciones magnetotérmicas; para lo cual es de vital importancia considerar la capacidad interruptiva de estos. Una instalación eléctrica desde el nivel de riesgo bajo hasta el nivel de riesgo alto posee un SPI (sistema de protecciones internas), el cual incluye los DPS.

Un DPS clase B deberá desviar el transiente por maniobra y manejar el *clamping* después de  $2\ 500\mu\text{s}$  por la protección instalada inmediatamente aguas abajo. En cualquier condición siempre se deberá instalar una protección termomagnética aguas abajo del TVSS o DPS.

Otros: existe otra serie de características que deben cumplir los DPS y que son mandatorios dentro de lo que corresponde a la selección y la especificación de estos dispositivos:

- Tiempo de respuesta inferior a 15ns
- La energía en Joules asociada con la forma de onda y el valor pico de la onda.
- Los modos de protección (tres fases con neutro, tres fases con tierra, neutro-tierra y fases entre sí)
- Modularidad en todos los modos de protección clase ©
- Listado UL 1449 que avala el cumplimiento de la norma ANSI/IEEE C62,41

- Los supresores o TVSS limitan o filtran la potencia inducida por estas ondas de tensión a través de un sistema de varistores (Metal oxide Varistors – MOV) que absorben los impulsos de energía de sobretensión. Los varistores son elementos de resistencia variable (o de comportamiento no lineal), gracias a los cuales los supresores se comportan como un cortocircuito, ante una sobretensión de gran magnitud (que supere su valor de tensión ajustado: umbral de disparo), derivan esa energía a tierra y evitan que pase por los equipos sensibles. Después de varios impactos, la varistancia envejece y debe reemplazarse; para lo cual las especificaciones de tensión de los MOV's resultan bastante importantes.
- Corriente máxima de descarga: es el valor de la corriente en kA, que puede pasar por el supresor al menos una vez.
- Corriente nominal de descarga: es la corriente de descarga (en kA) que el supresor debe soportar como mínimo 20 impactos sin deteriorarse.

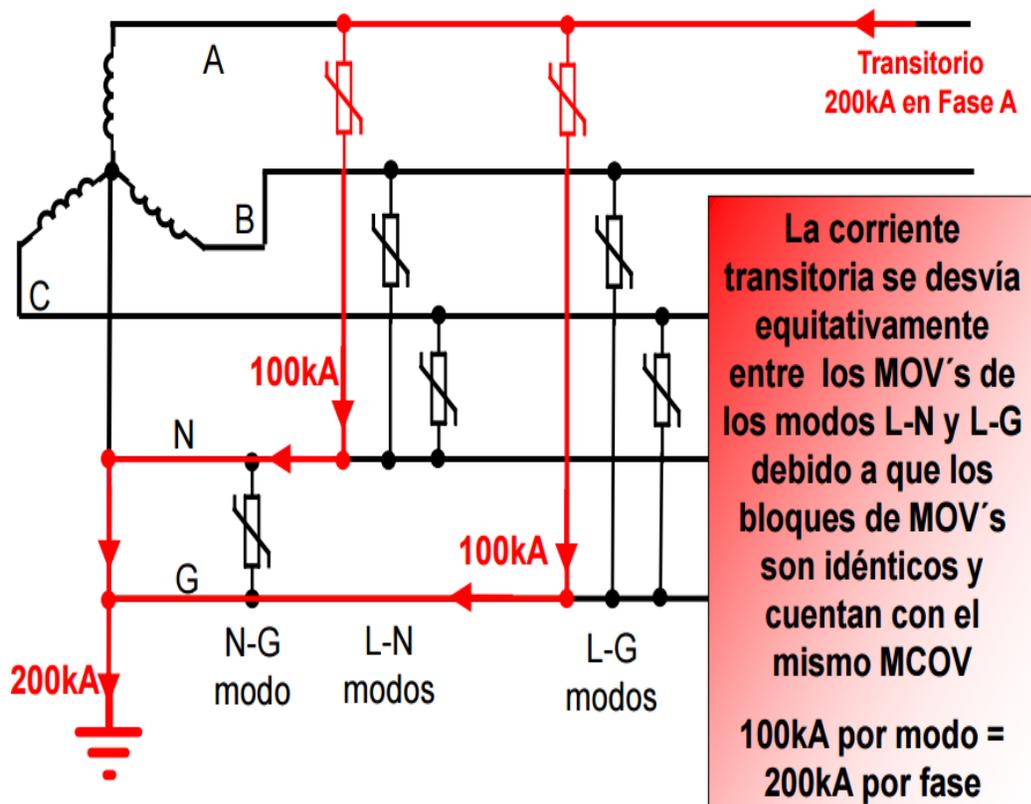
Para el proyecto hospitalario los TVSS serán instalados en cada tablero general de los sistemas normal, emergencia y crítico, el cual tendrá una capacidad de 250kA, 480 voltios. Deberá contar con luces indicadoras del estado, alarma audible en caso de falla y con una pantalla que muestre los parámetros siguientes:

- Voltaje de fases
- Contador de sobre voltajes
- Contador de caídas de voltaje
- Contador de picos de voltaje
- Contador de interrupciones de voltaje

De acuerdo con las características descritas, se cumple con lo establecido en la norma ANSI/IEEE C62,41 que además indica: los supresores deberán ser aprobados por la categoría B.

Los sistemas en estrella deben tener elementos de supresión de transientes entre cada conductor de fase y neutro, entre cada conductor de fase y tierra y entre neutro y tierra.

Figura 87. **Operación del TVSS en un sistema trifásico 4 hilos**



Fuente: [www.eaton.com](http://www.eaton.com). Normas, diseño y especificaciones supresores de transientes. p. 40.

Consulta: 16 de julio de 2016.

Deberá entregarse una indicación visible de correcta operación del equipo. La indicación debe consistir en un arreglo de LED's. No debe usarse una sola indicación para toda la unidad.

El dispositivo supresor de transientes debe ser equipado con una alarma audible, la que debe actuar cuando cualquier parte de la circuitería del supresor ha sufrido daño.

El supresor deberá tener circuitería de seguimiento de onda senoidal. El supresor debe tener circuitos de supresión que sean fácilmente reemplazables en terreno, sin necesidad de interrupción del servicio.

Figura 88. **Supresor de picos para transientes**



Fuente: [www.eaton.com](http://www.eaton.com). Normas, diseño y especificaciones supresores de transientes. p. 41.

Consulta: 16 de julio de 2016.

### 3.2.6 Interruptores de potencia

A los interruptores principales que operan los tableros generales de los sistemas normal, emergencia y crítico del centro hospitalario le denominaremos interruptores de potencia. De acuerdo al diagrama unifilar, se tiene establecida su capacidad interruptiva en amperios y se definen en la siguiente tabla:

Tabla LIX. **Capacidad de los interruptores de potencia centro hospitalario**

Sistema de operación	Demanda máxima estimada (DME) en VA	Protección principal capacidad en (A)	Tablero que controla
Normal	722 585,00	1 200 amperios / 3 Polos	TGN (Tablero general normal)
Emergencia	1 000 647,20	1 500 amperios / 3 Polos	TGE (Tablero general de emergencia)
Crítico	251 686,00	350 amperios / 3 Polos	TGC (Tablero general crítico)

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la capacidad indicada en la tabla LIX, se observa la capacidad en amperios a la cual deberá operar cada interruptor termomagnético. Para su operación y control serán instalados en los diferentes tableros generales según su especificación para cada sistema operativo.

El cálculo de la capacidad que deberá tener cada protección es de acuerdo al criterio de corriente. En la aplicación de este criterio, el NEC recomienda no cargar la capacidad del interruptor sobre el 80% de su capacidad nominal y se presenta el valor calculado en la siguiente tabla:

Tabla LX. **Cálculo de la capacidad para los interruptores de potencia**

Fórmula	Descripción
$I = S / (\sqrt{3} \cdot V)$ <b>Norma NFPA 70 (NEC)</b>	S = potencia aparente de acuerdo a la demanda máxima estimada DME
<b>Tablero general normal</b>	V = Voltaje de operación 480 voltios
$I = 722\,585VA / (\sqrt{3} \cdot 480V)$	I = Corriente en amperios
$I = 869,13 \text{ Amperios} \cdot 1,20 = 1\,042,95A$	<b>Valores de protección para tableros</b>
<b>Tablero general de emergencia</b>	
$I = 1\,000\,647,2VA / (\sqrt{3} \cdot 480V)$	TGN = 1 200 Amperios / 3 Polos
$I = 1\,203,59A \cdot 1,20 = 1\,444,30A$	
<b>Tablero general crítico</b>	TGE = 1 500 Amperios / 3 Polos
$I = 251\,686VA / (\sqrt{3} \cdot 480V)$	
$I = 302,73A \cdot 1,20 = 363,27A$	TGC = 350 Amperios / 3 Polos

Fuente: elaboración propia.

En relación al tablero general normal, estará constituido por un gabinete tipo celda 8MF, IP-40, 480/277 voltios, 5 hilos, barras de 1 500 amperios, y el *breaker* principal, el indicado 1 200 amperios / 3 polos.

El tablero general de emergencia estará constituido por un gabinete tipo celda 8MF, IP-40, 480/277 voltios, 5 hilos, barras de 2 000 amperios, con *breaker* principal de 1 500 amperios / 3 polos.

En relación al tablero general crítico, será del tipo trifásico, constituido por un gabinete NEMA 1 GT6, IP-40, 480/277 voltios, 5 hilos, barras de 400 amperios con *breaker* de 350 amperios / 3 polos.

Tabla LXI. **Normas aplicables a los interruptores termomagnéticos**

<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
IEC 60410	Los planes de muestreo y procedimientos para la inspección por atributos
IEC 60898-1	Interruptores automáticos para protección de sobrecorriente para el hogar y la instalación similares. Parte 1: Interruptores automáticos para operación de corriente alterna
IEC 60898-2	Interruptores automáticos para protección de sobrecorriente para el hogar y la instalación similares. Parte 2: Interruptores automáticos para operación de corriente alterna y corriente continua
IEC 60947-1	Aparatos de baja tensión y control. Parte 1. Reglas generales
IEC 60947-2	Aparatos de baja tensión y control. Parte 2. Los interruptores automáticos

Fuente: www.ampla.com. Especificación técnica interruptores termomagnéticos E-BT-004. p. 5.

Consulta: 18 de julio de 2016.

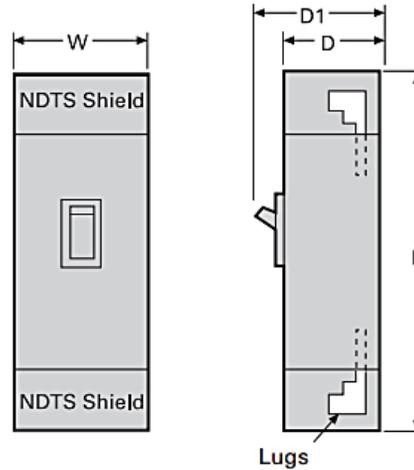
Con la información obtenida en la tabla LX, se realizará el análisis de acuerdo con la capacidad de protección calculada y se selecciona el modelo según la hoja técnica, representada en la siguiente tabla:

Tabla LXII. **Modelos a utilizar para los interruptores de potencia seleccionados**

<b>Tablero</b>	<b>Capacidad</b>	<b>Modelo</b>
TGN	1 200 amperios/ 3 Polos	HND63B120
TGE	1 500 amperios / 3 Polos	3WL12203FB341AA2
TGC	350 amperios / 3 Polos	HJD63B350

Fuente: elaboración propia.

Figura 89. Información técnica interruptor HND63B120



When lugs shield NDTs is used.

Note: NDTs lug shields are required when oversized lugs TA4P8500 or TA4N8500 are used. The kits include the NDTs shield.

**3-Pole 600V AC, 500V DC<sup>③</sup>**

800	HND63B800				MD63T800
900	HND63B900				ND63T900
1000	HND63B100		HND63F120		ND63T100
1200	HND63B120				ND63T120

**Type CND6<sup>①④</sup>**

**Fuseless Current Limiting**

**Red Label**

Non-Interchangeable Trip (Assembled Circuit Breaker)			
Continuous Current Rating @ 40°C	2-Pole	3-Pole	
		Catalog Number	List Price \$
900	For 2-pole application, use outside poles of 3-pole circuit breaker	CND63B900	
1000		CND63B100	
1200		CND63B120	

**Shipping Weights**

Number of Poles	Number per Carton	Shipping Weight (lbs.)
<b>ND6, HND6, NXD6, HNXD6, CND6 Assembled Breaker (less terminals)</b>		
2	1	53
3	1	61.5
<b>ND6, HND6 Frame Only</b>		
2	1	42.25
3	1	46
<b>ND6, HND6 Trip Unit Only</b>		
2	1	4.5
3	1	6.5

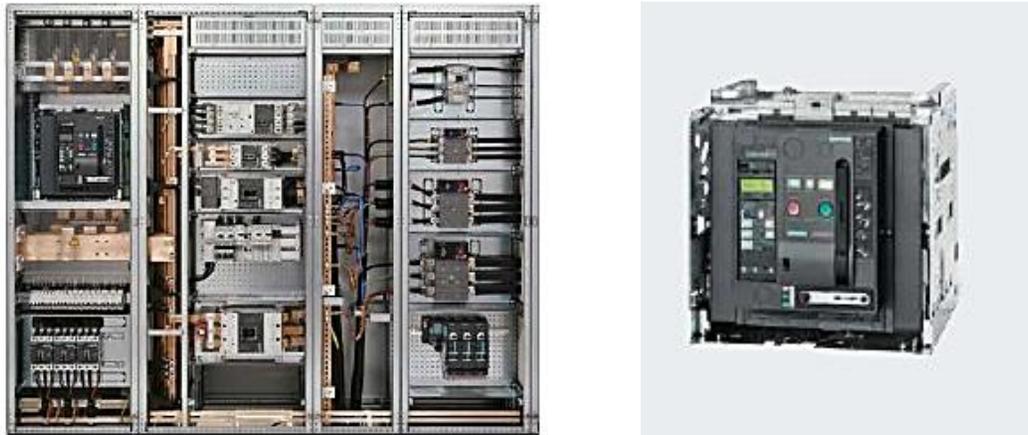
**Dimensions (in inches)**

Breaker Type	W	L	D	D1
ND6, NXD6, HND6, HNXD6, CND6, SND6, SHND6, and SCND6	9	16	6	8.25
with NDTs lug shield	9	24	6	8.25

Fuente: cmsapss.sea.siemens.com. Interruptor de caja moldeada. p. 82.

Consulta: 18 de julio de 2016.

Figura 90. Interruptor 3WL12203FB341AA2



Fuente: [www.siemens.com](http://www.siemens.com). Interruptores automáticos abiertos.

Consulta: 18 de julio de 2016.

El interruptor tipo 3WL motorizado de Siemens tiene las siguientes características:

- 3 polos, tamaño tipo II, IEC
- Corriente nominal: 2 000A a 690V, AC 50/60Hz
- Corriente de corto circuito ICU = 80kA, AT 500V
- *Frnt. conn. top/bot. Dual-hole*
- *Overcurrent trip etu 45*
- *Lsin prot adjust. 0,4 – 1 in*
- *With display and cubicle bus comm./measuring func. /earth flt./zss option*
- *W. Man. oper. mechan. & storage*
- *With mechanical request*
- *Without 1<sup>ST</sup> shunt trip*
- *Without 2<sup>ND</sup> shunt trip 2no + 2nc*

Figura 191. Información técnica para interruptor HJD63B350

Type HJD6-A, HJXD6-A<sup>②④⑥</sup>

Black Label

Interchangeable Trip						
Continuous Current Rating @ 40°C	Complete Breaker Unassembled with Lugs		Frame Only		Trip Unit Only	
	Catalog Number	List Price \$	Catalog Number	List Price \$	Catalog Number	List Price \$

3-Pole 600V AC, 500V DC<sup>①②⑤</sup>

200	HJD63B200		HJD63F400		JD63T200	
225	HJD63B225				JD63T225	
250	HJD63B250				JD63T250	
300	HJD63B300				JD63T300	
350	HJD63B350				JD63T350	
400	HJD63B400				JD63T400	



Dimensions (in inches)

Breaker Type	W	L	D	To Handle D1
Figure 1 JXD2-A, JXD6-A, JD6-A HJD6-A, HJXD6-A, HHJD6, HJD6, HJXD6, HHJXD6, JXD6-ETI, <sup>®</sup> SJD6, SHJD6	7.5	11	4	5.44
Figure 2 CJD6, CJD6-ETI, <sup>®</sup> SCJD6	7.5	17.86	4	5.44

Fuente: cmsapss.sea.siemens.com. Interruptor de caja moldeada. p. 70.

Consulta: 18 de julio de 2016.

Todos los interruptores termomagnéticos deberán tener un diseño y construcción que garantice su operación en forma segura y sin riesgo para las personas o el entorno en el cual serán instalados.

Condiciones mecánicas: el diseño y construcción de los interruptores termomagnéticos deberán cumplir con los requisitos mecánicos indicados en la sección 8,1 de la norma IEC 60898-1.

Mecanismo: los contactos deberán estar unidos mecánicamente entre sí, de forma tal que garanticen la apertura y cierre en forma simultánea en los múltiples polos, tanto para las operaciones manuales como automáticas, incluso frente a sobrecarga en solo uno de los polos.

La capacidad interruptiva o la potencia máxima de corto circuito que puede soportar un interruptor termomagnético está limitada por:

- La posición o separación de los contactos en posición abierta.
- El tiempo de apertura de los contactos hasta llegar a la posición de máxima apertura. Este tiempo, a su vez, depende generalmente de la cantidad de energía que almacena el resorte y de la fricción que existe en los pivotes del eje de los contactores.
- La capacidad de la cámara de extinción para el enfriamiento del arco.

### **3.3. Diseño del sistema de iluminación, tomas de corriente y fuerza**

La importancia del diseño de los sistemas de iluminación, tomas de corriente y fuerza, en voltaje 208/120V debe servir a dos objetivos fundamentales:

- Garantizar las óptimas condiciones para desarrollar las tareas correspondientes, y contribuir a una atmósfera en la que el paciente se sienta confortable. Todo esto mientras se garantiza la máxima eficiencia energética posible.
- La distribución de energía eléctrica de cada equipo médico por instalar.

#### **3.3.1. Diseño de iluminación de interiores**

Los centros hospitalarios son espacios para el servicio social con importantes requerimientos de confort en iluminación y, sobre todo, de prestación de las últimas técnicas médicas. Un centro hospitalario es también un centro de servicios en el campo de la salud, que se debe regir por las reglas de la economía con respecto a la calidad y coste de sus servicios.

Se deberá tener en cuenta la forma y tamaño de los espacios, los colores y los valores de reflexión de las superficies de cada ambiente, la actividad que será desarrollada, la disponibilidad de la iluminación natural y los requerimientos estéticos como de su arquitectura.

Los factores más importantes que se deberán analizar para el cálculo son los siguientes:

- El uso que se le asignará a la zona para iluminar o ambiente
- Las exigencias visuales de cada puesto de trabajo y su localización
- Las condiciones de reflexión de las superficies
- Los niveles de iluminancia y uniformidad requeridas
- La disponibilidad de la iluminación natural
- El control del deslumbramiento
- Los requerimientos especiales en las propiedades de las luminarias, por el tipo de aplicación
- Propiedades de las fuentes y luminarias, tales como:
  - El índice de reproducción del color, lo natural que aparecen los objetos bajo la luz.
  - La temperatura del color, la apariencia de calidez o frialdad de la luz.
  - El tamaño y forma de la fuente luminosa y de la luminaria.

Se aplicará los códigos y estándares del NEC, NFPA 70 y, en el caso del diseño para la iluminación, lo indicado en CIE, la Comisión Internacional de Alumbrado y de la IESNA, Sociedad de Ingeniería de Iluminación de Norteamérica.

La adecuada iluminación puede influenciar el estado de ánimo; por tanto, combinada con otros elementos, contribuir significativamente al proceso de recuperación de los pacientes.

Es importante utilizar una iluminación eficiente, mediante luminarias de alto rendimiento, que incorporen equipos de bajo consumo y lámparas de amplia relación lumen/vatio, unidas al uso de sistemas de regulación y control adecuados a las necesidades del lugar a iluminar. Esto permitirá tener unos buenos niveles de confort sin sacrificar la eficiencia energética.

En el diseño de iluminación interior del centro hospitalario se seleccionan los siguientes sistemas de iluminación de acuerdo a lo indicado en el código NEC artículo 517 NFPA 70 instalaciones en hospitales y artículo 700, utilizando los tres tipos de sistemas de distribución de energía: crítico, emergencia y normal, en una combinación para los diferentes ambientes. Así como las luminarias, lámparas, equipos auxiliares de encendido y sistemas de regulación y control.

Se deberá cumplir con las siguientes características: las recomendaciones de calidad y confort visual, crear ambientes agradables y confortables para los usuarios de las instalaciones, relacionar el uso de energía con instalaciones de la mayor eficiencia energética posible.

Se consideran aceptables los valores de los distintos parámetros de iluminación que definen la calidad de las instalaciones de iluminación recogidos en las siguientes normas:

- UNE-EN -60598,1 Luminarias
- UNE-EN-60598,2,22 Luminarias para alumbrado de emergencia
- UNE-EN-12464-1:2003 Iluminación de los lugares de trabajo. Parte 1. Lugares de trabajo en interiores
- IESNA.IES *Lighting Handbook*

El diseño estará basado en el método del flujo total (lumen) que analiza las cavidades zonales del local, el cálculo y la selección de las luminarias de acuerdo a los ambientes del centro hospitalario; todos aquellos locales, edificios o conjunto de edificios, de carácter multidisciplinario, donde se realiza variadas actividades de carácter médico o paramédico propias de la función asistencial y/o hospitalaria.

En el ámbito hospitalario se considerará en toda su amplitud, comprendiendo tanto las áreas propias de las diferentes disciplinas médicas, como las de todas las actividades de hospitalización y auxiliares necesarias para el buen funcionamiento de este centro de diagnóstico: consultorios, radiología, laboratorios de análisis, electrocardiogramas, escáner. De terapia: rehabilitación, radioterapia, fisioterapia, quirófanos, urgencias, salas de curas, hemodiálisis. Enfermería, hospitalización, oficinas, UCI (unidad de cuidados intensivos), salas de espera, farmacia.

Además, oficinas de administración, cocinas, cafetería, comedor, salas de máquinas, capilla, gimnasio, sala de actos o (auditórium), lavandería, *lobby*, *hall*, accesos, aparcamientos, jardines, etc.

Se define el método de lúmenes como el intercambio radioactivo entre la parte superior y la base de un espacio rectangular; es una función de las proporciones de su longitud, ancho y altura. Los valores de relaciones de cavidad aproximan este efecto, combinando estas proporciones en una sola cantidad.

Se divide el espacio o ambiente en zonas o cavidades individuales: la del cielo raso, la del local y la del piso.

Esta metodología de analizar por separado el comportamiento de los tres sectores más importantes del volumen total de un local por iluminar, proporciona a los cálculos realizados por este método una mayor precisión. Para calcular el nivel medio de iluminación que se registra en un determinado local (y esto es común a cualquier método que se utilice) se deberán aplicar las siguientes relaciones.

- Relación de cavidad del lugar RCR o hRC
- Relación de cavidad del techo CCR o hCC
- Relación de cavidad del piso FCR o hFC

La relación de cavidad se calculará de acuerdo a la fórmula siguiente:

Tabla LXIII. **Cálculo para la relación de cavidad zonal**

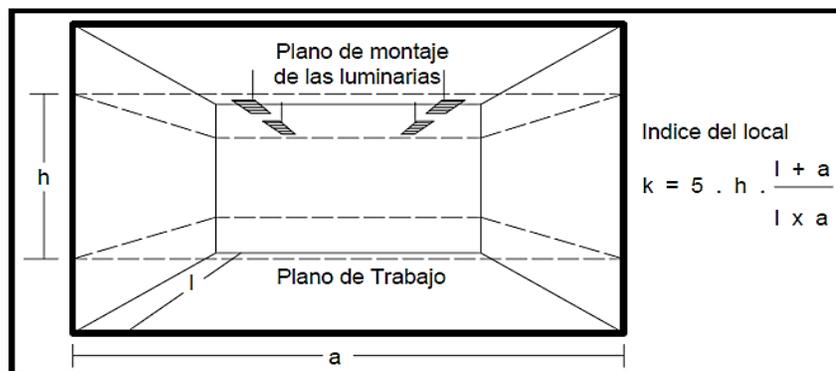
Fórmula	Descripción
$RCL=5 \cdot h \cdot [(l + a) / (l \cdot a)]$	RCL = relación de cavidad del local
<b>Norma UNE-EN-60598</b>	h = altura de montaje de la luminaria sobre el plano de trabajo (m)
	a = ancho de local (m)
	l = largo del local (m)

Fuente: [www.hubbell.com](http://www.hubbell.com). Guía de selección de productos para iluminación *hubbell lighting*. p. 373. Consulta: 07 de agosto de 2015.

El resultado de esta fórmula será un número entre 1 y 10, si bien existen casos de locales sumamente atípicos cuyo índice de local K o *Room Cavity Ratio* (RCR). La razón de cavidad del cuarto podrá ser inferior a 1 y también superior a 10. Cuanto menor sea el número mayor será la superficie del local con respecto a su altura y viceversa.

El fabricante de luminarias proporciona para cada una de ellas la información correspondiente a la fotometría y la tabla para determinar el valor del índice del local y tiene como referencia los valores de las razones de cavidad del cielo, paredes y piso. El valor nos sirve para determinar el coeficiente de utilización de la luminaria por utilizar en cada ambiente.

Figura 92. **Cálculo para determinar el índice del local “K”**



Fuente: [www.hubbell.com](http://www.hubbell.com). Guía de selección de productos para iluminación *hubbell lighting*. p. 373. Consulta: 07 de agosto de 2015.

En la figura anterior se observa que “h” está en función de la altura de montaje de la luminaria y del plano de trabajo, lo que corresponde al método del coeficiente de utilización, con características geométricas del local o razones de cavidad.

En nuestros cálculos utilizamos la siguiente fórmula para calcular el nivel medio de iluminación que se registra en determinado local:

Tabla LXIV. **Cálculo del flujo luminoso total**

Fórmula	Descripción	Unidad de medida
$\phi T = [(E \text{ medio} \cdot A) / (cu \cdot fm)]$	$\phi T$ = Flujo total luminoso requerido	Lumen (lm)
	E medio = Iluminación media requerida	Lux (lx)
	A = área del local	Metros cuadrados (m <sup>2</sup> )
	cu = Coeficiente de utilización de la instalación	
	fm = Factor de mantenimiento o depreciación de la instalación	

Fuente: Norma UNE-EN-60598.

### 3.3.1.1. Iluminación recomendada para locales de asistencia médica

Se basa en la actividad visual y espacios. Con base en la similitud de las tareas, en el centro hospitalario se puede distinguir genéricamente los siguientes grupos clasificados según el nivel de percepción que se precisa para realizar la tarea o función específica.

La función de la iluminación es dar confianza, tranquilidad y esperanza a los pacientes. Para cumplir con estos requerimientos, el alumbrado tiene que adaptarse cuidadosamente a los principales propósitos de una habitación y, al mismo tiempo, mantener el criterio de calidad en la medida que sea posible.

Principios generales: en el diseño de alumbrado para los recintos que serán utilizados solamente para la ejecución de tareas visuales por el personal del hospital, por ejemplo; laboratorios, oficinas, cocinas y talleres, debe realizarse conforme a lo indicado por la CIE en la cantidad de iluminación media requerida en LUX.

En las habitaciones que son usadas solamente para alojar pacientes y no para propósitos de tratamiento, por ejemplo, cuartos, salas de espera, etc. el factor principal es el bienestar de los pacientes, fisiológica y psicológicamente. No solamente la elección del alumbrado adecuado sino también de la coloración y la reproducción del color, son factores importantes en estos lugares.

Los requerimientos de iluminación para los médicos y el personal técnico tiene prioridad, en las salas de quirófanos, pero aún en estos lugares el estado de ánimo de los pacientes es el factor más importante que hay que resguardar, excepto donde se necesite un adecuado alumbrado para cumplir con los requerimientos de cuidado o tratamiento en los puestos de trabajo del personal que lleva a cabo dicho tratamiento. De acuerdo a las tareas desarrolladas en el centro hospitalario se distinguen los siguientes grupos de clasificación, según el nivel de percepción que se precisa para realizar dicha tarea o función específica.

#### **3.3.1.1.1. Actividad visual**

- Espacios con actividad visual elevada: la iluminación en sala de operaciones siempre debe estar estrechamente ligada con la iluminación de la mesa de operaciones.

La diferencia de luminancias entre dos tipos de iluminación debe estar restringida al rango entre 5:1 y 10:1, a fin de evitar dificultades fisiológicas y psicológicas durante la adaptación. En vista de que la iluminación requerida en la mesa de operación es muy alta, sería necesario un gran incremento en la iluminación general, lo que ocasionaría problema en la disipación del calor.

De esta forma es posible, manteniendo las relaciones de contraste recomendados, obtener los valores de iluminación general que no involucran dificultades en el diseño con el aire acondicionado en las salas de cirugía. De acuerdo con los requerimientos se deberá tener un nivel de iluminación general de 1 000 lux, por lo que el valor de la luminaria por seleccionar para la sala de cirugía corresponderá a 10 000 lux de acuerdo con la tabla LXVII.

**Tabla LXV. Parámetros recomendados para quirófanos**

Tipo de estancia	Tipo de iluminación o actividad	Iluminación media Em (lux)	Tono de luz	Grupo de rendimiento de color	Clase de calidad al deslumbramiento directo
Quirófanos	Iluminación general	1 000	Neutro	1A	A
	Iluminación zona operación	2 000 a 10 000	Neutro	1A	A
	Iluminación alrededores	2 000	Neutro	1A	A
Salas anexas	Iluminación general	500	Neutro	1B	B
	Lavados	500	Neutro	1B	C
	Salas de preparación	500	Neutro	1B	B
	Sala de instrumental	500	Neutro	1B	A
	Salas de esterilización	500	Neutro	1B	A
	Salas de recuperación	500	Neutro	1B	B

Fuente: Guía técnica de eficiencia energética en iluminación. Hospitales y centros de atención primaria. p. 45. Consulta: 15 de agosto de 2015.

Se realizará el análisis para el cálculo de las luminarias por utilizar en los ambientes de quirófanos, por ser la parte medular de la instalación hospitalaria, ya que los demás ambientes son similares o de menor nivel de iluminación.

Quirófanos: de acuerdo con el método de cavidad zonal, se calculará el área del ambiente y se determinará el valor del índice local “K”, el nivel de iluminación recomendado por el CIE es, para el área general de 300 mínimo, a 1 000 Lux muy bueno. En el diseño se utilizará el valor de 1 000 Lux. Para la luminaria se utiliza una iluminación tipo directa, de acuerdo a la siguiente tabla de clasificación de los quirófanos, con una altura de montaje para el cielo falso de 2,70 metros y un plano de trabajo de 0,85 metros.

Tabla LXVI. **Valor del índice local “K” para quirófanos**

No. Ambiente arquitectura	Clave	Quirófano	Ancho (m)	Largo (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Índice K
1051343,0	A	Emergencia ginecoobstetricia	4,64	4,74	21,99	3,94 ≈ 4
1051346,0	B	Emergencia ginecoobstetricia	5,22	4,76	24,85	3,71 ≈ 4
1051318,0	C	Para cesárea	4,64	4,78	22,18	3,93 ≈ 4
1051316,1	D	Sala de expulsión	4,70	4,78	22,47	3,90 ≈ 4
1051316,2	E	Sala de expulsión	4,31	4,78	20,60	4,08 ≈ 4
1051319,0	F	Sala de legrado	4,98	4,78	23,80	3,79 ≈ 4
1050109,0	G	Cirugía simultanea	7,43	7,05	52,38	2,56 ≈ 3
1050108,1	H	Cirugía electiva	5,57	7,05	39,27	2,97 ≈ 3
1050108,2	I	Cirugía electiva	5,65	7,05	39,83	2,95 ≈ 3
1050108,3	J	Cirugía electiva	5,68	7,05	40,04	2,94 ≈ 3
1100008,1	K	Cirugía ambulatoria	6,30	5,16	32,51	3,26 ≈ 3
1100008,2	L	Cirugía ambulatoria	6,24	5,16	32,20	3,28 ≈ 3
1051405,1	M	Emergencia	5,18	5,37	27,82	3,51 ≈ 4
1051405,2	N	Emergencia	4,59	5,37	24,65	3,74 ≈ 4

Fuente: elaboración propia.

Con los valores obtenidos del índice local “K” en la tabla anterior, se procede a encontrar el coeficiente de utilización “cu” de las tablas que proporciona el fabricante. De acuerdo con el tipo de luminarias que elegimos, en este caso serán de luz directa, luminaria fluorescente 4X32 watts, gabinete de 2´X4´ para empotrar en cielo falso de tablayeso, tipo *clean room*, difusor acrílico A12 con protección UV, balastro electrónico alto factor de potencia THD 10% o menor, 120 voltios.

Se procede a calcular de acuerdo con la tabla XLVI, en donde se observa que son 14 quirófanos y están identificados de acuerdo con los ambientes asignados por arquitectura. Para el análisis se le ha asignado una clave.

Con la información anterior se observa que hay una luminaria con 4 lámparas, con un flujo luminoso de 2 850 lúmenes/lámpara.

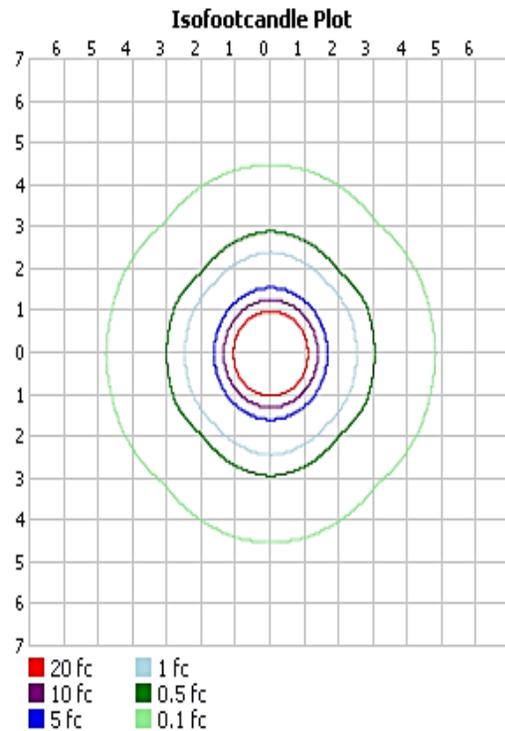
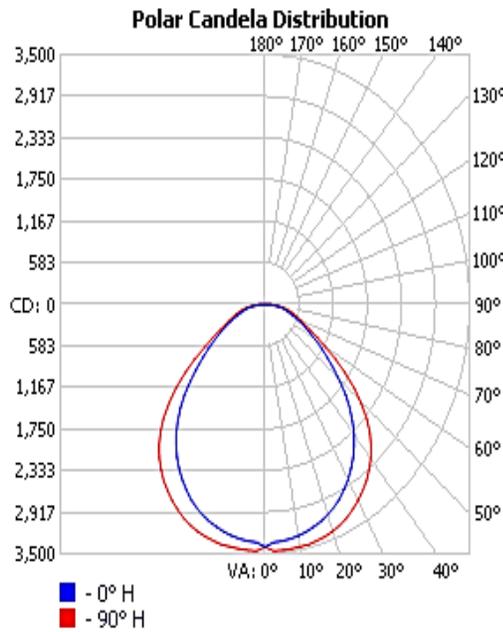
En la hoja técnica de la luminaria elegida se encuentra la información para la curva de fotometría de la luminaria, flujo luminoso por lámpara, tipo de iluminación, potencia consumida en watts (ver figura 93). Se indica la distribución del flujo luminoso en relación al ángulo de apertura, y la relación entre los lúmenes comprendidos en el área por iluminar; se define que la luminaria es la adecuada para la actividad a desarrollar. De acuerdo con la clasificación (CIE) de valores para porcentaje de flujo, en el hemisferio superior e inferior de la horizontal, por ser una luminaria directa, hemisferio superior del 0 al 10%, hemisferio inferior 90 a 100%.

Figura 93. Hoja técnica de la luminaria y distribución fotométrica

TEST LAB: ACUITY BRANDS LIGHTING CONYERS LAB  
 TEST DATE: 1/31/2008  
 CATALOG: 2GT8 4 32 A12  
 DESCRIPTION: GENERAL PURPOSE T8 TROFFER, 2'X4', WITH FOUR LAMPS AND #A12 LENS  
 SERIES: GT8  
 LAMP CAT #: F32T8  
 LAMP: FOUR 32-WATT T8 LINEAR FLUORESCENT  
 LAMP OUTPUT: 4 LAMPS, RATED LUMENS/LAMP: 2850  
 BALLAST / DRIVER: REL-4P32-SC BF=.877  
 INPUT WATTAGE: 112  
 LUMINOUS OPENING: RECTANGLE (L: 1.15M, W: 0.54M)  
 TER VALUE: 71 (BF = 1)  
 TER CATEGORY: RECESSED, LINEAR  
 CIE CLASS: DIRECT  
 MAX CD: 3,463.0 AT HORIZONTAL: 90°, VERTICAL: 2.5°  
 SPACING CRITERION: @ 0 = 1.24 / @ 90 = 1.38  
 EFFICIENCY: 78.6%



**PRODUCT LINKS**



Fuente: www.lithonia.com/photometrics. Consulta: 16 de agosto de 2015.

Tabla LXVII. **Coeficiente de utilización de la luminaria por el fabricante**

COEFFICIENTS OF UTILIZATION - ZONAL CAVITY METHOD																								
EFFECTIVE FLOOR CAVITY REFLECTANCE: 20%																								
RCC %:	80				70				50				30				10				0			
RW %:	70	50	30	0	70	50	30	0	50	30	20	50	30	20	50	30	20	50	30	20	0			
RCR: 0	.94	.94	.94	.94	.91	.91	.91	.79	.87	.87	.87	.84	.84	.84	.80	.80	.80	.79						
1	.86	.82	.79	.76	.84	.81	.78	.67	.77	.75	.73	.74	.72	.71	.71	.70	.68	.67						
2	.79	.73	.68	.63	.77	.71	.67	.58	.68	.64	.61	.66	.63	.60	.63	.61	.58	.57						
3	.72	.64	.58	.53	.70	.63	.57	.50	.61	.56	.52	.59	.55	.51	.57	.53	.50	.49						
4	.66	.57	.51	.46	.65	.56	.50	.43	.54	.49	.45	.53	.48	.44	.51	.47	.44	.42						
5	.61	.51	.45	.40	.60	.51	.44	.38	.49	.43	.39	.47	.43	.39	.46	.42	.38	.37						
6	.57	.47	.40	.35	.55	.46	.39	.34	.44	.39	.34	.43	.38	.34	.42	.37	.34	.32						
7	.53	.42	.36	.31	.51	.42	.35	.30	.40	.35	.31	.39	.34	.30	.38	.34	.30	.29						
8	.49	.39	.32	.28	.48	.38	.32	.27	.37	.31	.27	.36	.31	.27	.35	.31	.27	.26						
9	.46	.35	.29	.25	.45	.35	.29	.24	.34	.29	.25	.33	.28	.25	.33	.28	.24	.23						
10	.43	.33	.27	.23	.42	.32	.27	.22	.32	.26	.22	.31	.26	.22	.30	.26	.22	.21						

Fuente: [www.lithonia.com/photometrics](http://www.lithonia.com/photometrics). Consulta: 16 de agosto de 2015.

Valores de reflectancias en quirófanos: el color blanco se utilizará para el cielo con 80%, verde claro para paredes con el 70% y para el piso, el 20%.

De acuerdo con la CIE se recomienda los siguientes valores para el factor de mantenimiento en las luminarias (ver tabla LXVIII).

Tabla LXVIII. **Valores para el factor de mantenimiento de luminarias**

Frecuencia de limpieza (años)	1	1	1	1	2	2	2	2
Condiciones ambientales	P	C	N	D	P	C	N	D
Luminarias abiertas	0,96	0,93	0,89	0,83	0,93	0,89	0,84	0,78
Reflector parte superior abierta	0,96	0,90	0,86	0,83	0,89	0,84	0,80	0,75
Reflector parte superior cerrada	0,94	0,89	0,81	0,72	0,88	0,80	0,69	0,59
Reflectores cerrados	0,94	0,88	0,82	0,77	0,89	0,83	0,77	0,71
Luminaria a prueba de polvo	0,98	0,94	0,90	0,86	0,95	0,91	0,86	0,81
Luminaria con emisión indirecta	0,91	0,86	0,81	0,74	0,86	0,77	0,66	0,57

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIX. **Descripción de la simbología en la tabla del factor de mantenimiento**

Símbolo	Descripción
P	<i>Pure</i> – Puro o muy limpio
C	<i>Clean</i> – Limpio
N	Normal
D	<i>Dirty</i> – Sucio

Fuente: elaboración propia.

Con la información obtenida de las tablas LXIV, LXV, LXVI, LXVII, LXVII y LXIX, se determinará el valor del flujo luminoso total de la luminaria. Se utilizará un factor de mantenimiento de un año con lámparas limpias que corresponde a 0,88.

Los valores del flujo luminoso total nos permitirán calcular el número de luminarias por instalar en cada quirófano, de acuerdo con la siguiente fórmula:

Tabla LXX. **Cantidad de luminarias a instalar en quirófanos**

<b>Fórmula</b>	<b>Descripción</b>
$N = \Phi_T / (\Phi_L \cdot n)$	N = número de luminarias requeridas
	n = número de lámparas por luminaria
	$\Phi_T$ = flujo luminoso total o requerido (lm)
	$\Phi_L$ = flujo luminoso por lámpara (lm)

Fuente: Norma UNE-EN-60598.

El emplazamiento de las luminarias en los quirófanos a lo ancho y largo se calculará de acuerdo a la fórmula siguiente:

Tabla LXXI. **Emplazamiento para luminarias a lo ancho y largo**

<b>Fórmula</b>	<b>Descripción</b>
$N \text{ ancho} = \sqrt{(N \text{ Total} / b)} \cdot a$	N ancho = número de luminarias requeridas a lo ancho
$N \text{ Largo} = N \text{ ancho} \cdot (b/a)$	N Total = número de luminarias requeridas
	N Largo = número de luminarias requeridas a lo largo
	b = largo del local en metros
	a = ancho del local en metros

Fuente: Norma UNE-EN-60598.

Tabla LXXII. **Cálculo para determinar el número de luminarias en quirófanos**

Ambiente asignado quirófanos	a (m)	b (m)	E medio (lux)	Área (m <sup>2</sup> )	Cu	fm	ØT (lúmenes)	ØL (lm)	n	No. de luminarias		
										N	N ancho	N largo
A	4,64	4,74	1 000	21,99	0,66	0,88	37 861,57	2 850	4	3	2	2
B	4,76	5,22	1 000	24,85	0,66	0,88	42 785,81	2 850	4	4	2	2
C	4,64	4,78	1 000	22,18	0,66	0,88	38 188,70	2 850	4	3	2	2
D	4,70	4,78	1 000	22,47	0,66	0,88	38 688,01	2 850	4	3	2	2
E	4,31	4,78	1 000	20,60	0,66	0,88	35 468,32	2 850	4	3	2	2
F	4,78	4,98	1 000	23,80	0,66	0,88	40 977,96	2 850	4	4	2	2
G	7,05	7,43	1 000	52,38	0,72	0,88	90 185,95	2 850	4	8	3	3
H	5,57	7,05	1 000	39,27	0,72	0,88	67 613,64	2 850	4	6	2	3
I	5,65	7,05	1 000	39,83	0,72	0,88	68 577,82	2 850	4	6	2	3
J	5,68	7,05	1 000	40,04	0,72	0,88	68 939,39	2 850	4	6	2	3
K	5,16	6,30	1 000	32,51	0,72	0,88	55 974,52	2 850	4	5	2	2
L	5,16	6,24	1 000	32,20	0,72	0,88	55 440,77	2 850	4	5	2	2
M	5,18	5,37	1 000	27,82	0,66	0,88	47 899,45	2 850	4	4	2	2
N	4,59	5,37	1 000	24,65	0,66	0,88	42 441,46	2 850	4	4	2	2

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXIII. **Criterio para montaje e instalación de luminarias en quirófanos según altura**

Tipo de luminaria	Altura del local	Distancia máxima entre luminarias
Intensiva	>10 metros	$e \leq 1,2h$
Extensiva	6 – 10 metros	$e \leq 1,5h$
Semi extensiva	4 – 6 metros	$e \leq 1,5h$
Extensiva	$\leq 4$ metros	$e \leq 1,6h$

Fuente: elaboración propia.

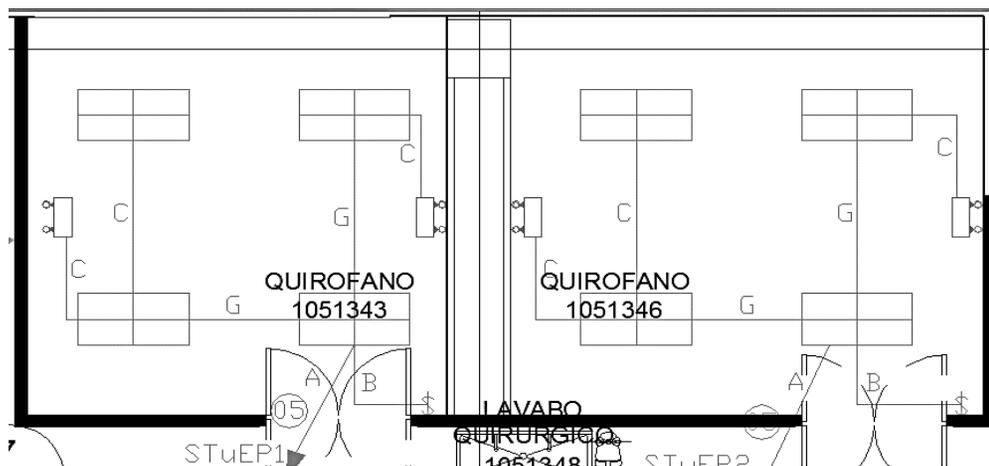
Las luminarias diseñadas para los quirófanos se asignan al sistema crítico, ya que en ningún momento debe hacer falta la energía eléctrica para las lámparas durante un procedimiento quirúrgico.

La elección de la luminaria utilizada en los quirófanos se ha realizado cumpliendo con lo indicado en la norma UNE-EN-60598, que define como luminaria al aparato de alumbrado que reparte, filtra o transforma la luz emitida por una o varias lámparas y que comprende todos los dispositivos necesarios para el soporte, la fijación y protección de lámparas.

En el diseño de iluminación para los quirófanos solamente se ha analizado la iluminación general, ya que en cada uno de los ambientes se deberá instalar una luminaria para sala de operaciones, denominada lámpara quirúrgica, para cirugía mayor, de acuerdo con lo indicado en la tabla LXV, iluminación zona de operación.

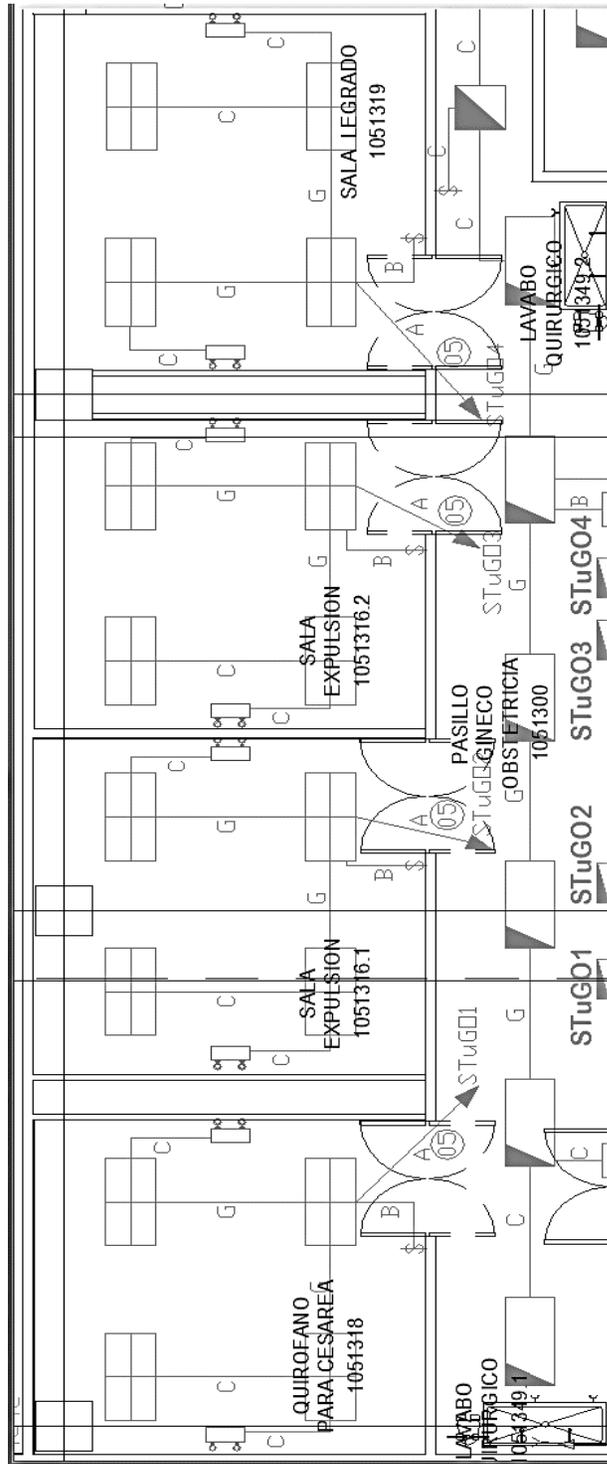
En las figuras 94 a 98 se observará la distribución de luminarias en los ambientes indicados en la tabla LXIV de acuerdo con el diseño, interruptores, canalización y cableado, según clave asignada para energizar los circuitos.

Figura 94. **Distribución de luminarias en quirófanos A y B**



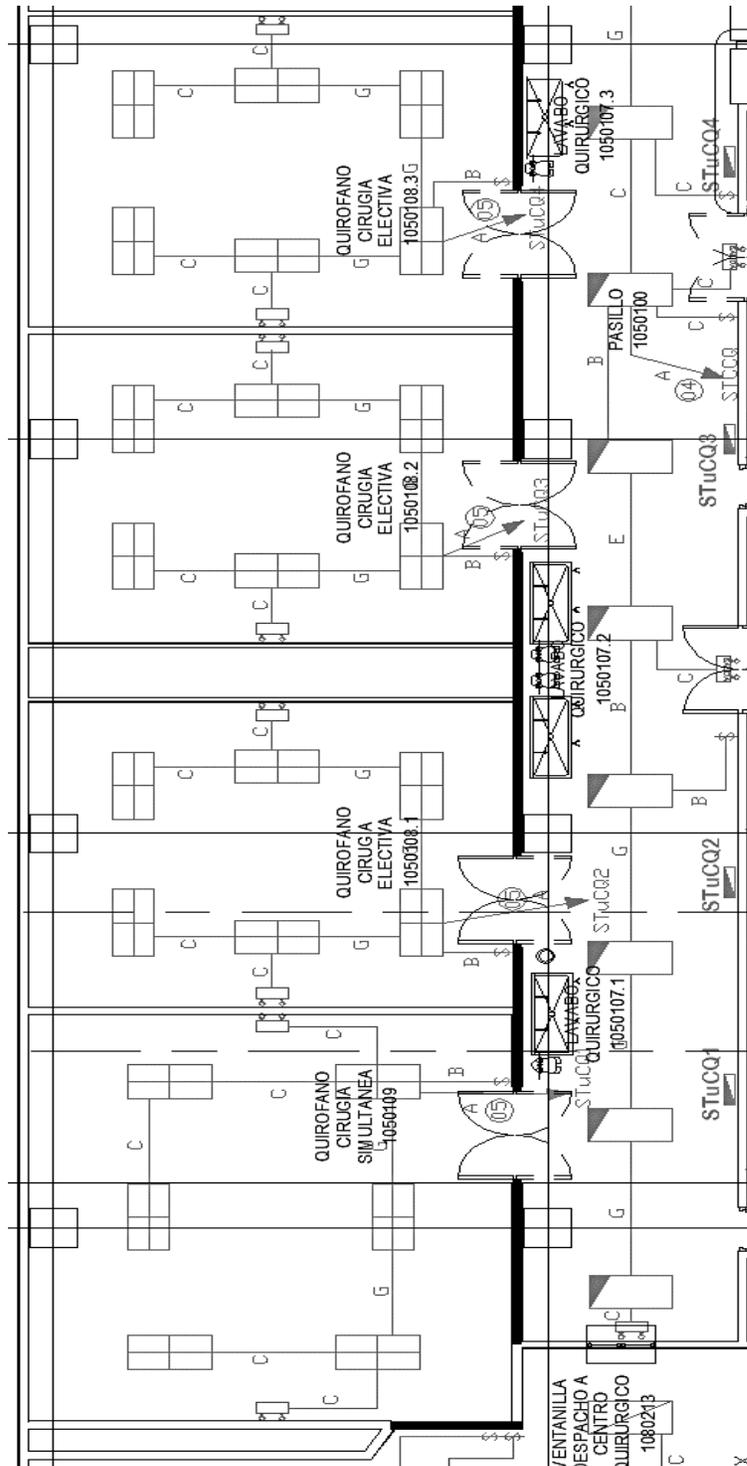
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 95. Distribución de luminarias en quirófanos C, D, E, y F



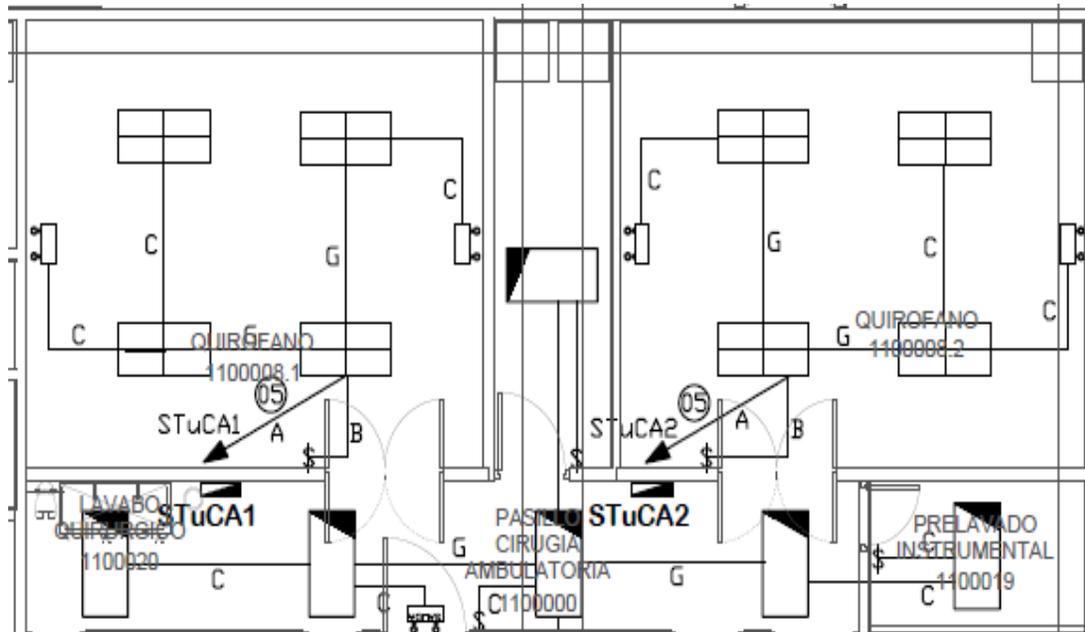
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 96. Distribución de luminarias para quirófanos G, H, I, J



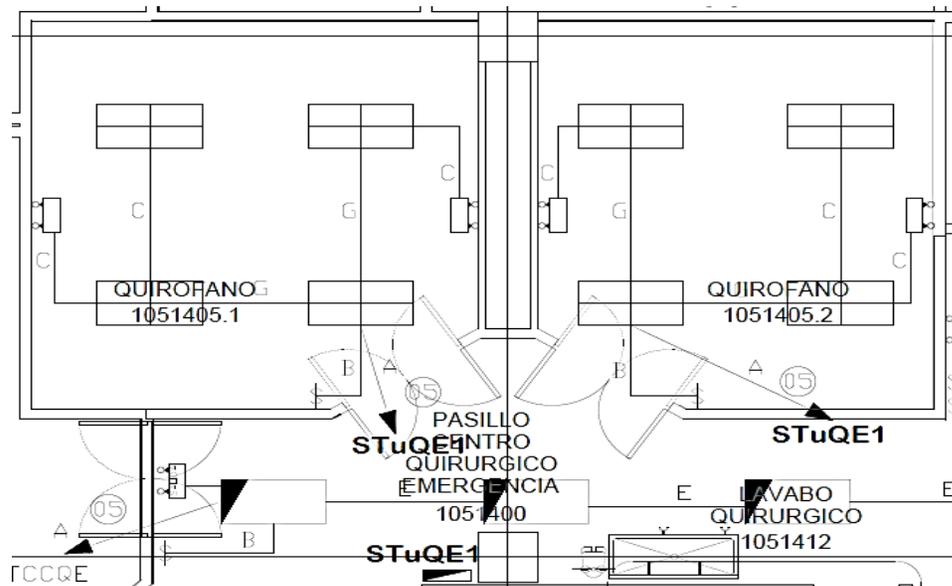
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 97. **Distribución de luminarias para quirófanos K y L**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 98. **Distribución de luminarias para quirófanos M y N**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Las luminarias para los procedimientos de cirugía serán de una característica especial y su ubicación deberá ser sobre la mesa de operaciones con un sistema de anclaje de acuerdo con la capacidad de carga del equipo por instalar.

**Figura 99. Luminaria tipo cielítica para quirófanos**



Fuente: <http://web.ua.es/es/gvc/documentos/trabajos-ergonomía-visual/iluminación-en-hospitales.pdf>. p. 9. Consulta: 25 de agosto de 2015.

**Figura 100. Montaje de luminaria tipo cielítica para quirófanos**



Fuente: [www.ilumitecsas.com](http://www.ilumitecsas.com). Consulta: 25 de agosto de 2015.

Dentro de los espacios con actividad visual elevada también están los siguientes ambientes dentro del centro hospitalario.

Tabla LXXIV. **Espacios con actividad visual elevada**

<b>Ambiente</b>	<b>Nivel de iluminación</b>
Laboratorios	500 lux
Sala de rehabilitación y terapia	300 lux
Salas de reconocimiento y tratamiento	1 000 lux
Unidad de cuidados intensivos UCI	Alumbrado general 100 lux Exámenes simples 300 lux Examen y tratamiento 1 000 lux Vigilancia nocturna 20 lux
Servicios de urgencia	300 lux
Salas de rayos "X"	500 lux
Salas de radio terapia	500 lux
Salas de consulta externa	400 – 1 000 lux

Fuente: elaboración propia.

Para estos ambientes se utilizará el mismo método de cálculo para las luminarias, en relación al valor establecido del nivel de iluminación recomendado por la CIE en la tabla LXXIV.

- Espacios con actividad visual normal. En la siguiente tabla se presenta los valores indicados por la CIE para estos espacios y su cálculo para las luminarias se ejecutará de igual manera al establecido por el método de los lúmenes para los quirófanos.

Tabla LXXV. **Espacios con actividad visual normal**

<b>Ambiente</b>	<b>Nivel de iluminación (Em)</b>
Unidades de hospitalización	400 – 1 000 lux
Farmacia	500 lux
Oficinas	300 – 500 lux
Despachos	500 lux

Fuente: elaboración propia.

- Espacios con actividad visual baja, la siguiente tabla presenta los valores del nivel para iluminación de los ambientes mencionados y el proceso para de cálculo para luminarias corresponde al método de lúmenes.

Tabla LXXVI. **Iluminación recomendada para espacios con actividad baja**

<b>Ambiente</b>	<b>Nivel de iluminación (Em)</b>
Vestíbulos	50 – 200 lux
Pasillos y escaleras	100 – 300 lux
Comedores y cafeterías	200 – 600 lux
Servicios	100 – 200 lux
Almacenes	50 – 200 lux
Zonas de espera y paso	200 – 600 lux

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.1.1.2. Espacios de representación

En los centros hospitalarios existen determinadas zonas o locales especialmente significativas, cuya función está en base a los eventos que se realizarán, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla LXXVII. **Espacios de representación en el centro hospitalario**

<b>Ambiente</b>	<b>Nivel de iluminación (Em)</b>
Sala de actos o Auditorium	100 lux
Zonas de dirección	300 lux
Despachos de consulta	300 lux
Accesos exteriores	200 lux

Fuente: elaboración propia.

Actividades especiales. Se clasifican como las actividades propias del centro hospitalario que requieren elevadas exigencias de realización visual, dentro de las cuales están los quirófanos, laboratorios, salas de curas, autopsias, etc.

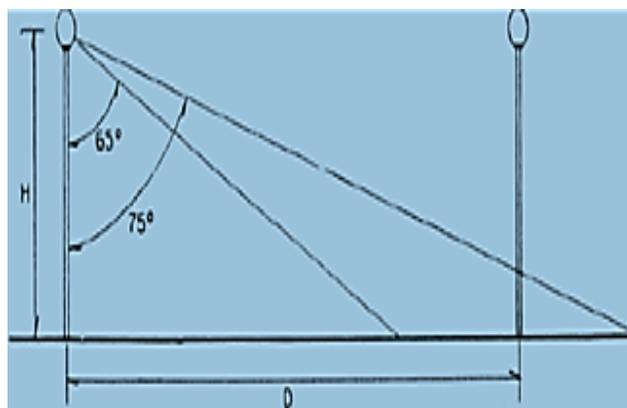
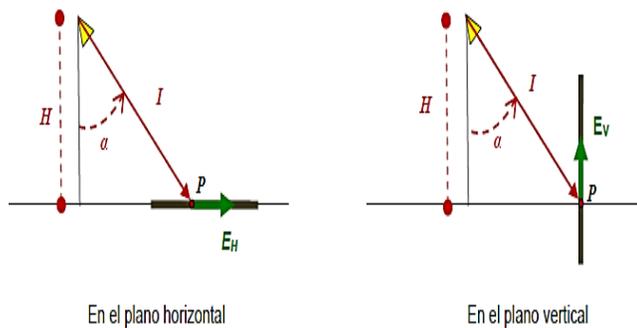
Hay que tener presente que un hospital es un recinto donde se desarrollan las mismas actividades que las habituales en situaciones normales y que, además de forma totalmente imprevista, se pueden presentar circunstancias fuera de cualquier prevención. Por esta particularidad, se puede decir que, dentro de las áreas consideradas específicamente hospitalarias, tanto de forma permanente como esporádica, todas pueden clasificarse como especiales.

### 3.3.2. Diseño de iluminación de exteriores

Para desarrollar los cálculos se puede utilizar el método de punto por punto el cual nos proporciona los valores de luminancia en puntos concretos. Se analiza en dos planos, el horizontal y el vertical, el comportamiento de las luminarias.

Para este análisis se utiliza la ley del coseno: cuando la superficie iluminada no es perpendicular a la dirección del rayo luminoso, como el punto considerado en la gráfica, la iluminancia recibida se descompone en una componente horizontal  $E_H$  y una componente vertical  $E_V$ .

Figura 101. Cálculo por la ley del coseno



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Tabla LXXVIII. **Fórmulas aplicables al método de punto por punto**

Fórmula	Descripción
$EH = (I \cdot \cos^3 \alpha) / H^2$	EH = nivel de iluminación en un punto de una superficie horizontal (en lux)
$EV = (I \cdot \cos^2 \alpha \cdot \text{sen} \alpha) / H^2$	EV = nivel de iluminación en un punto de una superficie vertical (en lux)
	I = Intensidad de flujo luminoso según la dirección del punto a la fuente. Se obtiene de los diagramas polares de la luminaria que proporciona el fabricante
	$\alpha$ = ángulo formado por el rayo luminoso y la vertical que pasa por la luminaria
	H = Altura del plano de trabajo a la lámpara en (m)

Fuente: Norma IESNA.

El método que se utilizará para la iluminación de áreas exteriores corresponde al cálculo del coeficiente de utilización (C.B.U.) con curvas isocandelas para el alumbrado exterior, el que analizará las curvas de fotometría, ya que de acuerdo con ellas se puede observar el comportamiento de la luminaria en el plano de trabajo.

La curva de distribución luminosa: es el resultado de tomar medidas de intensidad luminosa a diferentes ángulos alrededor de una fuente de luz o luminaria y representarlas en forma gráfica, normalmente en coordenadas polares. La distancia de cualquier punto de la curva al centro indica la intensidad luminosa de la fuente en esa dirección (a mayor distancia mayor intensidad).

Estas mediciones se efectúan en distintos planos verticales de la luminaria, ya que la emisión de luz podrá diferir de uno a otro según el tipo de lámpara y difusor (*louver*).

Para seleccionar el proyector adecuado se utilizará la tabla de apertura para ángulos que proporcionan los fabricantes. En el catálogo de *Hydrel* de *Lithonia Lighting* se indica los tipos de apertura para ángulos y su clasificación.

Tabla LXXIX. **Clasificación, tipo y apertura de ángulos para proyectores**

<b>Ángulo de campo en grados</b>	<b>IES TIPO (NEMA)</b>	<b>Distancia de proyección</b>	<b>Descripción</b>
10° hasta 18°	1	Mayor a 80 m	Muy estrecho
18° hasta 29°	2	66 a 80 m	Estrecho
29° hasta 46°	3	58 a 66 m	Medio estrecho
46° hasta 70°	4	48 a 58 m	Medio
70° hasta 100°	5	35 a 48 m	Medio ancho
100° hasta 130°	6	26 a 35 m	Ancho
130° y mas	7	Menor a 26 m	Muy ancho

Fuente: Catálogo *Acuity Brands, Inc. All rights reserved "Hydrel" is trademark of Acuity Brands, Inc.* 2009. [www.hydreel.com](http://www.hydreel.com). p. 198. Consulta: 30 de agosto de 2015.

La información obtenida de la tabla LXXIX, nos facilitará calcular la iluminación de las fachadas del edificio hospitalario, así como la proyección que tendrá el haz de acuerdo con el ángulo de apertura seleccionado.

Con la aplicación del método de lúmenes para iluminación de exteriores o método del lumen de haz se tiene como objetivo determinar el número de luminarias necesarias para emplear un nivel de iluminación adecuado en la zona.

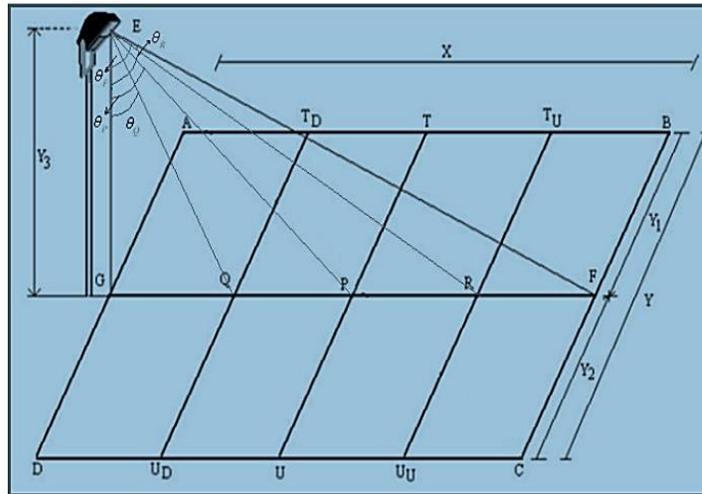
Se realizará el cálculo para las luminarias por instalar en el edificio del parqueo para uso de los médicos, el cual consiste de luminarias de vapor de sodio, 100 watts, 208 voltios, rectangular, distribución nema tipo 3, con control fotoeléctrico, montada en poste metálico de tubo de hierro estructural de 4"x4" y de 6,00 metros de altura. El espacio que ocupa el parqueo tendrá las siguientes dimensiones: longitud de 64 metros y una anchura de 17 metros.

Aplicación del método para cálculo:

- Se ubicará puntos determinados para su análisis y se procede a la representación de los puntos para obtener el coeficiente de utilización.
- Calcular el coeficiente de utilización con curvas (C.B.U), curvas isocandelas. Estas son proporcionadas por el fabricante con diferentes especificaciones. El C.B.U. medio de todas las luminarias está comprendido entre 0,6 y 0,9.

La metodología utilizada por medio de la ubicación de puntos en el área a iluminar, nos proporciona información sobre la cantidad de iluminación que se tendrá en el área a analizar y de esta manera tomar la mejor decisión sobre el tipo de luminaria a utilizar (ver figura 102).

Figura 102. **Ubicación de puntos para determinar los ángulos de proyección de una luminaria**



Fuente: Mariana Herrera Grimaldo. Diseño de alumbrado a una subestación eléctrica tipo interperie. Consulta: 01 de septiembre de 2015.

Para realizar los cálculos en la zona iluminada, se superpone una cuadrícula fotométrica de la luminaria seleccionada (ver figura 102) de acuerdo con el siguiente procedimiento:

- Paso 1. El ángulo  $\Theta$  para el punto F formado por los puntos G, E, F, será:

Tabla LXXX. **Cálculo de los ángulos de proyección**

Fórmula	Descripción
$\Theta F = \tan^{-1} l/hm$	$\Theta F$ = ángulo proyectado entre los puntos G, E y F
	l = longitud de la superficie
	hm = altura de montaje de la luminaria

- Paso 2. Los ángulos  $\epsilon$  para los puntos Q, P y R se consideran como sigue:

Continuación tabla LXXX.

Ubicación	Fórmula	Puntos analizados
Punto Q	$\theta_Q = \theta F/4$	(ángulo G, E, Q)
Punto P	$\theta_P = \theta F/2$	(ángulo G, E, P)
Punto R	$\theta_R = 3\theta F/4$	(ángulo G, E, R)

- Paso 3. Se consideran las líneas T-U (ordenadas) y F-G (abscisas), como los ejes neutros de la cuadrícula fotométrica de la luminaria.
- Paso 4. Las ordenadas (en grados) de la cuadrícula fotométrica para los diferentes puntos del área a iluminar serán:

$$\Theta \text{ ordenada} = \Theta \text{ del punto en cuestión} - \Theta_P$$

Si la ordenada (en grados) es negativa, indica que la dirección en que se trazará en la cuadrícula fotométrica, será del eje neutro horizontal hacia abajo; si la ordenada es positiva se trazará en forma inversa.

- Paso 5. Las abscisas (en grados) de la cuadrícula fotométrica para los diferentes puntos del área a iluminar serán:

Continuación tabla LXXX.

Fórmula	Descripción
$\alpha \text{ Abscisa} = \tan^{-1}[l \text{ (del punto en cuestión)}][\cos\theta \text{ (del punto en cuestión)}]/hm$	$l$ = largo de la superficie
	$hm$ = altura de montaje

Fuente: elaboración propia.

Si la abscisa (en grados) es negativa, esto indica que la dirección en que se trazará en la cuadrícula fotométrica, será del eje neutro vertical hacia el lado izquierdo. Si la abscisa es positiva se trazará en forma inversa.

Finalmente, con el dato calculado anteriormente, se determina la relación entre los lúmenes comprendidos en el área por iluminar y los lúmenes totales del haz valor proporcionado por el fabricante. Se obtiene así el CBU de la luminaria seleccionada. Se procederá a realizar los cálculos con la información presentada en la tabla siguiente:

Tabla LXXXI. **Datos para el cálculo de las luminarias en parqueo**

<b>Fórmula</b>	<b>Descripción</b>
$S = a \cdot b$	S = Área de la superficie (m <sup>2</sup> )
$S = 64 \text{ m} \times 17 \text{ m} = 1\,088 \text{ m}^2$	a = ancho de la superficie (m)
$\Theta F = \tan^{-1} (l / hm)$	b = largo de la superficie (m)
$\Theta F = \tan^{-1} (17 / 6,5) = 69^\circ$	hm = altura de montaje de la luminaria (m)

Fuente: Norma IESNA.

- Paso 1. El valor del  $\Theta$  en el punto F corresponde a  $69^\circ$  según tabla. Para  $hm = 6,50$  metros
- Paso 2. Determinar el valor de los ángulos en los puntos Q, P y R

Tabla LXXXII. **Introducción de valores para calcular los ángulos**

Ubicación	Fórmula	Puntos analizados
Punto Q	$\theta_Q = \theta_F/4$	17,25°
Punto P	$\theta_P = \theta_F/2$	34,50°
Punto R	$\theta_R = 3\theta_F/4$	51,75°

Fuente: elaboración propia.

- Paso 3. Se consideran las líneas T-U (ordenadas) y F-G (abscisas), como los ejes neutros de la cuadrícula fotométrica de la luminaria.
- Paso 4. Las ordenadas (en grados) de la cuadrícula fotométrica para los diferentes puntos del área a iluminar serán:

$$\Theta \text{ ordenada} = \Theta \text{ del punto en cuestión} - \Theta_P$$

Para el punto C se considera la distancia:  $C_x = \sqrt{[(17\text{m})^2 + (32\text{m})^2]} = 36.23\text{m}$

Para el punto B se considera la distancia:  $B_x = \sqrt{[(17\text{m})^2 + (32\text{m})^2]} = 36.23\text{m}$

Tabla LXXXIII. **Cálculo de ordenadas**

Punto F en grados	Punto C en grados	Punto B en grados
$\theta_F = 69 - 34,50 = 34,50$	$\theta_C = 79,8 - 39,9 = 39,90$	$\theta_B = 79,8 - 39,9 = 39,90$
$\theta_Q = 17,25 - 34,50 = -17,25$	$\theta_{UD} = 19,95 - 39,9 = -19,95$	$\theta_{TD} = 19,95 - 39,9 = -19,95$
$\theta_P = 34,50 - 34,50 = 0,00$	$\theta_U = 39,9 - 39,9 = 0,00$	$\theta_T = 39,9 - 39,9 = 0,00$
$\theta_R = 51,75 - 34,50 = 17,25$	$\theta_{UU} = 59,85 - 39,9 = 19,95$	$\theta_{TU} = 59,85 - 39,9 = 19,95$
$\theta_G = 0 - 34,50 = -34,50$	$\theta_D = 0 - 39,9 = -39,90$	$\theta_A = 0 - 39,9 = -39,90$

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXXIV. Cálculo de abscisas

Punto F	Punto C	Punto B
$\alpha F = 0,00^\circ$	$\alpha C = -13,73^\circ$	$\alpha B = 13,73^\circ$
$\alpha Q = 0,00^\circ$	$\alpha UD = -52,46^\circ$	$\alpha TD = 52,46^\circ$
$\alpha P = 0,00^\circ$	$\alpha U = -46,72^\circ$	$\alpha T = 46,72^\circ$
$\alpha R = 0,00^\circ$	$\alpha UU = -34,80^\circ$	$\alpha TU = 34,80^\circ$
$\alpha G = 0,00^\circ$	$\alpha D = -54,16^\circ$	$\alpha A = 54,16^\circ$

Fuente: elaboración propia.

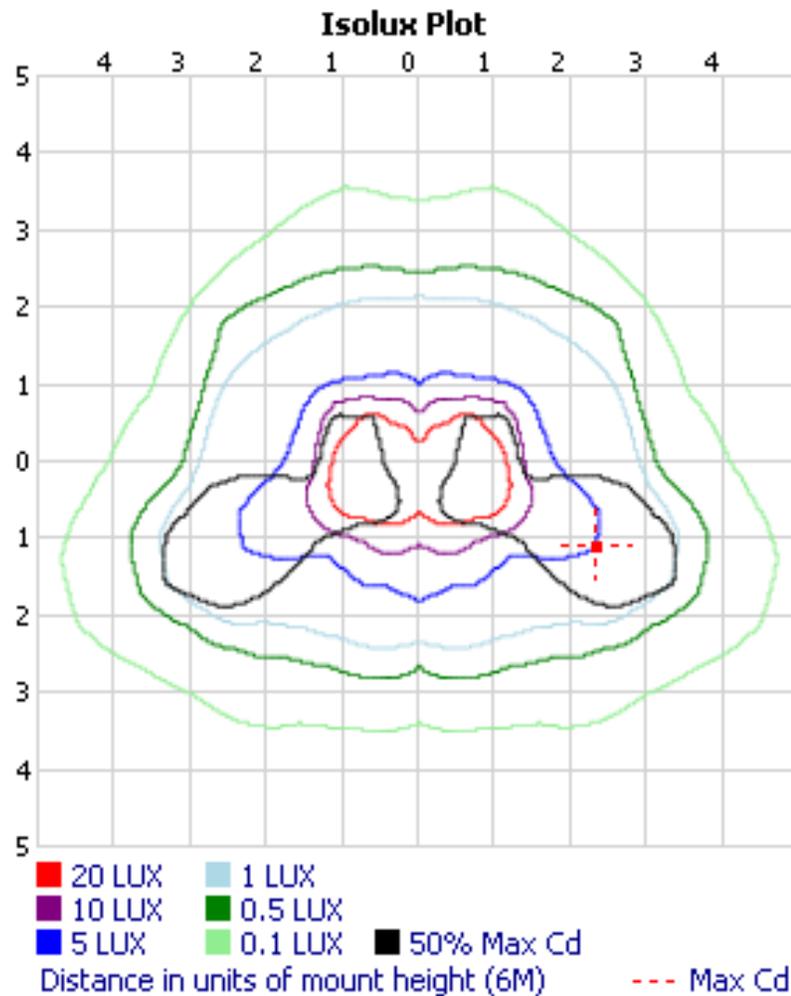
Tabla LXXXV. Tabulación de ordenas y abscisas

Punto	Ordenadas en grados	Ángulos verticales $\varphi^\circ$	$\cos\varphi$ en grados	Y1 o Y2 (m)	Y3 (m)	Abscisas en grados de la cuadrícula
$\varphi F$	34,50	69,00	0,36	0,00	6,50	0,00
$\varphi Q$	-17,25	17,25	0,95	0,00	6,50	0,00
$\varphi P$	0,00	34,50	0,82	0,00	6,50	0,00
$\varphi R$	17,25	51,75	0,62	0,00	6,50	0,00
$\varphi G$	-34,50	0,00	1,00	0,00	6,50	0,00
$\varphi C$	39,90	79,80	0,18	-32,00	6,50	-41,54
$\varphi UD$	-19,95	19,95	0,94	-32,00	6,50	-77,80
$\varphi U$	0,00	39,90	0,77	-32,00	6,50	-75,22
$\varphi UU$	19,95	59,85	0,50	-32,00	6,50	-67,89
$\varphi D$	-39,90	0,00	1,00	-32,00	6,50	-78,52
$\varphi B$	39,90	79,80	0,18	32,00	6,50	41,54
$\varphi TD$	-19,95	19,95	0,94	32,00	6,50	77,80
$\varphi T$	0,00	39,90	0,77	32,00	6,50	75,22
$\varphi TU$	19,95	59,85	0,50	32,00	6,50	67,89
$\varphi A$	-39,90	0,00	1,00	32,00	6,50	78,52

Fuente: elaboración propia.

Para la interpretación de la curva isolux en la figura 103, se trasladan los puntos indicados en la tabla LXXXV al diagrama. Se colocan los puntos F, B, TU, T, TD, A y G, para analizar la cobertura de la luminaria. De acuerdo al valor indicado en las tablas, se observa que, para los puntos externos, no se tiene cobertura de iluminación, por lo que solamente una luminaria no es suficiente. De la curva se obtiene el valor de 4,90 lux para iluminar el área de 1 088 m<sup>2</sup>.

Figura 103. **Curva Isolux para determinar el valor del flujo útil luminoso**



Fuente: <http://www.lithonia.com/photometrics.aspx> Consulta: 08 de septiembre de 2015.

Tabla LXXXVI. **Análisis de los datos obtenidos para la curva isolux**

<b>Punto</b>	<b>Abscisas en grados</b>	<b>Ordenadas en grados</b>
F	0,00	34,50
B	41,54	39,90
TD	77,80	-19,95
T	75,22	0,00
TU	67,89	19,95
A	78,52	-39,90
G	0,00	-34,50

Fuente: elaboración propia.

Las fórmulas utilizadas para el cálculo de las luminarias tipo exterior son las mismas que se emplearon en la iluminación interior, con el método de lúmenes, pero se presentan nuevamente en las tablas siguientes:

Tabla LXXXVII. **Cálculo para iluminación exterior**

<b>Fórmula</b>	<b>Descripción</b>
$N = (E_m \cdot S) / \Phi \cdot cu \cdot fm$	$E_m$ = nivel de iluminación media (Lux)
$\Phi U = E_m \cdot S$	$S$ = área de la superficie a iluminar ( $m^2$ )
$\Phi U = 4,90 \text{ Lux} \cdot 1\,088m^2$	$\Phi$ = flujo útil (lúmenes)
$\Phi U = 5\,331,20 \text{ lúmenes}$	$cu$ = coeficiente de utilización
	$fm$ = factor de mantenimiento
	$N$ = Número de luminarias

Fuente: Norma UNE-EN-60598.

Tabla LXXXVIII. **Fórmula para determinar el coeficiente de utilización de luminarias exteriores**

Fórmula	Descripción
$NU = \varnothing U / \varnothing L$	NU = Coeficiente de utilización (cu)
	$\varnothing U$ = Flujo luminoso útil (lúmenes)
	$\varnothing L$ = Flujo que emite la lámpara (lúmenes)

Fuente: Norma UNE-EN-60598.

El coeficiente de utilización dependerá de los siguientes factores:

- El tipo de luminaria
- La disposición de las luminarias (centros luminosos)
- El área a iluminar

Figura 104. **Hoja técnica de fotometría de luminaria tipo KAD**

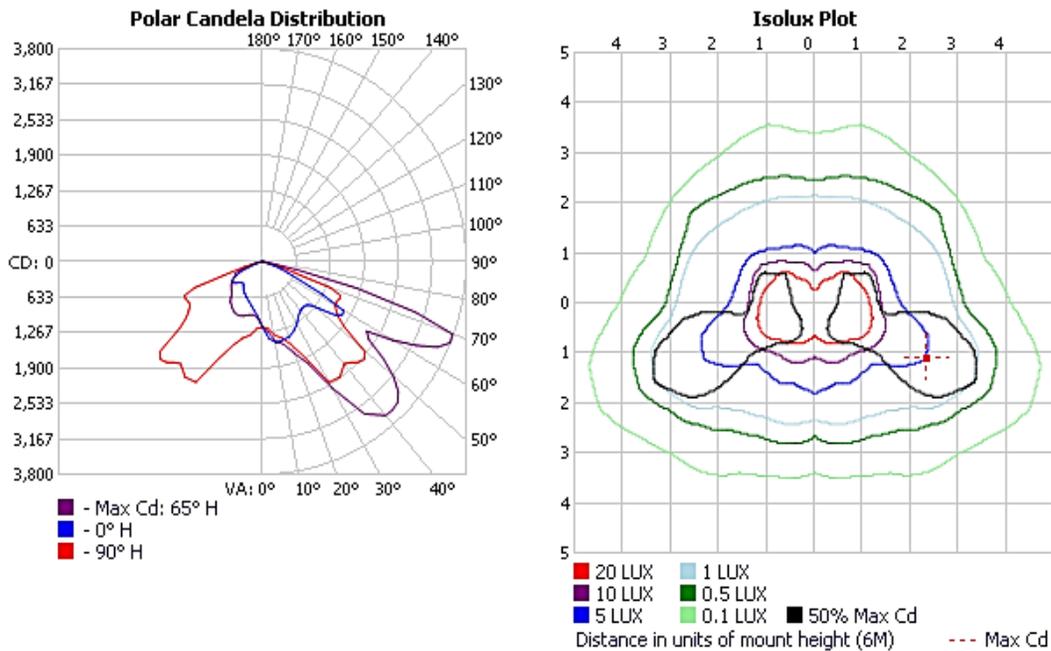
CATALOG: KAD 100S R3  
 DESCRIPTION: AREA LUMINAIRE, 100W HPS, R3 REFLECTOR, FULL CUTOFF MEETS THE 'NIGHTTIME FRIENDLY' CRITERIA  
 SERIES: KAD  
 LAMP CAT #: LU100/S54  
 LAMP: ONE 100-WATT CLEAR ET-23.5 HIGH PRESSURE SODIUM, HORIZONTAL POSITION.  
 LAMP OUTPUT: 1 LAMP, RATED LUMENS/LAMP: 9500  
 INPUT WATTAGE: 135  
 LUMINOUS OPENING: RECTANGLE (L: 0.43M, W: 0.43M)  
 TER VALUE: 48 (BF = 1)  
 TER CATEGORY: AREA & SITE LIGHT - TYPE III  
 MAX CD: 3,785.0 AT HORIZONTAL: 65°, VERTICAL: 67.5°  
 CUTOFF CLASS: FULL CUTOFF  
 ROADWAY CLASS: SHORT, TYPE III  
 EFFICIENCY: 74.8%



**PRODUCT LINKS**



Continuación figura 104.



Fuente: <http://www.lithonia.com/photometrics.aspx>. Consulta: 08 de septiembre de 2015.

Con el conocimiento de la fotometría e información técnica de la luminaria, se procederá a su cálculo y utilizando una disposición en tresbolillo de las luminarias se tendrá mejor cobertura al momento de traslapar los haces de iluminación de cada una de las luminarias.

De acuerdo con el análisis realizado anteriormente se pudo observar que el espaciamiento recomendado entre luminarias corresponde a una separación de 32 metros máximo para tener una cobertura de iluminación. Utilizamos el método de lúmenes para calcular el número de luminarias, de acuerdo con los siguientes datos:

Tabla LXXXIX. **Información conocida para realizar los cálculos**

Datos conocidos	Valor en unidades indicadas
Iluminación media	5 lux
Flujo luminoso de la lámpara	9 500 lúmenes
Longitud del espacio	64 metros
Ancho del espacio	17 metros
Altura de montaje de la luminaria	6,5 metros
Factor de mantenimiento (fm)	70% o (0.7)

Fuente: elaboración propia.

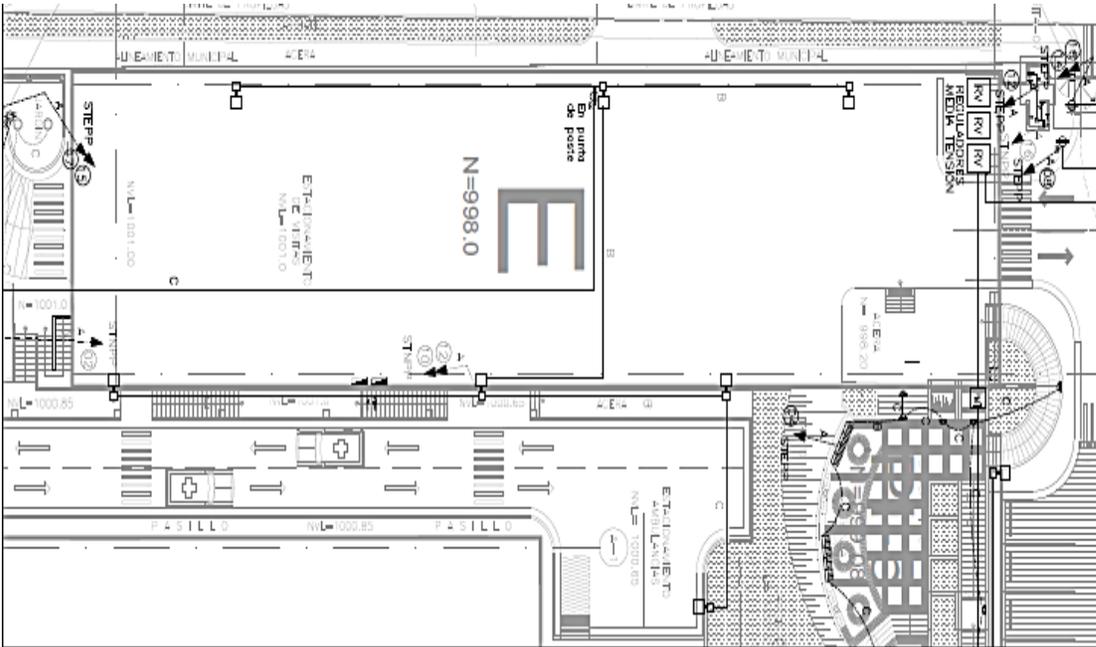
Tabla XC. **Valores obtenidos**

Fórmula	Cálculo	Valor
$S = \text{longitud} \cdot \text{ancho}$	$S = 64\text{m} \cdot 17\text{m}$	1 088 m <sup>2</sup>
$\varnothing U = E_m \cdot S$	$\varnothing U = 5 \cdot (64 \cdot 17)$	5 440 lúmenes
$F_u = \varnothing U / \varnothing L$	$F_u = 5\,331,20 / 9\,500,00$	0,56
$\varnothing T = [E_m \cdot S] / [f_u \cdot f_m]$	$\varnothing T = (1\,088 \cdot 5) / (0,56 \cdot 0,70)$	13 877,6 lúmenes
$N = \varnothing T / (\varnothing L \cdot n)$	$N = 13\,877,6 / 9\,500$	1,46 unidades
$D = (\varnothing L \cdot f_u \cdot f_m) / (E_m \cdot a)$ Norma UNE-EN-60598	$D = (9\,500 \cdot 0,56 \cdot 0,70) / (5 \cdot 17)$	44,6 metros

Fuente: elaboración propia.

Con los valores obtenidos se observa que se necesita 2 luminarias para el área de parqueo. La distribución recomendada para las luminarias será bilateral tresbolillo (ver figura 105), y se obtendrá una iluminación uniforme. Se sitúan los puntos de luz en ambos lados utilizando 6 luminarias tipo KAD.

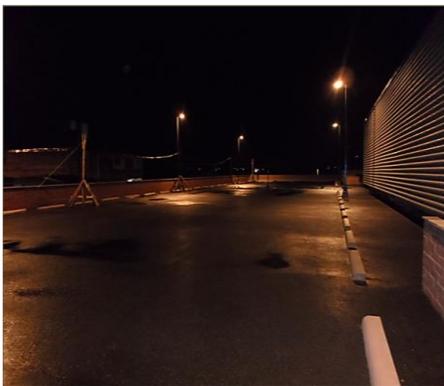
Figura 105. Iluminación exterior para el parqueo vehicular



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

La disposición recomendada para las luminarias será bilateral tresbolillo de acuerdo con la figura 105.

Figura 106. Distribución de tresbolillo para luminarias en parqueo

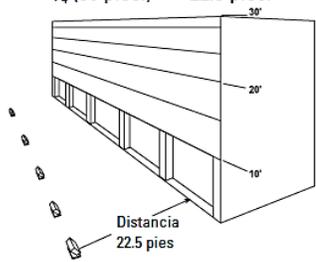
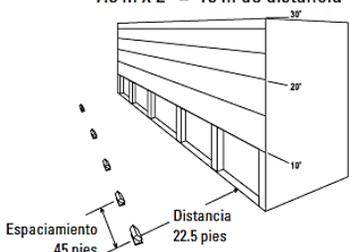


Fuente: elaboración propia.

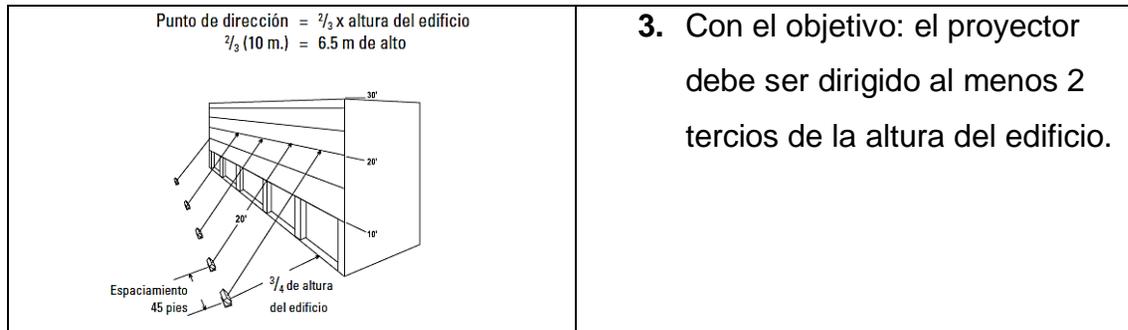
En el caso de las fachadas, se deberá tener en cuenta la información presentada en la tabla LXXIX para seleccionar la altura del edificio y la amplitud del ángulo del proyector. Para realizar de una manera eficaz los acentos de iluminación, es importante también la ubicación del proyector para su montaje y sistema de alimentación eléctrica de las luminarias.

Para iluminar las fachadas del edificio se utilizará reflectores montados en tierra, los cuales se ubicarán de acuerdo con la siguiente recomendación del fabricante de luminarias *lithonia lighting*.

Figura 107. **Criterio para iluminación de fachadas en edificios**

<p>Distancia entre luminario y zona a iluminar = <math>\frac{3}{4}</math> x altura del edificio  <math>\frac{3}{4}</math> (30 pies.) = 22.5 pies.</p>  <p>Distancia 22.5 pies</p>	<p><b>1. Retroceso:</b> el revés recomendado es de tres cuartas partes de la altura del edificio. Localizar el proyector más cerca del edificio sacrificará la uniformidad.</p>
<p>Espaciamiento = 2 x distancia entre el luminario y zona a iluminar  <math>7.5 \text{ m} \times 2 = 15 \text{ m}</math> de distancia</p>  <p>Espaciamiento 45 pies</p> <p>Distancia 22.5 pies</p>	<p><b>2. Separación:</b> no se debe superar dos veces la distancia de retroceso.</p>

Continuación figura 107.



Fuente: <http://www.lithonia.com/photometrics.aspx>. p. 198. Consulta: 10 de septiembre de 2015.

Figura 108. **Iluminación de fachadas utilizando proyectores**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XCI. **Normas UNE para sistemas de iluminación exterior**

Norma	Descripción
UNE-EN-60598-1	Luminarias. Requisitos generales y ensayos
UNE-EN-60598-2-3	Luminarias. Requisitos particulares. Luminarias de alumbrado público
UNE-EN-60598-2-5	Luminarias. Requisitos particulares. Proyectores
UNE-EN-62471-2009	Seguridad fotobiológica de lámparas y aparatos que utilizan lámparas

Fuente: elaboración propia.

### 3.3.3. Diseño de circuitos para tomas de corriente de 120 voltios monofásico, 120/208 voltios monofásico y 208 voltios trifásico

Para el diseño de los circuitos de tomacorrientes se aplicará el criterio indicado en el NEC según lo descrito para circuitos ramales de 120/208 voltios monofásico.

Tabla XCII. **Artículos del NEC aplicados en el diseño para tomacorrientes**

Artículo	Descripción
NEC 200-6	El conductor puesto a tierra se identificará por un aislamiento continuo color blanco o gris natural.
NEC 210-3	Los circuitos ramales se clasifican de acuerdo con la capacidad o ajuste máximo en amperios permitidos del dispositivo de sobre corriente.
NEC 210-7	Los tomacorrientes instalados en circuitos ramales serán del tipo con polo a tierra. Los tomacorrientes del tipo con polo a tierra se instalarán solamente en circuitos de la tensión y capacidad de corriente para los cuales están destinadas, excepto como se indica en las tablas 210-21 (b) (2) y 210-21 (b) (3).
NEC-210-8	En unidades de vivienda, tendrán protección para el personal del tipo de interruptor de circuito contra falla a tierra, todos los receptáculos de 125 voltios, monofásicos, de 15 y 20 amperios, instalados en: Cuartos de baño, garajes, espacios angostos de acceso, sótanos sin acabados, en exteriores, en las cocinas dentro de un radio de 6 pies del fregadero y que sirvan hornos o estufas sobre el mostrador.
NEC-210-8 (b) (1)	Protección GFCI. En edificaciones industriales, comerciales y otras que no sean unidades de vivienda, todos los tomacorrientes de 125 voltios, monofásicos, de 15 y 20 amperios, instalados en cuartos de baño tendrán protección de interruptor de circuito contra falla a tierra para el personal.
NEC-210-21 (b) (2)	En un circuito ramal que alimenta varios tomacorrientes, uno o cualquiera de estos tomacorrientes no alimentará una carga total en exceso de la indicada en la tabla 210-21 (b) (2).
NEC-210-21 (b) (3)	La capacidad nominal de los tomacorrientes se ajustará a los valores de la tabla 210-21 (b) (3). Los requisitos se resumen en la tabla 210-24.

Fuente: NEC 2011. Consulta: 20 de septiembre de 2015.

Un circuito ramal: corresponde al análisis de la carga total a instalar del equipo o unidades de tomacorrientes que lo componen, se calculará la capacidad de conducción para los conductores eléctricos y el dispositivo de protección final contra sobre-corriente, que protege al circuito ramal y las salidas de tomacorrientes.

Tabla XCIII. **Carga máxima del cable y plug conectado al receptáculo**

Clasificación del circuito (Amperios)	Clasificación del receptáculo (Amperios)	Carga Máxima (Amperios)
15 a 20	15	12
20	20	16
30	30	24

Fuente: Artículo 210,21. p. 99. NEC 2011. Consulta: 20 de septiembre 2015.

Tabla XCIV. **Clasificación receptáculo para varios circuitos tamaño**

Clasificación del circuito (Amperios)	Clasificación del receptáculo (Amperios)
15	No más de 15
20	15 a 20
30	30
40	40 a 50
50	50

Fuente: Artículo 210,21. p. 100. NEC 2011. Consulta: 20 de septiembre de 2015.

Excepción No. 1. Los receptáculos para uno o más enchufes conectados a cables de soldaduras de arco permiten tener clasificaciones en amperios no inferior a la ampacidad del conductor del circuito derivado mínimo permitido por 630,11 (A) o (B), según corresponda para soldaduras de arco.

Excepción No. 2. El amperaje de un receptáculo instalado para la iluminación de la descarga eléctrica se permitirá basarse en 410,30 (C).

Tabla XCV. **Resumen de los requisitos de circuitos derivados**

<b>Clasificación del circuito</b>	<b>15A</b>	<b>20A</b>	<b>30A</b>	<b>40A</b>	<b>50A</b>
Conductor tamaño mínimo					
Cable del circuito <sup>1</sup>	14	12	10	8	6
Derivaciones TAPS	14	14	14	12	12
Los alambres para accesorios y cables véase 240,5					
Protección contra la sobretensión	15A	20A	30A	40A	50A
Dispositivos de salida: Portalámparas permitidos Valoración del receptáculo <sup>2</sup>	Cualquier tipo 15A	Cualquier tipo 15 o 20A	Trabajo pesado 30A	Trabajo pesado 40 o 50A	Trabajo pesado 50A
Carga máxima	15A	20A	30A	40A	50A
Carga admisible	Ver 210,23(A)	Ver 210,23(A)	Ver 210,23(B)	Ver 210,23(C)	Ver 210,23(C)

<sup>1</sup> Estos medidores son para conductores de cobre.

<sup>2</sup> Para clasificación receptáculo de luminarias de descarga eléctrica cordones conectados (accesorios de iluminación), consulte 410.30(C).

Fuente: Artículo 210,23. p. 100. NEC 2011. Consulta: 20 de septiembre de 2015.

En la tabla XCV se observa la capacidad máxima que soporta el circuito ramal o derivación, indicando el calibre del conductor eléctrico adecuado para cada caso. Al atender lo indicado en el NEC se diseñará cada ramal para no exceder la capacidad indicada y evitar peligro de sobrevoltaje por calentamiento del conductor eléctrico.

**Tabla XCVI. Artículos del NEC aplicados en el diseño para tomacorrientes**

NEC 210-23a	En ningún caso la carga conectada excederá la capacidad nominal del circuito ramal.
NEC 210-23b	En un circuito ramal de 30 amperes, la carga máxima individual de un equipo conectado no excederá el 80% de la capacidad nominal del circuito.
NEC 210-24	En un circuito ramal que alimenta varios tomacorrientes, uno o cualquiera de estos tomacorrientes no alimentará una carga total en exceso de la indicada en la tabla 210-21 (b) (2), y la capacidad nominal de los tomacorrientes se ajustará a los valores de la tabla 210-21 (b) (3). Los requisitos se resumen en la tabla 210-24.

Fuente: Artículo 210. NEC 2011. Consulta: 22 de septiembre de 2015.

El NEC recomienda en el artículo 220,14: las cargas de tomacorrientes se calcularán a razón de 180 VA por salida; en el caso del diseño se realizará el cálculo con una carga de 200 VA generando circuitos de 8 unidades con una capacidad de 1 600 VA con un voltaje de operación de 120 voltios. Para una corriente nominal de 13.34 amperios y utilizando protecciones de 20 amperios por cada ramal de toma corrientes.

En los casos que se utilice un ramal para alimentar un equipo especial médico, se realizará el cálculo con la capacidad del equipo para establecer la protección, conductores eléctricos, canalización y tipo de toma de corriente.

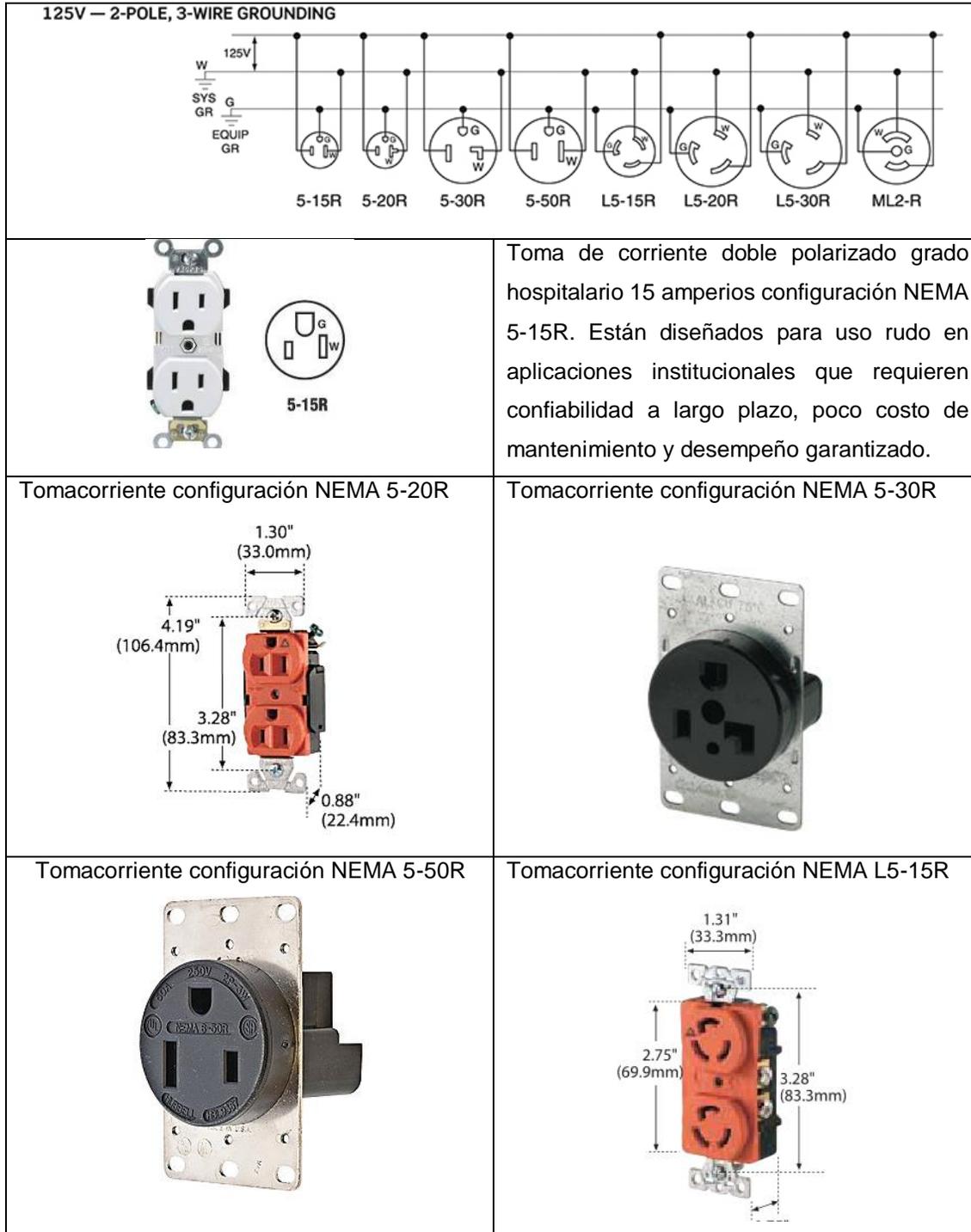
Para diseñar los circuitos de tomacorrientes en 120 voltios, además de la implementación de lo recomendado en los artículos del NEC y el cálculo de la carga a instalar en ramal, se deberá clasificar los receptáculos del tipo hospitalario y se definen a continuación.

Tabla XCVII. Tomacorrientes utilizados en el centro hospitalario

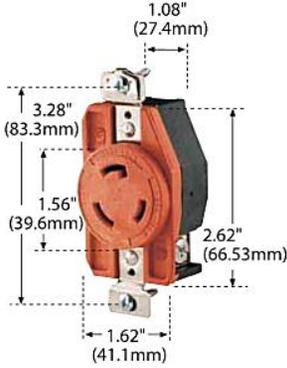
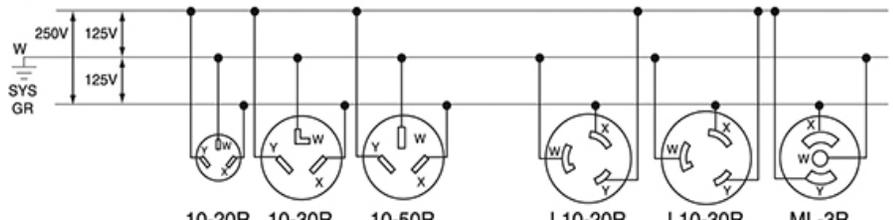
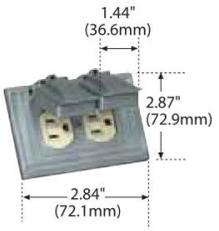
SIMBOLOGIA DE TOMACORRIENTE			
NORMAL	EMERGENCIA	CRITICO	DESCRIPCION
			TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO GRADO HOSPITALARIO 15amp/120voltios CONFIGURACIÓN NEMA 5-15R.
			TOMACORRIENTE BOBLE POLARIZADO GRADO HOSPITALARIO 20amp/120voltios CONFIGURACIÓN NEMA 5-20R.
			TOMACORRIENTE POLARIZADO 30amp/120voltios CONFIGURACIÓN NEMA 5-30R.
			TOMACORRIENTE POLARIZADO 50amp/120voltios CONFIGURACIÓN NEMA 5-50R.
			TOMACORRIENTE POLARIZADO DE SEGURIDAD 120voltios AMPERAJE INDICADO CONFIGURACIONES NEMA L5-15R; L5-20R Y L5-30R.
			TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO GRADO HOSPITALARIO CON PROTECCION DE FALLA A TIERRA 120voltios AMPERAJE INDICADO CONFIGURACIONES NEMA 5-15R Y 5-20R.
			TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO GRADO HOSPITALARIO 120 voltios CON PROTECCION PARA INTEMPERIE, AMPERAJE INDICADO CONFIGURACIONES NEMA 5-15R Y 5-20R.
			TOMACORRIENTE TRIFILAR 30amp/250voltios CONFIGURACIÓN NEMA 10-30R.
			TOMACORRIENTE TRIFILAR 50amp/250voltios CONFIGURACIÓN NEMA 10-50R.
			TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO GRADO INDUSTRIAL, TIERRA AISLADA, 15amp/120voltios CONFIGURACION NEMA 5-15R.
			TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO GRADO INDUSTRIAL, DE PISO 15amp/120voltios CONFIGURACIÓN NEMA 5-15R.
			TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO GRADO INDUSTRIAL, TIERRA AISLADA, DE PISO, 15amp/120voltios CONFIGURACIÓN NEMA 5-15R.
			TOMACORRIENTE "QUAD" POLARIZADO GRADO HOSPITALARIO 15amp/120voltios CONFIGURACIÓN NEMA 5-15R.
			TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO GRADO INDUSTRIAL CON PROTECCION DE FALLA A TIERRA 120voltios 20 amp/120 volts CONFIGURACIÓN NEMA 5-20R. ALTURA DE MONTAJE 1.30 MTS.
			TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO GRADO HOSPITALARIO 15amp/120voltios CONFIGURACIÓN NEMA 5-15R, CON CUBIERTA PARA INTEMPERIE
			SALIDA PARA ESTACIÓN DE ALARMAS DE GASES MÉDICOS, LLEGA A CAJA DE ALARMAS. NO INCLUYE TOMA DE CORRIENTE.
			TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO GRADO INDUSTRIAL, 15amp/120voltios CONFIGURACIÓN NEMA 5-15R.

Fuente: elaboración propia.

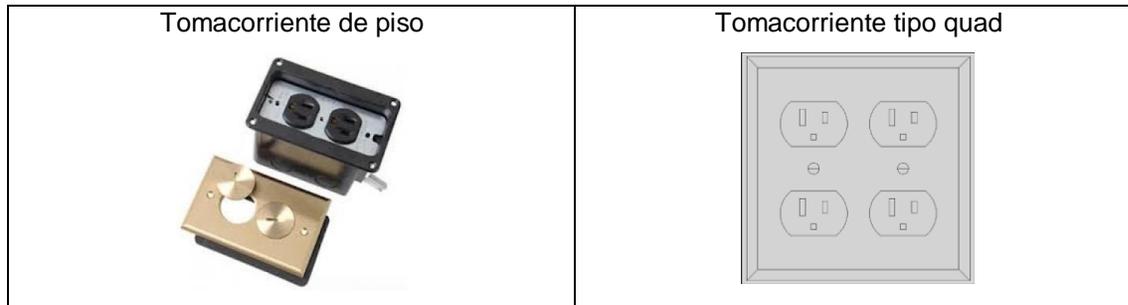
Figura 109. Configuración NEMA para tomas de corriente



Continuación figura 109.

<p>Tomacorriente configuración NEMA L5-20R/30R</p> 	<p>Tomacorriente falla a tierra configuración NEMA 5-15R/5-20R</p>  <p>Receptáculo GFCI Smartlock Pro c/Placa 15/20A 125V Iluminado y con Sensor Led Indicador <b>N7591-W*</b></p> <p>Receptáculo Falla a Tierra Smartlock Pro c/Placa 15/20A 125V Led Indicador <b>N7599*</b></p> <p>Receptáculo Falla a Tierra con TR Smartlock Pro Slim 15A 125V <b>X7599</b></p> <p>* Placa también disponible en la Línea Modular Plus, Modular Ultra y Cien</p> <p><b>Tamper resistant (TR)</b></p>
<p><b>125/250V — 3-POLE, 3-WIRE</b></p> 	
<p>Tomacorriente configuración NEMA 10-30R</p> 	<p>Tomacorriente configuración NEMA 10-50R</p> 
<p>Tomacorriente para intemperie</p> 	<p>Toma de corriente tierra aislada</p> 

Continuación figura 109.



Fuente: elaboración propia.

Figura 110. **Utilización de módulo para tomas de corriente en quirófanos**



Fuente: [www.shneider.com](http://www.shneider.com) Consulta: 12 de octubre de 2015.

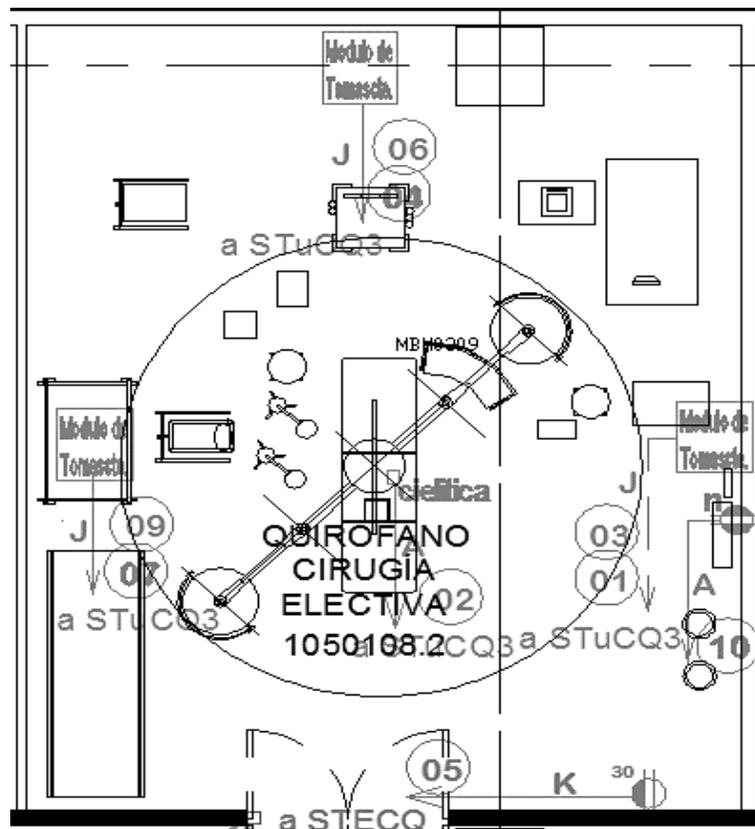
El módulo para tomas de corriente en quirófanos deberá de contar con terminales para conexión equipotencial envolvente conectada al embarrado conductor de protección. Los módulos deberán estar totalmente aislados para que al momento de desconectar algún equipo no forme un arco de chispa que pueda provocar un incendio; se une la chispa con la combustión que son los gases medicinales que son usados por el médico anestesiólogo.

Figura 111. **Módulo para tomas de corriente**



Fuente: www.shneider.com Consulta: 12 de octubre de 2015.

Figura 112. **Plano de instalación en quirófano para tomacorrientes**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

**Tabla XCVIII. Artículos del NEC aplicables a tomacorrientes**

Artículo	Descripción
NEC 517,16	Receptáculos con terminales de conexión a tierra aislada, este artículo evita el uso indiscriminado de los receptáculos de tierra aislada. Los cuales deben ser identificados por un triángulo de color naranja que se encuentra en la cara del receptáculo. Mayores receptáculos del tipo tierra aislada se pueden identificar de manera diferente. La tierra aislada es minimizar ruido eléctrico, que puede causar interferencias en los equipos electrónicos sensibles.
NEC 517,18 (A)	Ubicación de receptáculos, en cada cama del paciente se proporcionará al menos 2 circuitos derivados, desde el sistema de emergencia y uno del circuito normal. Todo circuito derivado del sistema normal se origina desde el mismo tablero.
Excepción No. 1	Circuitos derivados que sirven sólo enchufes o receptáculos para usos especiales, como puntos de toma de rayos X portátiles no podrán ser alimentados desde el mismo panel de distribución o paneles.
Excepción No. 2	Requisitos de 518 (a). No se aplicarán a la ubicación de la cama del paciente en clínicas, consultorios médicos y dentales, y los centros de atención ambulatoria; abuso de sustancias y rehabilitación en hospitales psiquiátricos, salas en los hogares de ancianos y centros de atención limitados que cumplen con los requisitos de 517,18 (b) (2) para dormir.
Excepción No. 3	No se requiere un cuidado general del paciente, en la ubicación de la cama, se alimenta de dos interruptores de transferencia separados uno en el sistema de emergencia y otro en el sistema normal.
NEC 517,18 (b)	Ubicación de receptáculos en la cama del paciente. Cada ubicación en la cama del paciente deberá estar provista de un mínimo de cuatro receptáculos. Ellos serán autorizados a ser del tipo simple o dúplex o una combinación de ambos. Todos los receptáculos, ya sean cuatro o más, deberán figurar "grado hospitalario" y así identificados. Cada receptáculo deberá estar conectado a tierra por medio de un conductor de cobre aislado de acuerdo a la tabla 250,122.
Excepción No. 1	Requisitos de 517,18(b). No se aplicarán a, el abuso de sustancias psiquiátricas y hospitales de rehabilitación, cumplir los requisitos de 517,10 (b) (2).
Excepción No. 2	Habitaciones de psiquiátricas de seguridad no deben ser obligadas a tener salidas de receptáculos instaladas en la sala.
	Las disposiciones de 517,18(B) han requerido receptáculos de grado hospitalario en locaciones de la cama del paciente de atención general
NEC 517,18 (C)	Localidades pediátricas. Los receptáculos localizados en las habitaciones, baños, salas de juegos, salas de actividades y áreas de atención de pacientes de salas de pediatría se enumeran resistentes a la manipulación o utilizaran una cubierta resistente a la manipulación.
	El requisito de receptáculo salvaguardia de 517,18©. Fue revisado para cubrir los recipientes, sala instalados en las áreas de atención al paciente de lugares pediátricos. Esta protección puede lograrse a través del uso de cualquiera de los recipientes a prueba de manipulaciones enumerados de cubiertas resistentes a la manipulación de la lista. El uso de bloqueo cubre más receptáculos ordinarios no cumple con estos requisitos

Fuente: NEC 2011. Consulta: 12 de octubre de 2015.

Una parte importante para el cálculo de los circuitos ramales para tomacorrientes es conocer las cargas eléctricas que consumen los equipos médicos en el centro hospitalario. De acuerdo con la aplicación de los artículos del NEC mencionados, no se podrá exceder de la capacidad de carga eléctrica asignada en cada ramal. En la siguiente tabla se presenta el consumo eléctrico en amperios, watts, voltaje de operación, fases y conductores eléctricos de los equipos médicos por instalar.

**Tabla XCIX. Cargas eléctricas de equipos médicos**

<b>Ambiente</b>	<b>Equipo médico y mobiliario clínico asignado</b>	<b>Clasificación</b>	<b>V (V)</b>	<b>I (A)</b>	<b>P (kW)</b>	<b>FASES</b>	<b>CABLE THHN</b>
Refrigerados	Refrigerador para medicamentos de 45 pies cúbicos	Equipo para alimentación y dietas	120	15,00	1,80	1	# 12
Cubículos de extracción de sangre	Sellador de bolsa de sangre	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	4,17	0,50	1	# 12
Laboratorio	Agitador para incubadora de plaquetas	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	4,17	0,50	1	# 12
Laboratorio	Centrifuga para banco de sangre	Equipo de laboratorio clínico y Bco. de sangre	120	2,92	0,35	1	# 12
Laboratorio	Centrifuga refrigerada	Equipo de laboratorio clínico y Bco. de sangre	208	21,63	4,50	1	# 12
Laboratorio	Congelador de plasma (500 bolsas)	Equipo de refrigeración	120	7,50	0,90	1	# 12
Laboratorio	Descongelador de plasma y crio	Equipo de laboratorio clínico y Bco. de sangre	120	10,83	1,30	1	# 12
Laboratorio	Extractor fraccionador de componentes sanguíneos	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	3,33	0,40	1	# 12
Laboratorio	Interconector estéril (sellador en esterilidad)	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	4,17	0,50	1	# 12

Continuación tabla XCIX.

<b>Ambiente</b>	<b>Equipo médico y mobiliario clínico asignado</b>	<b>Clasificación</b>	<b>V (V)</b>	<b>I (A)</b>	<b>P (kW)</b>	<b>Fases</b>	<b>CABLE THHN</b>
Refrigeración de sangre y derivados	Refrigerador para banco de sangre (120 -200 bolsas)	Equipo de refrigeración	120	5,00	0,60	1	# 12
Refrigeración de sangre y derivados	Refrigeración para banco de sangre (400 bolsas)	Equipo de refrigeración	120	6,67	0,80	1	# 12
Área de preparación y ensamble	Cortadora para tela y gasa	Equipo de esterilización, desinfección	120	15,00	0,80	1	# 12
Esterilización a baja temperatura	Esterilizador de óxido de etileno	Equipo de esterilización, desinfección	208	9,62	2,00	1	# 12
Esterilizadores	Destilador de agua (10 galones/hora)	Equipo de esterilización, desinfección	120	4,17	0,50	1	# 12
Esterilizadores	Esterilizador con fuente de generación de vapor externa (850 litros)	Equipo de esterilización, desinfección	208	16,35	5,00	3	# 10
Esterilizadores	Esterilizador con fuente de generación de vapor mixta (680 litros)	Equipo de esterilización, desinfección	480	63,75	45,00	3	# 4
Esterilizadores	Reprocesador automático de endoscopios	Equipo de esterilización, desinfección	120	5,83	0,70	1	# 12
Lavado instrumental	Equipo para lavado automático de instrumental (200 litros)	Equipo de esterilización, desinfección	480	17,71	12,50	3	# 10
Estación de enfermería	Horno de microondas	Equipo de apoyo para oficina	120	7,50	0,90	1	# 12
Quirófano cirugía electiva	Artroscopio	Equipo de óptica para procedimientos mínimamente invasivos	120	7,50	0,90	1	# 12

Continuación tabla XCIX.

<b>Ambiente</b>	<b>Equipo médico y mobiliario clínico asignado</b>	<b>Clasificación</b>	<b>V (V)</b>	<b>I (A)</b>	<b>P (kW)</b>	<b>Fases</b>	<b>Conductor eléctrico alimentador</b>
Quirófano cirugía electiva	Aspirador quirúrgico	Equipo de aspiración	120	6,25	0,75	1	# 12 THHN
Quirófano cirugía electiva	Lámpara quirúrgica para cirugía mayor	Equipo auxiliar para procedimientos quirúrgicos	120	5,00	0,60	1	# 12 THHN
Quirófano cirugía electiva	Máquina de anestesia con dos vaporizadores (sevoflurano e isoflurano)	Equipo de ventilación mecánica y anestesia	120	7,50	0,90	1	# 12 THHN
Quirófano cirugía electiva	Mesa para cirugía mayor	Equipo auxiliar para procedimientos quirúrgicos	120	5,00	0,60	1	# 12 THHN
Quirófano cirugía electiva	Mesa para cirugía mayor con accesorios para ortopedia	Equipo auxiliar para procedimientos quirúrgicos	120	5,00	0,60	1	# 12 THHN
Quirófano cirugía electiva	Negatoscopio de dos cuerpos	Equipo de imágenes médicas	120	1,67	0,20	1	# 12 THHN
Quirófano cirugía electiva	Unidad de electrocirugía	Equipo auxiliar para procedimientos quirúrgicos	120	4,17	0,50	1	# 12 THHN
Quirófano cirugía electiva	Unidad de rayos "X" móvil brazo en "C" con fluoroscopia (Digital)	Equipo de imágenes médicas	120	12,50	1,50	1	# 12 THHN
Quirófano cirugía simultanea	Videolaparoscopio	Equipo de óptica para procedimientos mínimamente invasivos	120	7,50	0,90	1	# 12 THHN
Recuperación anestésica	Monitor de signos vitales de cinco parámetros adulto pediátrico, soporte a pared	Equipo de monitoreo y diagnóstico	120	2,50	0,30	1	# 12 THHN
Rayos "X" portátil	Equipo móvil de rayos "X", digital	Equipo de imágenes médicas	120	5,00	0,60	1	# 12 THHN

Continuación tabla XCIX.

Ambiente	Equipo médico y mobiliario clínico asignado	Clasificación	V (V)	I (A)	P (kW)	Fases	CABLE THHN
Séptico	Lavabacín automático	Equipo de esterilización, desinfección	208	28.85	6,00	1	# 10
Recuperación anestésica (2 camas por quirófano)	Aspirador de secreciones	Equipo de aspiración	120	5,00	0,60	1	# 12
Subcentral de esterilización y suministros	Esterilizador eléctrico de mesa (23 a 30 litros)	Equipo de esterilización, desinfección	120	12,50	1,50	1	# 12
Estación de enfermeras	Refrigerador para medicamentos (capacidad menor a 150 Litros)	Equipo de refrigeración	120	3,30	0,40	1	# 12
Quirófanos	Laringoscopio completo	Equipo médico general	120	1,67	0,20	1	# 12
Consultorio de ginecología y obstetricia	Electrocauterio	Equipo auxiliar para procedimientos quirúrgicos	120	2,00	0,24	1	# 12
Consultorio de ginecología y obstetricia	Negatoscopio de un cuerpo	Equipo de imágenes médicas	120	0,83	0,10	1	# 12
Consultorio de ginecología y obstetricia	Ultrasonógrafo portátil	Equipo de imágenes médicas	120	2,50	0,30	1	# 12
Consultorio de oftalmología	Lámpara de hendidura	Equipo de oftalmología y ORL	120	1,25	0,15	1	# 12
Consultorio de oftalmología	Autoqueratorefractómetro	Equipo de oftalmología y ORL	120	3,33	0,40	1	# 12
Consultorio de oftalmología	Frontofómetro o lensómetro	Equipo de oftalmología y ORL	120	0,83	0,10	1	# 12
Consultorio de oftalmología	Oftalmoscopio directo	Equipo de oftalmología y ORL	120	1,25	0,15	1	# 12
Consultorio de oftalmología	Oftalmoscopio indirecto	Equipo de oftalmología y ORL	120	1,25	0,15	1	# 12
Consultorio de oftalmología	Proyectores de agudeza visual	Equipo de oftalmología y ORL	120	2,50	0,30	1	# 12

Continuación tabla XCIX.

<b>Ambiente</b>	<b>Equipo médico y mobiliario clínico asignado</b>	<b>Clasificación</b>	<b>V (V)</b>	<b>I (A)</b>	<b>P (kW)</b>	<b>Fases</b>	<b>CABLE THHN</b>
Consultorio de oftalmología	Retinoscopio	Equipo de oftalmología y ORL	120	1,25	0,15	1	# 12
Consultorio de oftalmología	Unidad Oftalmológica	Equipo de oftalmología y ORL	120	8,33	1,00	1	# 12
Consultorio I.V.S.	Lámpara cuello de ganso tipo LED	Equipo para procedimientos quirúrgicos	120	0,50	0,06	1	# 12
Consultorio I.V.S.	Oto oftalmoscopio para adulto de pared	Equipo médico general	120	1,67	0,20	1	# 12
Consultorio de Odontología	Amalgamador	Equipo de odontología	120	0,83	0,10	1	# 12
Consultorio de Odontología	Lámpara de fotocurado	Equipo de odontología	120	0,83	0,10	1	# 12
Consultorio de Odontología	Unidad de profilaxis para remover cálculo dental	Equipo de Odontología	120	1,67	0,20	1	# 12
Consultorio de Odontología	Unidad de rayos "X" dental intraoral	Equipo de Odontología	120	5,00	0,60	1	# 12
Consultorio de Odontología	Unidad Odontológica	Equipo de Odontología	120	5,83	0,70	1	# 12
Consultorio de Otorrinolaringología	Lámpara frontal de luz halógena	Equipo auxiliar para procedimientos quirúrgicos	120	1,67	0,20	1	# 12
Consultorio de Otorrinolaringología	Microscopio para ORL	Equipo de Oftalmología y ORL	120	2,50	0,30	1	# 12
Consultorio de Otorrinolaringología	Otoscopio para adulto, de pared	Equipo de Oftalmología y ORL	120	2,92	0,35	1	# 12
Consultorio de Otorrinolaringología	Rinoscopio adulto	Equipo médico general	120	1,67	0,20	1	# 12
Consultorio de Otorrinolaringología	Rinoscopio infantil	Equipo médico general	120	1,67	0,20	1	# 12
Consultorio de Otorrinolaringología	Unidad de tratamiento para ORL	Equipo de Oftalmología y ORL	120	6,25	0,75	1	# 12
Consultorio de Pediatría	Oto oftalmoscopio pediátrico / neonatal de pared	Equipo médico general	120	1,67	0,20	1	# 12

Continuación tabla XCIX.

<b>Ambiente</b>	<b>Equipo médico y mobiliario clínico asignado</b>	<b>Clasificación</b>	<b>V (V)</b>	<b>I (A)</b>	<b>P (kW)</b>	<b>Fases</b>	<b>Conductor eléctrico alimentador</b>
Consultorio de urología	Cistoureoscopio	Equipo de óptica para procedimientos mínimamente invasivos	120	2,92	0,35	1	# 12 THHN
Consultorio de urología	Mesa para examen urológico	Mobiliario médico	120	4,17	0,50	1	# 12 THHN
Cuarto de compresor dental	Compresor dental	Equipo de Odontología	120	12,50	1,50	1	# 12 THHN
Preparación	Equipo automatizado para toma de signos vitales	Equipo médico general	120	2,92	0,35	1	# 12 THHN
Sala de colposcopia y crio terapia	Colposcopio	Equipo de óptica para procedimientos mínimamente invasivos	120	2,92	0,35	1	# 12 THHN
Sala de Yesos	Sierra corta Yeso	Equipo médico general	120	3,33	0,40	1	# 12 THHN
Sala de Cono <i>Leep</i>	Unidad de electrocirugía para Cono <i>Leep</i>	Equipo auxiliar para procedimientos quirúrgicos	120	2,50	0,30	1	# 12 THHN
Área de choque (Máxima Urgencia)	Bomba de infusión adulto	Equipo Terapéutico	120	2,80	0,50	1	# 12 THHN
Área de choque (Máxima Urgencia)	Desfibrilador monitor	Equipo Terapéutico	120	2,92	0,35	1	# 12 THHN
Área de choque (Máxima urgencia)	Electrocardiógrafo de doce canales	Equipo de monitoreo y diagnóstico	120	2,08	0,25	1	# 12 THHN
Área de choque (Máxima urgencia)	Ventilador de transporte neonatal / pediátrico / adulto	Equipo de ventilación mecánica y anestesia	120	3,33	0,40	1	# 12 THHN
Estación de enfermeras	Electrocardiógrafo de tres canales	Equipo de monitoreo y diagnóstico	120	2,08	0,25	1	# 12 THHN

Continuación tabla XCIX.

<b>Ambiente</b>	<b>Equipo médico y mobiliario clínico asignado</b>	<b>Clasificación</b>	<b>V (V)</b>	<b>I (A)</b>	<b>P (kW)</b>	<b>Fases</b>	<b>CABLE THHN</b>
Estación de enfermeras	Nebulizador	Equipo de ventilación mecánica y anestesia	120	5,00	0,60	1	# 12
Estación de enfermeras	Oxímetro de pulso	Equipo de monitoreo y diagnóstico	120	2,08	0,25	1	# 12
Aislada	Cama-camilla para trabajo de parto	Mobiliario médico	120	4,17	0,50	1	# 12
Sala Séptica	Lámpara quirúrgica para cirugía menor	Equipo auxiliar para procedimientos quirúrgicos	120	3,33	0,40	1	# 12
Sala Séptica	Mesa para cirugía menor	Equipo para procedimientos quirúrgicos	120	5,00	0,60	1	# 12
Aislado UCI Neonatos	Cuna de calor radiante	Equipo para neonatología	120	7,80	0,85	1	# 12
Labor de partos	Laringoscopio para paciente adulto	Equipo médico general	120	2,08	0,25	1	# 12
Labor de partos	Monitos Fetal	Equipo de monitoreo y diagnóstico	120	2,08	0,25	1	# 12
Quirófano gineco – obstetricia	Aspirador Uterino	Equipo de Aspiración	120	6,25	0,75	1	# 12
Quirófano ginecología y obstetricia	Mesa para cirugía ginecología y obstétrica	Equipo auxiliar para procedimientos quirúrgicos	120	5,00	0,60	1	# 12
Sala de expulsión	Mesa para partos	Equipo auxiliar para procedimientos quirúrgicos	120	5,00	0,60	1	# 12
UCI Neonatos	Aspirador de secreciones neonatal	Equipo de aspiración	120	5,00	0,60	1	# 12
UCI Neonatos	Bomba de infusión pediátrica	Equipo terapéutico	120	2,08	0,25	1	# 12
UCI Neonatos	Bomba de perfusión	Equipo terapéutico	120	2,08	0,25	1	# 12
UCI Neonatos	Incubadora para transporte	Equipo para neonatología	120	5,00	0,60	1	# 12
UCI Neonatos	Laringoscopio para paciente neonatal	Equipo médico general	120	1,67	0,20	1	# 12

Continuación tabla XCIX.

<b>Ambiente</b>	<b>Equipo médico y mobiliario clínico asignado</b>	<b>Clasificación</b>	<b>V (V)</b>	<b>I (A)</b>	<b>P (kW)</b>	<b>Fases</b>	<b>CABLE THHN</b>
UCI Neonatos	Monitor de signos vitales de seis parámetros neonatal	Equipo de monitoreo y diagnóstico	120	2,50	0,30	1	# 12
UCI Neonatos	Oto oftalmoscopio adulto, portátil	Equipo médico general	120	1,67	0,20	1	# 12
UCI Neonatos	Percutor vibrador neonatal	Equipo terapéutico	120	1,25	0,15	1	# 12
UCI Neonatos	Ventilador Neonatal	Equipo de ventilación mecánica y anestesia	120	6,67	0,80	1	# 12
UCI Neonatos	Ventilador neonatal de alta frecuencia	Equipo de ventilación mecánica y anestesia	120	6,67	0,80	1	# 12
Estación de enfermeras de observación y asistente clínico	Báscula pediátrica con gabinete e infantometro	Equipo médico general	120	1,67	0,20	1	# 12
Estación de enfermeras de observación y asistente clínico	Estufa eléctrica de mesa	Equipo para alimentación y dietas	120	6,25	0,75	1	# 12
Estación de enfermeras de observación y asistente clínico	Laringoscopio para paciente pediátrico	Equipo médico general	120	1,67	0,20	1	# 12
Estación de enfermeras de observación y asistente clínico	Oto oftalmoscopio pediátrico neonatal portátil	Equipo médico general	120	3,33	0,40	1	# 12
Sala séptica	Máquina de anestesia con vaporizador sevoflurano	Equipo de ventilación mecánica y anestesia	120	7,50	0,90	1	# 12
Terapia respiratoria	Percutor vibrador pediátrico	Equipo terapéutico	120	1,25	0,15	1	# 12

Continuación tabla XCIX.

<b>Ambiente</b>	<b>Equipo médico y mobiliario clínico asignado</b>	<b>Clasificación</b>	<b>V (V)</b>	<b>I (A)</b>	<b>P (kW)</b>	<b>Fases</b>	<b>CABLE THHN</b>
Área de refrigeración	Refrigerador de biológicos (21 pies)	Equipo de refrigeración	120	5,00	0,60	1	# 12
Preparación de fórmulas parenterales	Cámara de flujo laminar	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	6,25	0,75	1	# 12
Preparación de fórmulas parenterales	Refrigerador para medicamentos (mayor a 11 pies cúbicos)	Equipo de refrigeración	120	3,30	0,40	1	# 12
Técnicos preparación recetas	Refrigerador para medicamentos de 21 pies cúbicos de doble puerta	Equipo de refrigeración	120	5,00	0,60	1	# 12
Estación de enfermeras	Colchón antiescaras	Mobiliario médico	120	3,33	0,40	1	# 12
Aislado neonato con incubadora	Incubadora neonatal	Equipo para neonatología	120	5,00	0,60	1	# 12
Banco de leche resguardo de leche	Crematocrito con centrifuga incorporada	Equipo para alimentación y dietas	120	2,92	0,35	1	# 12
Banco de leche resguardo de leche	Esterilizador de biberones	Equipo de esterilización, desinfección y relacionados	208	7,93	1,65	1	# 12
Banco de leche resguardo de leche	Licuada industrial	Equipo para alimentación y dietas	120	7,50	0,90	1	# 12
Banco de leche resguardo de leche	Refrigerador para banco de leche	Equipo de refrigeración	120	5,00	0,60	1	# 12
Banco de leche sala de extracción de leche	Equipo de extracción de leche materna	Equipo de aspiración	120	5,00	0,60	1	# 12
Estación de enfermeras neonatos	Calentador de leche materna y fórmulas	Equipo para alimentación y dietas	120	10,00	1,20	1	# 12

Continuación tabla XCIX.

<b>Ambiente</b>	<b>Equipo médico y mobiliario clínico asignado</b>	<b>Clasificación</b>	<b>V (V)</b>	<b>I (A)</b>	<b>P (kW)</b>	<b>Fases</b>	<b>CABLE THHN</b>
Neonato sano con <i>bassinet</i>	Báscula electrónica neonatal	Equipo médico general	120	1,25	0,15	1	# 12
UCI Pediátrica y estación de enfermeras	Analizador de gases arteriales	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	2,50	0,30	1	# 12
UCI Pediátrica y estación de enfermeras	Cámara para UCI pediátrica	Mobiliario médico	120	4,17	0,50	1	# 12
UCI Pediátrica y estación de enfermeras	Lámpara de examen con luz halógena	Equipo médico general	120	2,08	0,25	1	# 12
UCI Pediátrica y estación de enfermeras	Ultrasonógrafo portátil pediátrico	Equipo de imágenes médicas	120	2,50	0,30	1	# 12
UCI Pediátrica y estación de enfermeras	Ventilado mecánico pediátrico/adulto	Equipo de imágenes médicas	120	6,67	0,80	1	# 12
Lectura de placas y docencia	Estación de visualización, post procesamiento, almacenamiento e impresión de imágenes radiológicas	Equipo de imágenes médicas	120	10,00	1,20	1	# 12
Lectura de placas y docencia	Negatoscopio de ocho cuerpos	Equipo de imágenes médicas	120	5,00	0,60	1	# 12
Mamografía	Equipo de mamografía digital	Equipo de imágenes médicas	208	34,46	8,00	1	# 8
Sala de densitometría ósea	Densitómetro por ultrasonido para muñeca	Equipo de imágenes médicas	120	5,00	0,60	1	# 12
Sala de examen radio diagnóstico convencional	Equipo de rayos "X" con fluoroscopia digital	Equipo de imágenes médicas	480	99,17	82,45	3	# 2
Sala de examen radio diagnóstico convencional	Equipo de rayos "X" digital con columna a piso	Equipo de imágenes médicas	480	99,17	82,45	3	# 2

Continuación tabla XCIX.

<b>Ambiente</b>	<b>Equipo médico y mobiliario clínico asignado</b>	<b>Clasificación</b>	<b>V (V)</b>	<b>I (A)</b>	<b>P (kW)</b>	<b>Fases</b>	<b>Conductor eléctrico alimentador</b>
Tomografía	Tomógrafo Axial computarizado	Equipo de imágenes médicas	480	99,17	82,45	3	# 2 THHN
Ultrasonografía	Ultrasonógrafo	Equipo de imágenes médicas	120	5,83	0,70	1	# 12 THHN
Bodega de reactivos	Refrigerador para laboratorio clínico (17 pies cúbicos)	Equipo de refrigeración	120	3,33	0,40	1	# 12 THHN
Esterilización de materiales y muestras contaminadas	Esterilizador eléctrico con generador de vapor, de gabinete (60/75 litros)	Equipo de esterilización y relacionados	208	28,85	6,00	1	# 8 THHN
Hematología	Analizador automatizado para hematología	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	6,67	0,80	1	# 12 THHN
Hematología	Centrifuga para 76 tubos	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	208	28,85	6,00	1	# 8 THHN
Inmunología	Analizador automático de microelisa	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	2,50	0,30	1	# 12 THHN
Inmunología	Lavador automático para placas de microelisa	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	2,50	0,30	1	# 12 THHN
Laboratorio de emergencia 24 y recepción de muestras	Agitador de tubos	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	1,25	0,15	1	# 12 THHN
Laboratorio de emergencia 24 y recepción de muestras	Centrifuga para 24 tubos	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	2,92	0,35	1	# 12 THHN
Lavado de cristalería	Horno para secado de material	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	12,50	1,50	1	# 12 THHN
Microbiología	Cámara de seguridad biológica	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	6,25	0,75	1	# 12 THHN

Continuación tabla XCIX.

<b>Ambiente</b>	<b>Equipo médico y mobiliario clínico asignado</b>	<b>Clasificación</b>	<b>V (V)</b>	<b>I (A)</b>	<b>P (kW)</b>	<b>Fases</b>	<b>Conductor eléctrico alimentador</b>
Microbiología	Incubadora bacteriológica	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	8,33	1,00	1	# 12 THHN
Preparación de medios cultivos	Calentador eléctrico de asas	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	5,00	0,60	1	# 12 THHN
Preparación de medios cultivos	Plato caliente con agitador	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	4,17	0,50	1	# 12 THHN
Química sanguínea	Analizador de electrolitos	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	2,50	0,30	1	# 12 THHN
Química sanguínea	Analizador de química sanguínea	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	208	4,81	1,00	1	# 12 THHN
Uroanálisis coprología	Analizador automático de orina	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	2,50	0,30	1	# 12 THHN
Uronálisis coprología	Cámara para extracción de vapores	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	7,50	0,90	1	# 12 THHN
Uroanálisis coprología	Centrifuga para 48 tubos	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	7,80	0,85	1	# 12 THHN
Uroanálisis coprología	Microscopio para laboratorio clínico	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	0,83	0,10	1	# 12 THHN
Área de trabajo lavado y secado	Planchador secador de rodillo de 4 m.	Equipo de lavandería y ropería	480	4,25	3,00	3	# 12 THHN
Área de trabajo lavado y secado	Secadora de ropa	Equipo de lavandería y ropería	480	4,25	3,00	3	# 12 THHN
Costurería	Máquina de coser industrial	Equipo de lavandería y ropería	120	4,17	0,50	1	# 12 THHN
Recepción y selección ropa sucia	Báscula de plataforma	Equipo de lavandería y ropería	120	2,50	0,30	1	# 12 THHN

Continuación tabla XCIX.

<b>Ambiente</b>	<b>Equipo médico y mobiliario clínico asignado</b>	<b>Clasificación</b>	<b>V (V)</b>	<b>I (A)</b>	<b>P (kW)</b>	<b>Fases</b>	<b>Conductor eléctrico alimentador</b>
Recepción y selección ropa sucia	Lavadora extractora	Equipo de lavandería y ropería	480	28,34	23,60	3	# 8 THHN
Área de ambulación	Caminadora	Equipo de terapia física y rehabilitación	120	10,00	1,20	1	# 12 THHN
Área de ambulación	Equipo para entrenamiento en caminadora con soporte de peso corporal	Equipo de terapia física y rehabilitación	120	10,00	1,20	1	# 12 THHN
Consultorio fisiatra	Electromiógrafo	Equipo de monitoreo y diagnóstico	120	5,42	0,65	1	# 12 THHN
Consultorio fisiatra	Plantoscopio	Equipo de terapia física y rehabilitación	120	1,67	0,20	1	# 12 THHN
Electroterapia	Equipo de magnetoterapia	Equipo de terapia física y rehabilitación	120	4,17	0,50	1	# 12 THHN
Electroterapia	Equipo de terapia por laser	Equipo de terapia física y rehabilitación	120	4,17	0,50	1	# 12 THHN
Electroterapia	Estimulador eléctrico neuromuscular	Equipo de terapia física y rehabilitación	120	3,33	0,40	1	# 12 THHN
Electroterapia	Ultrasonido terapéutico	Equipo de terapia física y rehabilitación	120	4,17	0,50	1	# 12 THHN
Electroterapia	Unidad de diatermia de onda corta	Equipo de terapia física y rehabilitación	120	5,83	0,70	1	# 12 THHN
Electroterapia	Vibrador de fisioterapia	Equipo de terapia física y rehabilitación	120	1,67	0,20	1	# 12 THHN
Gimnasio	Tracción cefálica y pélvica	Equipo de terapia física y rehabilitación	120	6,25	0,75	1	# 12 THHN
Gimnasio	Verticalizador del tipo camilla	Equipo de terapia física y rehabilitación	120	3,33	0,40	1	# 12 THHN
Hidroterapia a miembro superior e inferior	Tanque de hidroterapia para miembros inferiores	Equipo de terapia física y rehabilitación	120	6,25	0,75	1	# 12 THHN

Continuación tabla XCIX.

<b>Ambiente</b>	<b>Equipo médico y mobiliario clínico asignado</b>	<b>Clasificación</b>	<b>V (V)</b>	<b>I (A)</b>	<b>P (kW)</b>	<b>Fases</b>	<b>Conductor eléctrico alimentador</b>
Hidroterapia de cuerpo entero	Tina de cuerpo entero	Equipo de terapia física y rehabilitación	120	12,50	1,50	1	# 12 THHN
Hidroterapia a miembro superior e inferior	Tanque de hidroterapia para miembros superiores	Equipo de terapia física y rehabilitación	120	6,25	0,75	1	# 12 THHN
Termoterapia	Lámpara infrarroja	Equipo de terapia física y rehabilitación	120	6,25	0,75	1	# 12 THHN
Termoterapia	Set de compresas calientes con tanque	Equipo de terapia física y rehabilitación	120	10,00	1,20	1	# 12 THHN
Termoterapia	Set de compresas frías con tanque enfriador	Equipo de terapia física y rehabilitación	120	3,75	0,45	1	# 12 THHN
Termoterapia	Tanque de parafina	Equipo de terapia física y rehabilitación	120	10,00	1,20	1	# 12 THHN
Almacén de secos	Báscula de mesa	Equipo para alimentación y dietas	120	1,25	0,15	1	# 12 THHN
Almacén de secos	Congelador horizontal para alimentos	Equipo de refrigeración	120	5,00	0,60	1	# 12 THHN
Almacén para material de control sanitarios	Hidrolavadora	Equipo de esterilización desinfección y relacionados	120	4,17	0,50	1	# 12 THHN
Comida a la vista	Mesa térmica exhibidora de alimentos	Equipo para alimentación y dietas	120	1,67	0,20	1	# 12 THHN
Ensamble y distribución	Carro térmico para transportar alimentos	Equipo para alimentación y dietas	120	10,00	1,20	1	# 12 THHN
Lavado de vajilla	Lavadora de vajillas y utensilios de cocina tipo túnel	Equipo de esterilización desinfección y relacionados	208	28,85	6,00	1	# 8 THHN
Preparación de dietas especiales	Freidora industrial	Equipo para alimentación y dietas	120	1,67	0,20	1	# 12 THHN

Continuación tabla XCIX.

<b>Ambiente</b>	<b>Equipo médico y mobiliario clínico asignado</b>	<b>Clasificación</b>	<b>V (V)</b>	<b>I (A)</b>	<b>P (kW)</b>	<b>Fases</b>	<b>CABLE THHN</b>
Preparación de dietas especiales	Horno industrial	Equipo para alimentación y dietas	120	1,67	0,20	1	# 12
Preparación final	Cocina industrial	Equipo para alimentación y dietas	120	1,67	0,20	1	# 12
Preparación final	Estufa doble	Equipo para alimentación y dietas	120	1,67	0,20	1	# 12
Preparación previa	Batidora universal	Equipo para alimentación y dietas	208	3,61	0,75	1	# 12
Preparación previa	Extractor de jugos	Equipo para alimentación y dietas	120	6,25	0,75	1	# 12
Preparación previa	Peladora de vegetales	Equipo para alimentación y dietas	120	6,25	0,75	1	# 12
Preparación previa	Procesador industrial de alimentos	Equipo para alimentación y dietas	120	6,25	0,75	1	# 12
Recepción de víveres y control	Lavador de vegetales	Equipo para alimentación y dietas	208	7,21	1,50	1	# 12
Área de refrigeración de cadáveres	Refrigerador para cuatro cadáveres	Equipo de refrigeración	120	8,33	1,00	1	# 12
Descripción macroscópica	Lámpara con lupa articulada	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	0,83	0,10	1	# 12
Estudios citológicos	Equipo automático para tinción de muestras	Equipo de laboratorio clínico y bando de sangre	120	3,33	0,40	1	# 12
Estudio histopatológico	Baño de flotación	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	4,17	0,50	1	# 12
Estudio histopatológico	Centro de inclusión de tejidos	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	5,00	0,60	1	# 12
Estudio histopatológico	Congelador para laboratorio patológico	Equipo de refrigeración	120	6,67	0,80	1	# 12

Continuación tabla XCIX.

<b>Ambiente</b>	<b>Equipo médico y mobiliario clínico asignado</b>	<b>Clasificación</b>	<b>V (V)</b>	<b>I (A)</b>	<b>P (kW)</b>	<b>Fases</b>	<b>Conductor eléctrico alimentador</b>
Estudio histopatológico	Microscopio para patología con sistema para fotografía científica	Equipo para laboratorio clínico y banco de sangre	120	4,17	0,50	1	# 12 THHN
Estudio histopatológico	Micrótomo	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	2,50	0,30	1	# 12 THHN
Estudio histopatológico	Micrótomo criostato	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	12,33	1,60	1	# 12 THHN
Estudio histopatológico	Procesador automático de tejidos	Equipo de laboratorio clínico y banco de sangre	120	6,67	0,80	1	# 12 THHN
Encamado aislado	Bomba de infusión para alimentación enteral	Equipo terapéutico	120	2,08	0,25	1	# 12 THHN
Encamado aislado	Cama hospitalaria para cuidados intensivos	Mobiliario médico	120	4,17	0,50	1	# 12 THHN
Encamado aislado	Sábana térmica	Equipo auxiliar para procedimientos quirúrgicos	120	4,17	0,50	1	# 12 THHN
Estación de enfermeras	Central de monitoreo	Equipo de monitoreo y diagnóstico	120	5,42	0,65	1	# 12 THHN
Resguardo de equipos	Aspirador torácico	Equipo de aspiración	120	6,25	0,75	1	# 12 THHN
Sala broncoscopia	Broncofibroscopio	Equipo de óptica para procedimientos	120	2,92	0,35	1	# 12 THHN
Sala de ecocardiografía	Ecocardiografo	Equipo de imágenes médicas	120	7,50	0,90	1	# 12 THHN
Sala de endoscopia tubo digestivo superior	Torre de documentación para gastroscopia y colonoscopia	Equipo de óptica para procedimientos mínimamente invasivos	120	7,50	0,90	1	# 12 THHN
Sala electro - cardiografía	ECG Holter	Equipo de monitoreo y diagnóstico	120	4,17	0,50	1	# 12 THHN

Continuación tabla XCIX.

Ambiente	Equipo médico y mobiliario clínico asignado	Clasificación	V (V)	I (A)	P (kW)	Fases	Conductor eléctrico alimentador
Sala electro – cardiografía	Sistema de banda sin fin para ergometría	Equipo de monitoreo y diagnóstico	120	13,75	1,65	1	# 12 THHN
Sala espirometría	Espirómetro	Equipo de monitoreo y diagnóstico	120	4,17	0,50	1	# 12 THHN

Fuente: elaboración propia.

En la metodología para el cálculo de los circuitos derivados para tomas de corriente será la utilizada en la siguiente fórmula:

**Tabla C. Cálculo para circuitos de tomas de corriente**

Fórmula	Descripción
$I = P / V$ Sistema monofásico	I = corriente del circuito en amperios
$I = P / (\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi)$ Sistema trifásico	V = voltaje de operación del sistema
	P = potencia consumida equipo (W)
	$\cos\phi$ = factor de potencia

Fuente: Norma NFPA 70 (NEC).

En el análisis para cada circuito, se utilizará lo indicado en los artículos del NEC, NFPA 70 y las capacidades listadas en las cargas eléctricas de equipos médicos, descritas en las tablas XCIX a la CXV.

Para el cálculo de los circuitos ramales en el sistema de tomas de corriente no se excederá del 80% la capacidad de los conductores eléctricos, atendiendo lo indicado en el NEC.

### 3.3.4. Diseño de circuitos de fuerza

Estará constituido por el conjunto de todos los equipos e instalaciones que tienen por objeto realizar un trabajo mecánico. Además, son los encargados de entregar la energía eléctrica a los motores o cargas especiales que se encontrarán instalados en el centro hospitalario, y deberán cumplir con la indicado en el artículo 430 del NEC para su funcionamiento y puesta en marcha.

El cálculo para los motores eléctricos que operarán en los sistemas de distribución normal y emergencia, con un voltaje de operación comprendido entre 120, 208 y 480 voltios, monofásico o trifásico, será realizado por medio de las siguientes fórmulas.

Tabla CI. **Cálculos utilizados para motores monofásicos o trifásicos**

Fórmula	Descripción
Sistema monofásico	I F.L. = corriente nominal del motor (amperios)
$I F.L. = (HP \cdot 746) / V \text{ nom} \cdot fp \cdot \eta$	HP = caballos de fuerza
Sistema trifásico	V nom = voltaje nominal (voltios)
$I F.L. = (HP \cdot 746) / (\sqrt{3} \cdot V \text{ nom} \cdot fp \cdot \eta)$	fp = factor de potencia
	$\eta$ = Eficiencia del motor eléctrico (%)

Fuente: Norma NFPA 70 (NEC).

La corriente nominal del motor es la que el motor demanda a plena carga; también es conocida como corriente de placa, ya que los motores eléctricos la traen indicada en la placa de características. En el caso del valor para el factor de potencia se utilizará 0,80 que es el mínimo aceptado por el NEC para motores a plena carga y aceptado por la empresa suministradora de energía eléctrica.

La eficiencia de los motores eléctricos está dada por la relación de la potencia mecánica de salida y la potencia eléctrica de entrada se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Eficiencia} = [\text{Potencia mecánica de salida} / \text{Potencia eléctrica de entrada}]$$

$$\text{Eficiencia} = [(0,746 \text{ kW} \cdot \text{HP de salida}) / \text{kW demandados}] (\%)$$

De acuerdo con la eficiencia se puede clasificar en tres géneros de motores eléctricos:

- de eficiencia estándar
- de alta eficiencia
- de eficiencia Premium y súper Premium

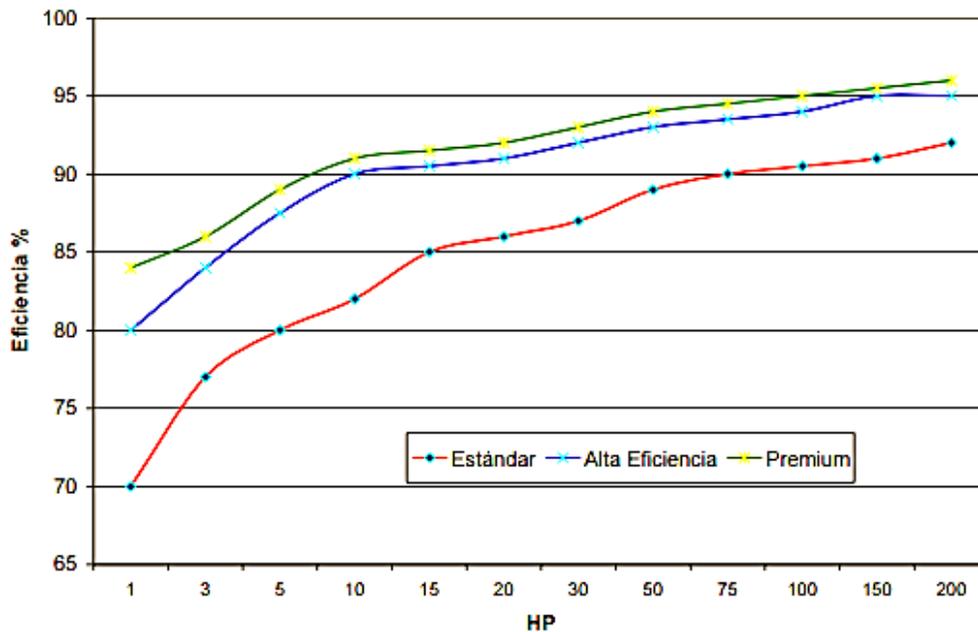
En el caso de los motores estándar se considera como principal cualidad la funcionalidad y precio.

Los motores de alta eficiencia se caracterizan por disminuir el consumo de energía eléctrica y un uso más eficiente y racional de la misma.

Para elevar aún más la eficiencia de los motores eléctricos se ha perfeccionado el proceso de manufactura y la utilización de materiales de mayor calidad dando origen a los motores de eficiencia Premium.

Para mejorar la eficiencia se debe disminuir las pérdidas eléctricas del motor. Esto se logra con el cambio de diseño, materiales de alta calidad y un mejor proceso de fabricación.

Figura 113. **Diagrama comparativo de eficiencia para motores eléctricos**



Fuente: [www.cnee.gov.gt](http://www.cnee.gov.gt). Eficiencia energética. p. 3. Consulta: 12 de agosto de 2016.

En el diagrama comparativo de eficiencia para motores eléctricos se observa que los motores de alta eficiencia a determinada carga entregan mayor o igual cantidad de trabajo con menor consumo de energía que un motor estándar.

Si se utiliza un motor con eficiencia Premium, el costo inicial será alto, pero debido a su mayor eficiencia, con un menor consumo de energía eléctrica se recupera la inversión en un tiempo mínimo.

**Tabla CII. Normas aplicables a la eficiencia de motores eléctricos**

Norma	Descripción
IEC-60034-2-1:2014	Método para determinación de pérdidas y eficiencia
IEC-60034-30-1:2014	Definición de clases de potencia

Fuente: [www.weg.net](http://www.weg.net) Normativas globales de eficiencia para motores eléctricos de baja tensión. p. 2. Consulta 12 de agosto de 2016.

**Tabla CIII. Normas para clasificación de motores eléctricos por eficiencia**

NEMA MG-1 Parte 12	IEC-60034-2-1:2007
Eficiencia Súper Premium	IE4
Eficiencia Premium	IE3
Alta Eficiencia	IE2
Eficiencia Estándar	IE1

Fuente: [new.abb.com](http://new.abb.com). Eficiencia en motores. p. 8. Consulta: 12 de agosto de 2016.

La corriente de arranque es la que demanda el motor cuando se pone en operación. Generalmente alcanza de 6 a 8 veces la corriente nominal.

Cálculo para el conductor del circuito derivado: se realizará para obtener la capacidad de conducción eléctrica de los conductores que alimentan a cada motor de la instalación, los cuales vienen desde el tablero de distribución o centro de carga hacia cada uno de los motores eléctricos. Se calcula para una sobrecarga del 125% debido a la corriente de arranque del motor, de manera que la corriente nominal del conductor se determinará de acuerdo a lo indicado en el artículo 430,22 parte (B) del NEC 2011, con la siguiente fórmula:

$$I = 1,25 \cdot I_{F.L.}$$

Tabla CIV. Eficiencia nominal a plena carga para motores eléctricos

Potencia nominal, kW	Potencia nominal, HP	Motores cerrados				Motores abiertos			
		2 polos	4 polos	6 polos	8 polos	2 polos	4 polos	6 polos	8 polos
0,746	1,00	77,00	85,50	82,50	74,00	77,00	85,50	82,50	74,00
1,119	1,50	84,00	86,50	87,50	77,00	84,00	86,50	86,50	75,50
1,492	2,00	85,50	86,50	88,50	82,50	85,50	86,50	87,50	85,50
2,238	3,00	86,50	89,50	89,50	84,00	85,50	89,50	88,50	86,50
3,730	5,00	88,50	89,50	89,50	85,50	86,50	89,50	89,50	87,50
5,595	7,50	89,50	91,70	91,00	85,50	88,50	91,00	90,20	88,50
7,460	10,00	90,20	91,70	91,00	85,50	89,50	91,70	91,70	89,50
11,19	15,00	91,00	92,40	91,70	88,50	90,20	93,00	91,70	89,50
14,92	20,00	91,00	93,00	91,70	89,50	91,00	93,00	92,40	90,20
18,65	25,00	91,70	93,60	93,00	89,50	91,70	93,60	93,00	90,20
22,38	30,00	91,70	93,60	93,00	91,00	91,70	94,10	93,60	91,00
29,84	40,00	92,40	94,10	94,10	91,00	92,40	94,10	94,10	91,00
37,30	50,00	93,00	94,50	94,10	91,70	93,00	94,50	94,10	91,70
44,76	60,00	93,60	95,00	94,50	91,70	93,60	95,00	94,50	92,40
55,95	75,00	93,60	95,40	94,50	93,00	93,60	95,00	94,50	93,60
74,60	100,00	94,10	95,40	95,00	93,00	93,60	95,40	95,00	93,60
93,25	125,00	95,00	95,40	95,00	93,60	94,10	95,40	95,00	93,60
111,90	150,00	95,00	95,80	95,80	93,60	94,10	95,80	95,40	93,60
149,20	200,00	94,50	96,20	95,80	94,10	95,00	95,80	95,40	93,60
186,50	250,00	95,80	96,20	95,80	94,50	95,00	95,80	95,40	94,50
223,80	300,00	95,80	96,20	95,80	---	95,40	95,80	95,40	---
261,10	350,00	95,80	96,20	95,80	---	95,40	95,80	95,40	---
298,40	400,00	95,80	96,20	---	---	95,80	95,80	---	---
335,70	450,00	95,80	96,20	---	---	95,80	96,20	---	---
373,00	500,00	95,80	96,20	---	---	95,80	96,20	---	---

Fuente: www.dof.gob.mx. Motores de corriente trifásicos. Consulta: 12 de agosto de 2016.

Cálculo para la protección del circuito derivado: la protección se puede realizar mediante la utilización de fusibles, o bien mediante interruptores termomagnéticos, los cuales serán seleccionados de acuerdo con lo indicado en la tabla CV.

Tabla CV. **Selección de capacidad de protección para el circuito derivado de alimentación para motores eléctricos**

Capacidad del motor (HP)	I nominal del interruptor
0,00 a 10,00	$2,00 \cdot I_{F.L.}$
10,00 a 25,00	$1,75 \cdot I_{F.L.}$
25,00 a 200,00	$1,50 \cdot I_{F.L.}$

Fuente: Norma NFPA 70 (NEC).

También puede utilizarse para el cálculo de la corriente a plena carga de motores de corriente alterna conectados a sistemas monofásico, bifásico y trifásico con diferentes voltajes de operación funcionando a velocidades habituales con características normales de par. Se admitirán las intensidades indicadas para los rangos de tensión de los diferentes sistemas, según su clasificación.

La función de la protección del circuito derivado no es proteger la carga, sino al conductor eléctrico.

Alimentador de un centro de control de motores. El conductor o bus que alimenta a un tablero de distribución, o un centro de control de motores eléctricos, deberá calcularse de tal forma que puedan circular por él sin problema y riesgo alguno las corrientes de arranque de las máquinas, utilizando la siguiente fórmula:

$$I_{\text{Diseño}} = 1,25 I_{F.L.} (\text{motor mayor}) \cdot F.D. + (I_{F.L.} \cdot F.D.) + (I_{F.L.} \cdot F.D.) + \dots$$

Si por alguna razón se tienen varios motores de la misma capacidad, y a su vez son los más grandes, únicamente se toma uno de éstos como el motor de mayor capacidad y el resto de motores se agrega a la sumatoria de cargas.

Tabla CVI. **Capacidad de consumo de corriente para motores**

Horsepower	Induction-Type Squirrel Cage and Wound Rotor (Amperes)							Synchronous-Type Unity Power Factor* (Amperes)			
	115 Volts	200 Volts	208 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts	230 Volts	460 Volts	575 Volts	2300 Volts
¼	4.4	2.5	2.4	2.2	1.1	0.9	—	—	—	—	—
¾	6.4	3.7	3.5	3.2	1.6	1.3	—	—	—	—	—
1	8.4	4.8	4.6	4.2	2.1	1.7	—	—	—	—	—
1½	12.0	6.9	6.6	6.0	3.0	2.4	—	—	—	—	—
2	13.6	7.8	7.5	6.8	3.4	2.7	—	—	—	—	—
3	—	11.0	10.6	9.6	4.8	3.9	—	—	—	—	—
5	—	17.5	16.7	15.2	7.6	6.1	—	—	—	—	—
7½	—	25.3	24.2	22	11	9	—	—	—	—	—
10	—	32.2	30.8	28	14	11	—	—	—	—	—
15	—	48.3	46.2	42	21	17	—	—	—	—	—
20	—	62.1	59.4	54	27	22	—	—	—	—	—
25	—	78.2	74.8	68	34	27	—	53	26	21	—
30	—	92	88	80	40	32	—	63	32	26	—
40	—	120	114	104	52	41	—	83	41	33	—
50	—	150	143	130	65	52	—	104	52	42	—
60	—	177	169	154	77	62	16	123	61	49	12
75	—	221	211	192	96	77	20	155	78	62	15
100	—	285	273	248	124	99	26	202	101	81	20
125	—	359	343	312	156	125	31	253	126	101	25
150	—	414	396	360	180	144	37	302	151	121	30
200	—	552	528	480	240	192	49	400	201	161	40
250	—	—	—	—	302	242	60	—	—	—	—
300	—	—	—	—	361	289	72	—	—	—	—
350	—	—	—	—	414	336	83	—	—	—	—
400	—	—	—	—	477	382	95	—	—	—	—
450	—	—	—	—	515	412	103	—	—	—	—
500	—	—	—	—	590	472	118	—	—	—	—

\*For 90 and 80 percent power factor, the figures shall be multiplied by 1.1 and 1.25, respectively.

Fuente: *National Electrical Code Handbook* 2011. p. 651. Consulta: 12 de agosto de 2016.

El factor de demanda (F.D.) que afecta a cada uno de los motores debe especificarse de acuerdo al régimen de trabajo de cada uno de ellos.

La protección del alimentador tendrá por objetivo principal proteger al conductor contra sobrecargas, generalmente por medio de interruptores termomagnéticos. Se calculará de manera que tome en cuenta la corriente de arranque del motor mayor, más la sumatoria de corrientes de plena carga del resto de motores, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$I = I_{\text{arranque}} (\text{motor mayor}) + \sum I_{\text{F.L.}} (\text{otros motores})$$

Las características que definen a un motor eléctrico son las siguientes:

- Tensión (V): Monofásica, trifásica, corriente continua, con diferentes valores (120V, 208V, 220V, 240V, 380V, 460V, 480V, 500V)
- Potencia (kW): En función de la potencia y la tensión vendrá dada la intensidad (A)
- Frecuencia (Hz): En Europa 50Hz, En América, 60Hz
- Velocidad (n): Dependerá de la polaridad del motor y frecuencia de la red
- Nivel de protección del motor
- Forma constructiva
- Clase de aislamiento (Y...c)
- Factor de potencia ( $\cos\phi$ )
- Tipo de servicio (S1...S7)
- Ejecución de la caja de bornes
- Características particulares del motor, además de las generales dadas por el fabricante
- Dimensionado del motor y peso
- Diagramas de par, velocidad, consumos
- Ensayos particulares, cuando se trata de motores especiales, no incluidos en el catálogo general del fabricante.

### **3.3.4.1. Ascensores**

Máquinas eléctricas de transporte vertical para uso de personal médico y pacientes (elevador camillero), así como montacargas para uso de transporte de ropa sucia, medicamentos, equipos médicos y otros.

Los ascensores para hospitales, montacamillas y montacamás realizan desplazamientos cómodos y seguros para personal médico, pacientes y visitas. En el diseño y elección se considerarán las siguientes características:

- Los traslados de pacientes deberán ser rápidos y deben evitarse los movimientos bruscos del ascensor en el arranque y la parada.
- Los picos altos de intensidad de tráfico en los cambios de turno, horas de visita, horarios de comida, etc.
- Estimar el tráfico altamente preferencial, como los traslados de las camas y camillas a quirófanos o movimientos de los carros de comida en horarios determinados.
- El tiempo de espera del personal del hospital debe ser mínimo.

De acuerdo con las características anteriormente observadas, se elige y selecciona el equipo por utilizar, el cual deberá de cumplir con los siguientes requerimientos técnicos:

Figura 114. Ascensor camillero para hospital



Fuente: [www.thyssenkruppelevadores.com](http://www.thyssenkruppelevadores.com). Ascensores para hospitales montacamillas y montacamás. p. 2. Consulta: 15 de agosto de 2016.

Tabla CVII. Características funcionales para los ascensores

Elevador	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Carga útil	21 personas		1 000 Kg	21 personas		1 000 Kg	10 personas					
Velocidad	1 m/s		0,2 m/s	1 m/s		1 m/s	1 m/s	0,2 m/s	1 m/s		1 m/s	
Paradas	3		2	2		5	6	2	3		2	
Recorrido en (mm)	9 000		4 000	5 000		16 000	20 000	5 150	9 000		4 000	
Ducto en (mm)												
Ancho	2 430		2 730	2 430		2 360	2 400	2 200	2 600		2 250	
Largo	3 910		1 600	3 160		2 360	2 200	2 200	2 780		2 150	
Fosa en (mm)	1 600		1 600	1 600		1 600	1 600	1 600	1 600		1 590	
Sobre recorrido	4 000		4 850	5 000		4 000	4 230	4 000	4 230		3 800	

Fuente: elaboración propia.

Todos los ascensores deberán de contar con las siguientes características:

- Mando o control: colectivo selectivo en subida y bajada, en maniobra combinada simplex. Los controles deberán ser comandados a base de microprocesadores y constarán de tecnología de vanguardia.
- Sistema de accionamiento VVVF “Variable voltaje variable frecuencia”; control de tracción para motores de corriente alterna, totalmente regulado mediante *Thyristores*, el cual permitirá una aceleración y desaceleración gradual con un excelente confort de viaje, además de mejorar la eficiencia en el consumo de energía para el motor de tracción principal al eliminar el uso de volante de inercia sobre el eje de la máquina y motor de tracción.

El sistema permitirá un control de la velocidad de la cabina desde cero hasta la nominal y viceversa mediante una secuencia lógica controlada por una tarjeta electrónica.

- Puerta de cabina automática apertura lateral de 2 hojas con módulo VVVF.
- Puertas de piso automáticas de apertura lateral de 2 hojas, acabado de todas las puertas de piso y moquetas en acero pintado.

- Cabina:
  - Detección de obstáculos en el cerrado de puertas por medio de interruptor de rayos infrarrojos
  - Extractor de aire
  - Sin pasamanos
  - Piso del alto tráfico, antideslizante y resistente al paso de carretillas
  - Cielo luminoso fluorescente tipo isla con lámparas de ahorro energético
  - Botonera de acero inoxidable, botones luminosos señalando aceptación de llamada, señalización braille
  - Pantalla con indicador de posición y flechas direccional
  - Intercomunicador de tres puntos
  - Sistema de iluminación autónomo por baterías recargables, que proveerá luz a la cabina durante al menos una hora en caso de falla de energía eléctrica
  - Sistema de cancelación de llamadas falsas
  - Pulsador de abrir y cerrar puertas

#### Señalizaciones de piso:

- Una botonera con botones de subir y bajar en los niveles intermedios y un botón para bajar en nivel superior y uno para subir en nivel inferior
- Placas de pulsadores situadas en el marco, con botones con iluminación de llamadas
- *Display* de posición digital en todos los pisos
- Señalización braille

Rieles construidos con perfiles de acero especiales para elevadores.

Disposición de la sala de máquinas.

**Tabla CVIII. Características eléctricas para los ascensores**

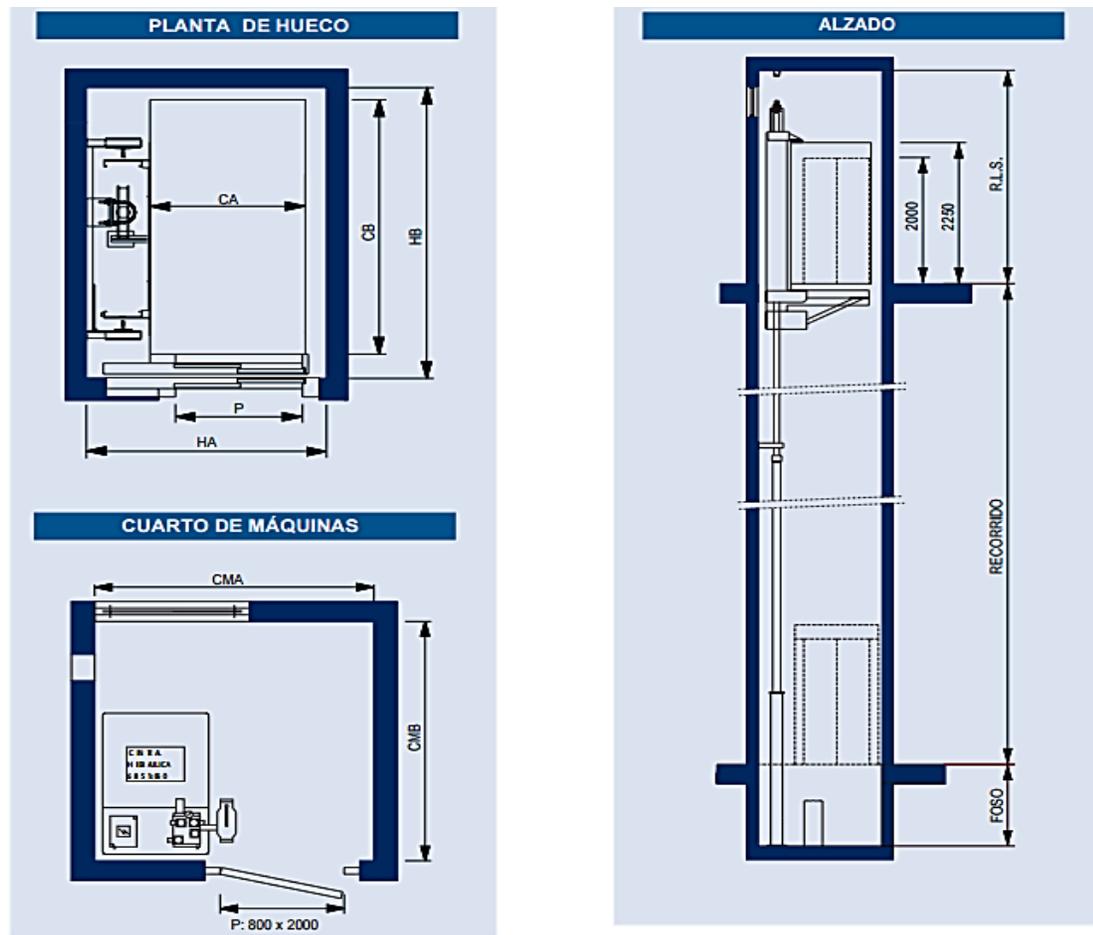
Elevador	Tablero de alimentación	Clasificación	Disposición de accionamiento	Voltaje (V)		Potencia (kVA) demandada	Capacidad Protección
				Iluminación	Fuerza		
01	TGE	Elevador camillero 1A	Con casa de máquinas	120/208	480	10,00	30A/3P
02	TGN	Elevador camillero 1B	Con casa de máquinas	120/208	480	10,00	30A/3P
03	TGN	Montacargas # 2	Hidráulico	120/208	480	5,50	40A/3P
04	TGE	Elevador camillero 2A	Con casa de máquinas	120/208	480	10,00	30A/3P
05	TGN	Elevador camillero 2B	Con casa de máquinas	120/208	480	10,00	30A/3P
06	TGN	Montacargas # 3	Con casa de máquinas	120/208	480	6,00	40A/3P
07	TGN	Montacargas # 4	Con casa de máquinas	120/208	480	6,00	40A/3P
08	TGN	Montacargas # 1	Hidráulico	120/208	480	5,50	40A/3P
09	TGE	Elevador camillero 4A	Con casa de máquinas	120/208	480	6,00	40A/3P
10	TGN	Elevador camillero 4B	Con casa de máquinas	120/208	480	6,00	40A/3P
11	TGN	Elevador camillero 3A	Arriba dentro del sobre corrido	120/208	480	6,60	40A/3P
12	TGN	Elevador camillero 3B	Arriba dentro del sobre corrido del elevador	120/208	480	6,60	40A/3P

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la tabla anterior, se tendrá en la disposición de accionamiento, ascensores que operan con casa de máquinas, ascensores que los motores eléctricos estarán instalados sobre la cabina y ascensores hidráulicos.

Para los cuales se verá en la figura siguiente, el modo de funcionamiento e instalación de equipos de acuerdo con su configuración.

Figura 115. Ascensor con casa de máquinas



CARGA	CAPACIDAD	EMBARQUES	VELOCIDAD	CABINA		HUECO				PUERTAS	C.MAQUNAS	
				CA	CB	HA	HB	R.L.S.	FOSO	P	CMA	CMB
1.000	Montacamillas	Un embarque	0,6	1.100	2.100	1.700	2.400	3.500	1.500	900	1.800	1.800
		Doble a 180°					2.500					
1.600	Montacamias	Un embarque	0,6	1.400	2.400	2.300	2.700	3.500	1.300	1.300	2.000	2.000
		Doble a 180°					2.800					

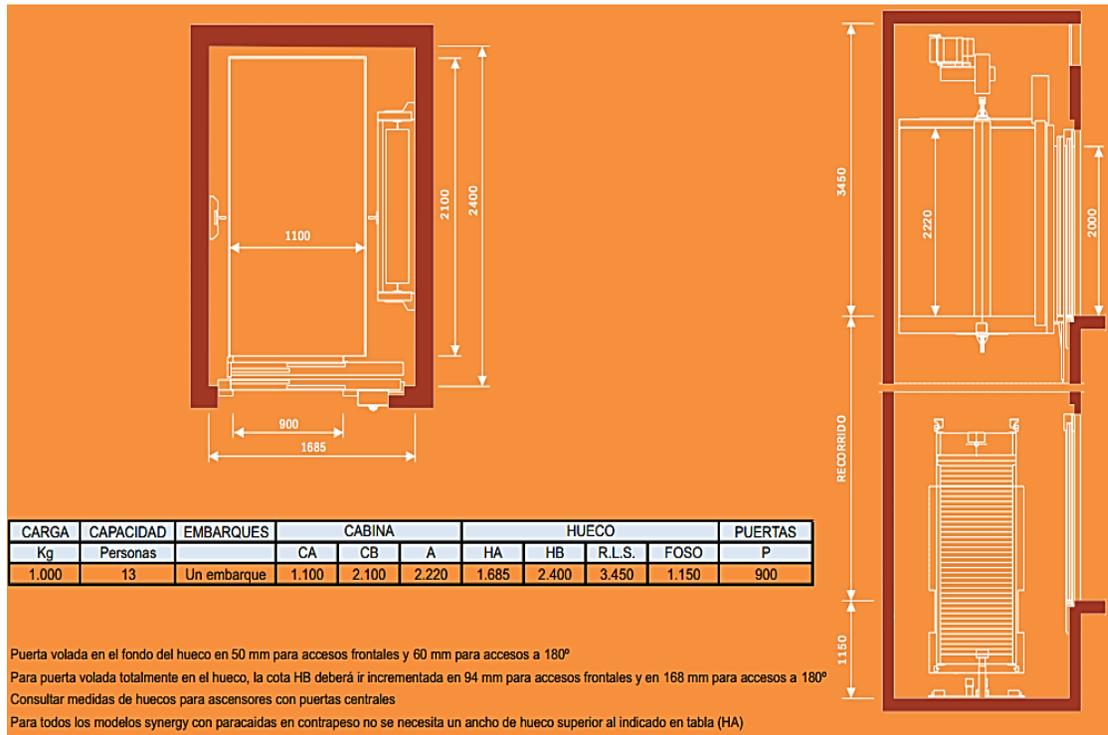
Fuente: [www.thyssenkruppelevadores.com](http://www.thyssenkruppelevadores.com). Ascensores para hospitales montacamillas y montacamias. p. 4. Consulta: 15 de agosto de 2016.

Figura 116. Casa de máquinas para ascensor



Fuente: elaboración propia.

Figura 117. Elevador montacargas



Fuente: [www.thyssenkruppelevadores.com](http://www.thyssenkruppelevadores.com). Ascensores para hospitales montacargas. p. 1.

Consulta: 15 de agosto de 2016.

**Figura 118. Equipo hidráulico para ascensor montacargas y prueba para el ascensor con carga**



Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo de los conductores eléctricos y protección se utilizarán las tablas CI, CIV, CV. Debido a que los ascensores son tomados como circuitos derivados de fuerza y están constituidos por la protección principal en el tablero de distribución eléctrico de acuerdo al sistema que utiliza, según el artículo 517 del NEC, indica la utilización del sistema de emergencia y normal, para un voltaje de utilización de 480 voltios, el cual alimentará la carga correspondiente para cada ascensor.

En la ubicación final dentro del ducto para ascensor, si es con casa de máquinas o no, se instalará una caja tipo NEMA I, en donde se recibe la canalización y conductor de alimentación correspondiente para cada ascensor, así como su protección respectiva, de acuerdo con la tabla siguiente.

Tabla CIX. **Cálculo de conductores y protecciones eléctricas para los ascensores del centro hospitalario**

Elevador	Voltaje (V)	Capacidad (kVA)	Eficiencia (η)	Cosφ (fp)	Corriente nominal (A)		Corriente para la protección	Capacidad Protección	Calibre de Conductor AWG
					Motor	Conductor			
01	480	10,00	0,885	0,80	16,99	21,24	29,63A	30A/3P	# 8 THHN
02	480	10,00	0,885	0,80	16,99	21,24	29,63A	30A/3P	# 8 THHN
03	480	5,50	0,855	0,80	17,58	21,98	35,16A	40A/3P	# 8 THHN
04	480	10,00	0,885	0,80	16,99	21,24	29,63A	30A/3P	# 8 THHN
05	480	10,00	0,885	0,80	16,99	21,24	29,63A	30A/3P	# 8 THHN
06	480	6,00	0,855	0,80	17,58	21,98	35,16A	40A/3P	# 8 THHN
07	480	6,00	0,855	0,80	17,58	21,98	35,16A	40A/3P	# 8 THHN
08	480	5,50	0,855	0,80	17,58	21,98	35,16A	40A/3P	# 8 THHN
09	480	6,00	0,855	0,80	17,58	21,98	35,16A	40A/3P	# 8 THHN
10	480	6,00	0,855	0,80	17,58	21,98	35,16A	40A/3P	# 8 THHN
11	480	6,60	0,855	0,80	17,58	21,98	35,16A	40A/3P	# 8 THHN
12	480	6,60	0,855	0,80	17,58	21,98	35,16A	40A/3P	# 8 THHN

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la tabla CIX, el valor para la corriente del conductor eléctrico será entre 29,63 amperios y 35,16 amperios; el conductor se ha dimensionado tomando en cuenta la distancia de la instalación, con base en el criterio de caída de voltaje.

Cuando se realiza una instalación eléctrica alimentada desde la casa de máquinas del ascensor por medio de un transformador, se utilizará los valores descritos en la tabla CX, para el cálculo de los alimentadores eléctricos del circuito derivado desde el tablero de alimentación o distribución eléctrico, al cual será asignado el ramal respectivo. Se utilizará la siguiente fórmula para su cálculo:

$$\text{Tamaño del alimentador (mm}^2\text{)} = [(\text{longitud del alimentador (m)} / 50) \cdot \text{Tamaño máximo indicado en la tabla}]$$

**Tabla CX. Cálculo del conductor eléctrico para transformador alimentador del ascensor ubicado en casa de máquinas**

Capacidad Kg	Motor (kW)	N.F.B. Corriente nominal (A)	Capacidad del transformador kVA	Alimentador de corriente (mm <sup>2</sup> )	Hilo de tierra (mm <sup>2</sup> )
1 500 a 4 000	5,50	30,00	12,00	5,50	5,50
	7,50	30,00	15,00	5,50	5,50
	11,00	50,00	20,00	8,00	5,50
	15,00	50,00	25,00	14,00	5,50
	18,50	75,00	31,00	22,00	5,50
	22,00	75,00	37,00	22,00	14,00
	30,00	100,00	50,00	30,00	14,00

Fuente: elaboración propia.

**Notas:**

- Los tamaños de alimentación de potencia anteriores se basan en su tamaño máximo de 50 metros. En caso de que la longitud del alimentador del transformador a la sala de máquinas del ascensor supere 50 metros se aplicará la fórmula antes descrita.
- Los tamaños de alimentación se basan en el uso de conductores de cobre y un conducto metálico tipo EMT.
- Para requerimientos de potencia de 3 ascensores o más, consultar a fábrica.
- La emisión de calor y ventilación del cuarto de máquinas en las dimensiones anteriores pueden variar ligeramente con el tamaño de la sala de máquinas y el medio ambiente periférico.

Tabla CXI. **Factor de simultaneidad para grupos de cargas**

<b>Función del circuito</b>	<b>Factor de simultaneidad</b>
Iluminación	1,00
Aire acondicionado y calefacción	1,00
Toma de corriente	0,1 a 0,2
Elevación y carga	
Motor mayor	1,00
Segundo motor	0,75
Resto de los motores	0,60

Fuente: Norma IEC 60439. Consulta: 16 de agosto de 2016.

### **3.3.4.2. Equipo hidráulico**

Estará constituido por el conjunto de motores eléctricos que tendrán como función principal poner en funcionamiento los sistemas de bombeo del tanque de cisterna, bombas de agua para pozos, sistema de planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), bombas para el sistema contra incendio.

La metodología corresponde al cálculo para el centro de control para motores. Debido a que la mayoría de los equipos están concentrados en tableros de distribución o centros de control para motores eléctricos, se presenta el cálculo para el tablero de fuerza ubicado en casa de motores para bombas de extracción de agua que suministrarán el líquido hacia el centro hospitalario, así como el sistema de enfriamiento por *chillers* y sistema de control de incendios.

Tabla CXII. Subtablero de fuerza casa de bombas STFCBo

Circuito y espacio	(V)	Capacidad (VA)	Amperios			Capacidad protección	Calibre del Alimentador AWG	Descripción
			Fase A	Fase B	Fase C			
01 - 03 - 05	480	122 100	196,13	196,13	196,13	300A/3P	2(1/0 THHN)	Enfriador # 1
02 - 04 - 06	480	122 100	196,13	196,13	196,13	300A/3P	2(1/0 THHN)	Enfriador # 2
07 - 09 - 11	480	22 380	36,98	36,98	36,98	70A/3P	8 THHN	Bomba circuito primario
08 - 10 - 12	480	22 380	36,98	36,98	36,98	70A/3P	8 THHN	Bomba circuito secundario
13 - 15 - 17	480	59 680	96,48	96,48	96,48	150A/3P	2 THHN	Bombas de agua potable
14 - 16 - 18	480	37 300	61,16	61,16	61,16	100A/3P	2 THHN	Bomba contra incendio
19 - 21 - 23	480	89 520	144,73	144,73	144,73	225A/3P	2(1/0) THHN	Bomba Pozo
20 - 22 - 24	480	6 055	10,65	10,65	10,65	20A/3P	12 THHN	Bomba Jockey
25 - 27 - 29	480	41 400	67,88	67,88	67,88	100A/3P	4 THHN	Bomba de traciego O <sub>2</sub>
26 - 28 - 30	480	15 000	22,55	22,55	22,55	30A/3P	8 THHN	Transformador seco 15 kVA
31 - 33 - 35								Banco de capacitores
32 - 34 - 36								Reserva
Actual		537 915	869,67	869,67	869,67	Panel-board 36 espacios 277/480 voltios 5 hilos, barras de 1 200 amperios Principal 1 000 amperios / 3 polos Alimentador: 4X(3 THHN #4/0; 1 #2/0; Ø 2 ½")		
Reserva		107 583	173,93	173,93	173,93			
Total		645 498	1 043,60	1 043,60	1 043,60			
FD = 0,40		258 066						

Fuente: elaboración propia.

El tablero de distribución STFCBo (Subtablero de fuerza casa de bombas), se utilizará como centro de control de motores. Se calcula de acuerdo al artículo 430 del NEC 2011 con la siguiente fórmula:

Alimentador para el centro de motores:

$$I_{\text{Diseño}} = 1,25 I_{\text{F.L.}} (\text{motor mayor}) \cdot \text{F.D.} + (I_{\text{F.L.}} \cdot \text{F.D.}) + (I_{\text{F.L.}} \cdot \text{F.D.}) + \dots$$

Tabla CXIII. **Cálculo de la corriente de arranque para centro de motores**

Capacidad (VA)	Corriente de arranque del motor (A) I F.L.	Factor de demanda	Datos para ingreso en la fórmula	Descripción de ubicación para motores
122 100	196,13	1,00	245,16	Primer motor
122 100	196,13	0,75	147,10	Segundo motor
89 520	144,73	0,60	86,84	Tercer motor
59 680	96,48	0,60	57,89	Cuarto motor
41 400	67,88	0,60	40,73	Quinto motor
37 300	61,16	0,60	36,70	Sexto motor
22 380	36,98	0,60	22,19	Séptimo motor
22 380	36,98	0,60	22,19	Octavo motor
6 055	10,65	0,60	6,39	Noveno motor
15 000	18,04		18,04	Transformador tipo seco
	865,16		683,23	

Fuente: elaboración propia.

I Diseño = 683,23 Amperios, para el alimentador del centro de motores

Protección del alimentador para el centro de control de motores:

$$I = I_{\text{arranque}} (\text{motor mayor}) + \sum I_{\text{F.L.}} (\text{otros motores})$$

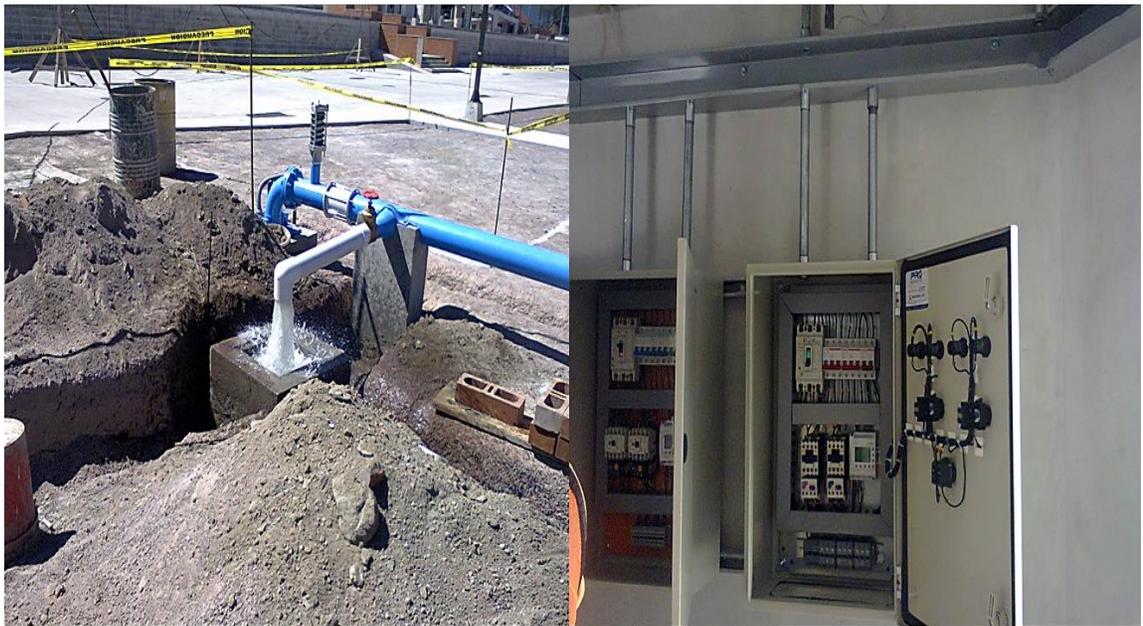
Para el cálculo de la protección se tendrá: I = 865,16 amperios, el valor más próximo de acuerdo con los fabricantes corresponde a 1 000 amperios / 3 polos, para el valor de la protección principal.

**Figura 119. Centro de control para sistema de bombeo cisterna y subtablero STFCBo**



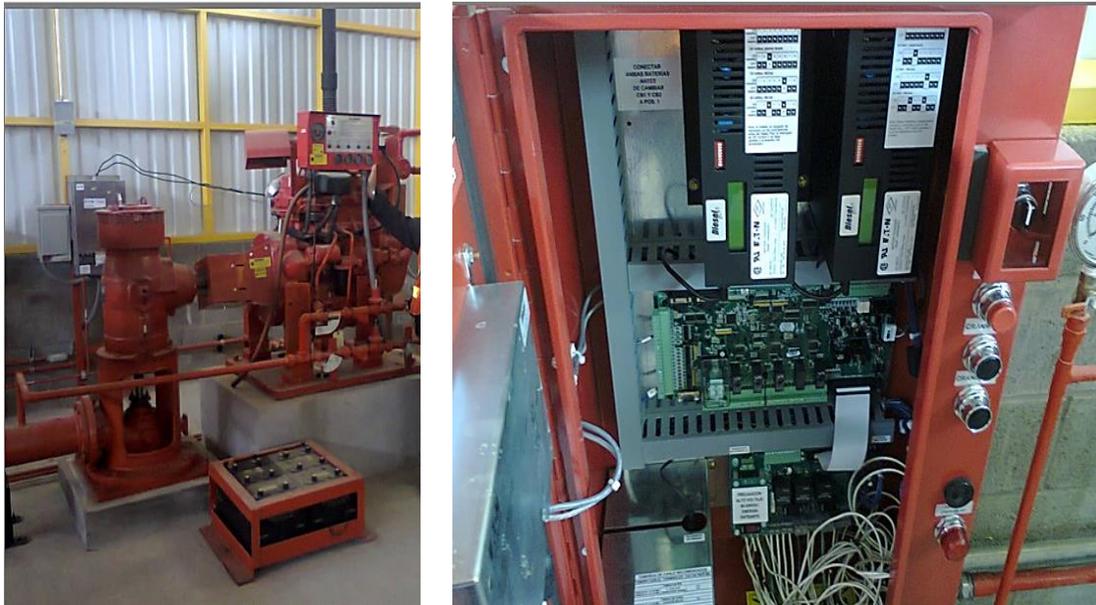
Fuente: elaboración propia.

**Figura 120. Prueba de aforo para bomba de extracción de agua y panel de control**



Fuente: elaboración propia.

Figura 121. **Bomba contra incendio**



Fuente: elaboración propia.

### 3.3.4.3. **Equipo de calefacción, aire acondicionado**

Estará constituido por el sistema de aire acondicionado, necesario para dotar a los quirófanos, farmacia y oficinas de las condiciones ambientales necesarias para su operación.

Se utilizará un enfriador de agua, del tipo paquete enfriado por aire, bombas para mover el agua a través de los enfriadores y manejadoras, tubería, desaireadores y tanque hidroneumático compensador de presión. Las unidades manejadoras de aire, tuberías, válvulas reguladoras de flujo proporcional de tres vías, accionadas por motores que, a su vez, son accionados por las señales de dispositivos sensibles a los cambios de temperatura.

Figura 122. **Circuito derivado para fuerza sistema de enfriamiento  
“Chillers”**



Fuente: elaboración propia.

Enfriador de agua “*Chillers*”. El equipo deberá cumplir con lo indicado en las normas NFPA 70, ASHRAE/ANSI 15, ASHARE 90,1. El sistema de potencia estará compuesto por un motor con capacidad de 122 100 watts, para el cual se realizó el cálculo del circuito derivado en la tabla CXII. Se utilizará una caja nema tipo 3R con protección de 300A/3P hacia el motor. El sistema de control será energizado con un voltaje de operación de 120 voltios.

En la figura 122 del lado derecho se observa el equipo denominado *chillers*, y las protecciones instaladas en cajas nema 3R para intemperie.

Las unidades manejadoras de aire para los quirófanos, deberán ser de doble panel, de tal manera que sea factible una limpieza interna de la unidad. Las condiciones de confort en cada zona se podrán ajustar en forma independiente de las demás zonas.

Las unidades manejadoras de más de 6 000 CFM. (*cubic feet per minute*) pie cúbico por minuto, cuentan con su propio gabinete, sección porta filtros, sección de serpentín y depósito recolector de condensado aislado térmicamente. La sección del ventilador centrífugo con rueda tipo jaula de ardilla, motor de alta eficiencia y transmisión por medio de poleas y bandas.

Para su análisis, se utilizará el valor de la potencia eléctrica de los motores de cada unidad manejadora y se establecerá la capacidad de protección del circuito ramal y los conductores eléctricos para su alimentación.

Las unidades manejadoras (UMA) con caudales iguales o inferiores a 3 500 CFM, con *plenum* de retorno y filtro incluido, serpentín de 4 a 6 hileras de tubos y de 11 a 14 aletas por pulgada, motor fraccionario eléctrico y bandeja recolectora de condensado. En el cuadro de selección de equipos se indican las capacidades a cubrir por cada unidad.

Figura 123. **Instalación de unidad manejadora de aire “UMA”**



Fuente: elaboración propia.

**Tabla CXIV. Cálculo para el circuito derivado de fuerza UMAS**

Descripción	Suministro de volumen de aire	Potencia del motor en HP	Tipo de fuente de poder	Aplicación en áreas	Capacidad protección	Alimentador eléctrico
UMA 01	1 108 CFM	1,50	480V/3fases/60Hz	Quirófanos	15A/3P	# 12 THHN
UMA 02	1 108 CFM	1,50	480V/3fases/60Hz	Quirófanos	15A/3P	# 12 THHN
UMA 03	1 413 CFM	2,00	480V/3fases/60Hz	Quirófanos	15A/3P	# 12 THHN
UMA 04	1 210 CFM	2,00	480V/3fases/60Hz	Quirófanos	15A/3P	# 12 THHN
UMA 05	1 210 CFM	2,00	480V/3fases/60Hz	Quirófanos	15A/3P	# 12 THHN
UMA 06	1 413 CFM	2,00	480V/3fases/60Hz	Quirófanos	15A/3P	# 12 THHN
UMA 07	1 178 CFM	8,00	480V/3fases/60Hz	Pasillos	30A/3P	# 12 THHN
UMA 08	2 650 CFM	4,00	480V/3fases/60Hz	Quirófanos	15A/3P	# 12 THHN
UMA 09	2 061 CFM	3,00	480V/3fases/60Hz	Quirófanos	15A/3P	# 12 THHN
UMA 10	2 061 CFM	3,00	480V/3fases/60Hz	Quirófanos	15A/3P	# 12 THHN
UMA 11	2 061 CFM	3,00	480V/3fases/60Hz	Quirófanos	15A/3P	# 12 THHN
UMA 12	1 178 CFM	8,00	480V/3fases/60Hz	Pasillos	30A/3P	# 12 THHN
UMA 13	2 531 CFM	1,50	480V/3fases/60Hz	Comunes	15A/3P	# 12 THHN
UMA 14	3 356 CFM	1,00	480V/3fases/60Hz	Comunes	15A/3P	# 12 THHN
UMA 15	9 860 CFM	4,00	480V/3fases/60Hz	Comunes	15A/3P	# 12 THHN
UMA 16	2 061 CFM	3,00	480V/3fases/60Hz	Quirófanos	15A/3P	# 12 THHN
UMA 17	1 500 CFM	0,75	480V/3fases/60Hz	Comunes	15A/3P	# 12 THHN
UMA 18	2 061 CFM	3,00	480V/3fases/60Hz	Quirófanos	15A/3P	# 12 THHN
UMA 19	2 700 CFM	1,00	480V/3fases/60Hz	Comunes	15A/3P	# 12 THHN
UMA 20	3 770 CFM	1,50	480V/3fases/60Hz	Comunes	15A/3P	# 12 THHN
UMA 21	1 831 CFM	1,00	480V/3fases/60Hz	Comunes	15A/3P	# 12 THHN
UMA 22	1 940 CFM	0,75	480V/3fases/60Hz	Comunes	15A/3P	# 12 THHN
UMA 23	3 296 CFM	1,00	480V/3fases/60Hz	Comunes	15A/3P	# 12 THHN
UMA 24	1 354 CFM	2,00	480V/3fases/60Hz	Quirófanos	15A/3P	# 12 THHN
UMA 25	1 354 CFM	2,00	480V/3fases/60Hz	Quirófanos	15A/3P	# 12 THHN
UMA 26	3 044 CFM	1,00	480V/3fases/60Hz	Comunes	15A/3P	# 12 THHN
UMA 27	2 000 CFM	2,00	480V/3fases/60Hz	Comunes	15A/3P	# 12 THHN
UMA 28	1 708 CFM	3,00	480V/3fases/60Hz	Quirófanos	15A/3P	# 12 THHN

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con la tabla anterior, se observa que, para realizar el cálculo del circuito derivado de fuerza para el sistema de calefacción, se deberá conocer la información técnica del equipo a instalar, la capacidad en caballos de fuerza (HP).

El voltaje de operación, y de acuerdo con la tabla CXX se obtendrá el valor de la eficiencia del motor eléctrico a utilizar, con un factor de potencia de 0,80.

#### **3.3.4.4. Calderas**

El sistema estará constituido por 2 generadores de vapor de 125 BHP (*brake horse power*) potencia al freno, cada uno ubicado en la casa de máquinas para calderas, que producirán vapor a 150 psi de presión de diseño y darán 100 psi de presión de vapor de trabajo. Ambos generadores estarán conectados en paralelo a un cabezal de distribución de vapor de donde saldrán las alimentaciones principales hacia los siguientes usuarios:

- La lavandería, en vapor de alta presión
- Los generadores de agua caliente, en vapor de alta presión, en casa de máquinas
- Central de esterilización, en vapor de media presión 50 psi
- Cocina en vapor de baja presión 25 psi

Las características eléctricas de los equipos por utilizar en el sistema de calderas, se presenta en el tablero o centro de motores STFCMC, Subtablero de fuerza casa de máquinas calderas (ver tabla CXV).

Se observa que la mecánica para el cálculo es el mismo que en los tableros o centros de control para motores, en donde se ha agrupado un conjunto de motores, de acuerdo con las capacidades de carga en caballos de fuerza (HP), eficiencia de los motores, voltaje de operación y factor de potencia.

Figura 124. Caldera de vapor horizontal pirotubular



Fuente: elaboración propia.

Tabla CXV. Subtablero de distribución trifásico STFCMC 480 voltios

STFCMC	Subtablero de fuerza casa de máquinas calderas								
	Circuito y Espacio	Voltios	VA	Amperios			Protección	Conductor	Descripción
				A	B	C			
01 - 03 - 05	480	3 505	4,22	4,22	4,22	15A/3P	12 THHN	Panel Caldera de 50 HP	
02 - 04 - 06	480	4 620	5,56	5,56	5,56	15A/3P	12 THHN	Panel Caldera de 125 HP # 1	
07 - 09 - 11	480	4 620	5,56	5,56	5,56	15A/3P	12 THHN	Panel Caldera de 125 HP # 2	
08 - 10 - 12	480	2 706	3,25	3,25	3,25	15A/3P	12 THHN	Bomba de Condensado (Caldera de 50 HP)	
13 - 15 - 17	480	8 765	10,54	10,54	10,54	20A/3P	10 THHN	Bomba de Condensado (Caldera de 125 HP)	
14 - 16 - 18	480	2 710	3,26	3,26	3,26	15A/3P	12 THHN	Bomba de Circulación Calefacción ( 2 HP )	
19 - 21 - 23	480	8 765	10,54	10,54	10,54	15A/3P	10 THHN	RESERVA	
20 - 22 - 24	480	1 435	1,73	1,73	1,73	15A/3P	12 THHN	Bomba de Circulación Agua Caliente (1 HP)	
25 - 30								RESERVA	
VALOR ACTUAL		37 126	44,66	44,66	44,66	Panelboard 30 espacios 277/480 voltios, 5 hilos; Barras de 100 amperios Principal: 70 amperios / 3 polos; Ramales: HACR Alimentador: 3 THHN # 4; 1 # 8; Ø 1 ½"			
RESERVA		7 425	8,94	8,94	8,94				
TOTAL		44 551	53,60	53,60	53,60				
FD = 0.85		37 868	45,56	45,56	45,56				

Fuente: elaboración propia.

### 3.4. Sistema de potencia ininterrumpida (UPS)

Es el sistema de alimentación de energía eléctrica ininterrumpida que, por medio del almacenamiento de energía en su banco de baterías, proporciona energía eléctrica por un tiempo limitado para la operación del sistema de emergencia del centro hospitalario. De acuerdo al artículo 517 del NEC y según lo indicado en el diagrama unifilar se utilizarán 2 UPS con las siguientes características:

- Sistema trifásico
- Voltaje de entrada 480 voltios
- Factor de potencia (fp) hasta 0,98
- Frecuencia de operación 60 Hz  $\pm$  4%
- 4 hilos
- Voltaje de salida 480/277 VAC  $\pm$  3%
- 60 Hz  $\pm$  0,1%
- Potencia de salida 125 kVA nominal a FP 0,80
- Onda de salida continuo sinusoidal real (pura) o comprobada
- Filtro de entrada para eliminación de armónicas
- *Bypass* de mantenimiento incorporado que servirá cuando se efectúe mantenimiento al equipo
- Pantalla LCD multilingüe indicadora de estado
- Operación controlada por microprocesador
- Diagnóstico computarizado
- Baterías incluidas
- Tiempo de recuperación 1 ciclo
- Distorsión armónica 3% máximo

El UPS se protegerá a sí mismo y a la carga contra descargas eléctricas establecidas por IEEE 587/ANSI 62,41 – 1980, ferresonantes o requerimientos similares de normas equivalentes. La capacidad del UPS será de 125 kVA, alta eficiencia 95% y un tiempo de respaldo de 6 minutos. Se deberá proveer junto con el equipo el software necesario para el monitoreo en línea o a través de la web.

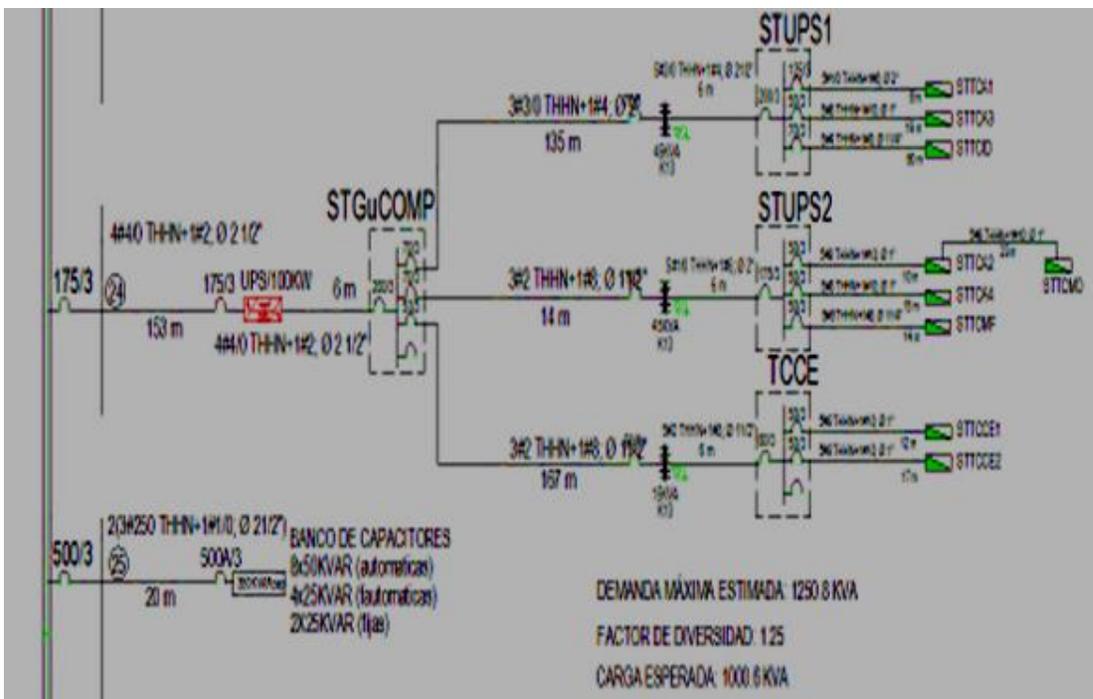
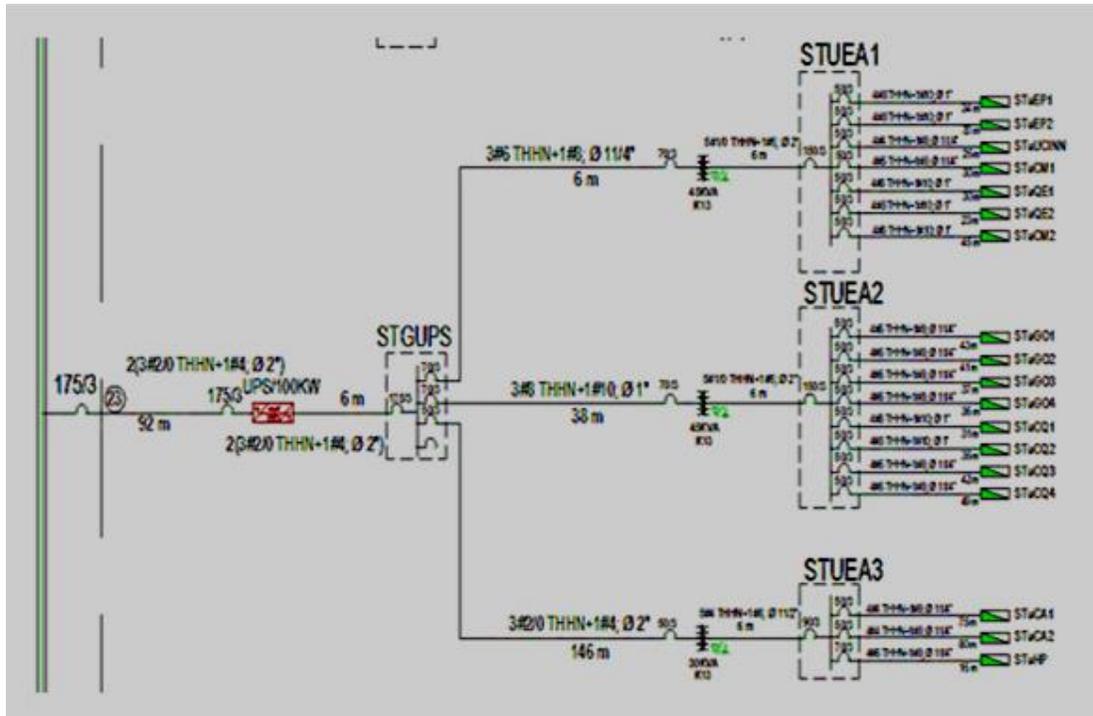
Los valores calculados de la capacidad en voltio-amperios correspondiente para cada UPS, se ha tomado de la tabla XXXIII, en donde se indica la carga instalada a los tableros de distribución denominados STGUPS (Tablero UPS edificio A sector “B”) 105 738 VA y STGUCOMP (Tablero general UPS computo) 105 735 VA. En el diagrama unifilar, la alimentación de los sistemas UPS se realizará como un circuito derivado de fuerza, con la capacidad adecuada para sus alimentadores eléctricos, protecciones y canalizaciones.

Figura 125. **UPS de 125 kVA**



Fuente: APC American Power. p. 1. Consulta: 17 de agosto de 2016.

Figura 126. Ubicación de UPS de 100 kW en el diagrama unifilar



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

## 4. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

### 4.1. Generalidades

Es el sistema de protección para la vida humana y equipos eléctricos conectados a la red eléctrica de distribución del centro hospitalario. Consiste en el conjunto de pozos con electrodos de pica enterrados en el suelo con poca resistencia o impedancia del mismo, con conductores de cobre como electrodos horizontales, que unen los electrodos por medio de soldadura exotérmica.

Todos los sistemas eléctricos, de comunicación y equipos auxiliares, deberán ponerse a tierra según las normas de reglamentos de la empresa eléctrica suministradora del servicio y de acuerdo a los artículos número 250, 430 y 517 del Código Nacional Eléctrico de los Estados Unidos (NEC).

La continuidad eléctrica del sistema de puesta a tierra deberá mantenerse en los conductos y demás elementos por medio de accesorios adecuados, tales como *bushings* para aterrizaje de tuberías en los puntos en que está se ve interrumpida (por ejemplo, en cajas de registro).

Tuberías *conduit* no relacionadas con el sistema de distribución, tales como las que contengan, si es aplicable, sistemas telefónicos, relojes, etc. Todo elemento de máquinas, son movidas por motores.

Los electrodos de pica se deberán de ubicar cerca del equipo en donde se espera que ocurra una corriente de falla, por lo que el ambiente indicado será en la casa de máquinas eléctricas lugar en donde se requiere un potencial igual a cero ohmios.

El sistema por utilizar en el centro hospitalario será el de puesta a tierra con baja impedancia (sólidamente puesto a tierra), con las siguientes funciones:

- Proporcionar un camino de impedancia suficientemente baja, vía los conductores de tierra, de regreso a la fuente de energía, de tal modo que, ante el evento de una falla a tierra de un conductor activo, fluya por una ruta predeterminada una corriente suficiente, que permita operar al dispositivo de protección del circuito.
- Limitar a un valor seguro la elevación de potencial en todas las estructuras metálicas a las cuales tienen normalmente acceso las personas, bajo condiciones normales y anormales del circuito. La conexión conjunta de todas las estructuras metálicas normalmente expuestas, previene la posibilidad de una diferencia de potencial peligrosa que surja entre contactos metálicos adyacentes ya sea bajo condiciones normales o anormales.

En la instalación eléctrica del centro hospitalario se utilizará el conductor de protección del circuito. Este es un conductor separado instalado con cada circuito y está presente para asegurar que parte o toda la corriente de falla regrese a la fuente a través de él, que estará indicado con el color verde. Como redundancia del sistema se utilizará la estructura de la tubería EMT (ver figura 127).

Figura 127. **Conductor de protección del circuito eléctrico**

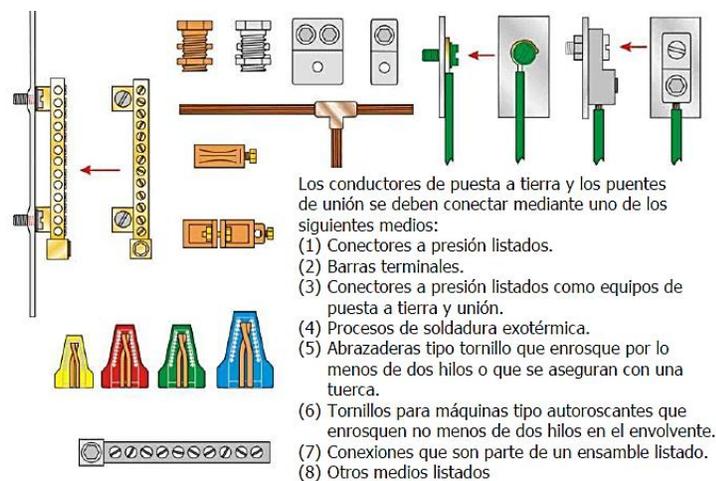


Fuente: NEC 2008 en español lo más sobresaliente. Parte II. Artículo 250. p. 22.

Consulta: 17 de agosto de 2016.

Los conductores de conexión aseguran que las partes conductivas expuestas (tales como carcasas metálicas) permanezcan aproximadamente al mismo potencial durante condiciones de falla eléctrica.

Figura 128. **Conexión del equipo de puesta a tierra y de unión**



Fuente: NEC 2008 en español lo más sobresaliente. Parte II. Artículo 250.8. p. 51.

Consulta: 17 de agosto de 2016.

Los conductores de conexión equipotencial principales se conectan entre sí y a tierra. Las partes conductivas expuestas que normalmente no llevan corriente, pero que podrían hacerlo bajo una condición de falla. En la instalación del centro hospitalario estas conexiones deberán ser de un tamaño mínimo (al menos 2,08 mm<sup>2</sup>) de acuerdo con el artículo 250.122 del NEC, que se observa en la tabla siguiente:

**Tabla CXVI. Calibre mínimo de los conductores para puesta a tierra de canalizaciones y equipos**

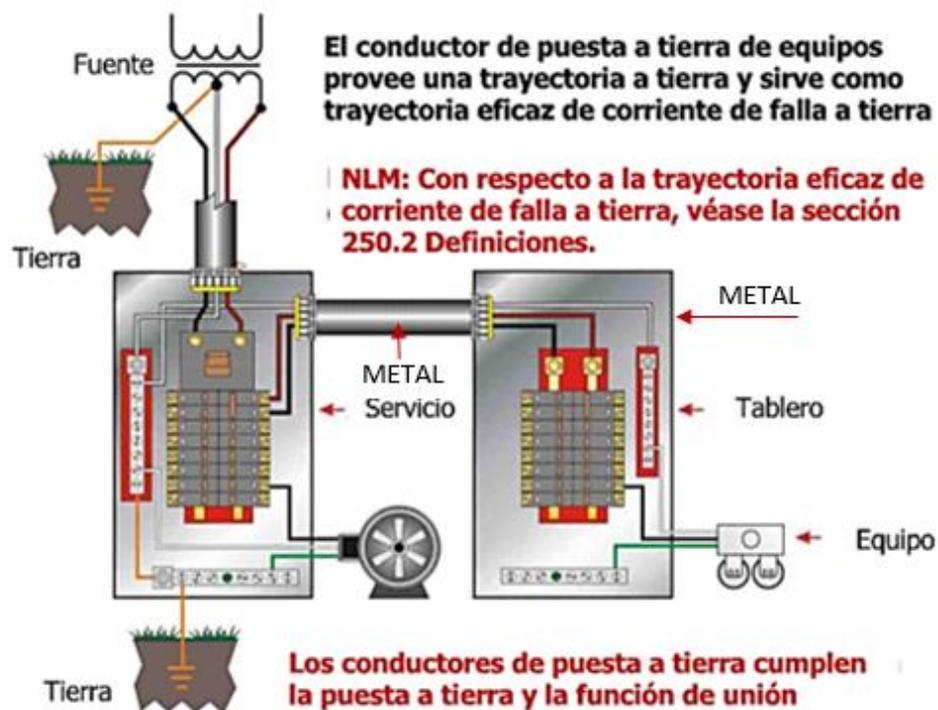
Corriente nominal o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en un circuito antes de los equipos, tubos conduit, etc, sin sobrepasar (Amperios)	Tamaño (AWG o kcmil)	
	Cobre	Aluminio o aluminio revestido de cobre*
15	14	12
20	12	10
60	10	8
100	8	6
200	6	4
300	4	2
400	3	1
500	2	1/0
600	1	2/0
800	1/0	3/0
1 000	2/0	4/0
1 200	3/0	250
1 600	4/0	350
2 000	250	400
2 500	350	600
3 000	400	600
4 000	500	750
5 000	700	1 200
6 000	800	1 200

Nota: Cuando sea necesario para cumplir con el artículo 250.4 (A) (5) o (B) (4), el conductor de protección debe ser de dimensiones más grandes que las indicadas en la tabla.

Fuente: NEC. Artículo 250,122. p. 268. Consulta: 22 de septiembre de 2016.

De acuerdo con la tabla CXVI se observa que es esencial el tamaño elegido del conductor, para que sea capaz de llevar el valor total de la corriente de falla estimada. Si ocurre una falla, la totalidad de la corriente de falla puede fluir a través del conductor de tierra hacia el sistema de electrodos enterrados. Al llegar ahí se diversificará entre los electrodos.

Figura 129. Tipos de conductores de puesta a tierra de equipos



Fuente: NEC 2008 en español lo más sobresaliente. Parte III. p. 1. Artículo 100.  
 Consulta: 17 de agosto de 2016.

En la figura 129 se observa la utilización de tubería metálica en el caso del proyecto. La aplicación de tubería tipo EMT, también tiene la función de conexión para el sistema de tierra con una doble redundancia de protección junto con el conductor de puesta a tierra del sistema.

Los electrodos de tierra son los componentes del sistema de tierra física que estarán conectados directamente con el terreno y de esta manera proporcionarán un medio para botar o recoger cualquier tipo de corrientes de fuga a tierra.

Para el dimensionamiento de los electrodos de puesta a tierra se estima llevar una corriente de falla bastante grande por un corto período y, en consecuencia, se necesitará tener una sección suficientemente grande para ser capaz de llevar esta corriente en forma segura.

Los electrodos deberán tener propiedades mecánicas y eléctricas adecuadas para responder las solicitudes durante un período relativamente largo. El material deberá tener buena conductividad eléctrica y no corroerse dentro de un amplio rango de condiciones de suelo. Los materiales utilizados incluyen cobre, acero galvanizado, acero inoxidable y fierro fundido.

Barras o varillas de cobre: se utilizarán para alcanzar en profundidad, suelo de baja resistividad, solo con excavación limitada y relleno. Están disponibles en diversos tamaños, longitudes, diámetros y materiales. La barra es de cobre puro o de acero recubierto de cobre. El tipo recubierto se utilizará cuando la barra se entierra por medios mecánicos (impacto) ya que el acero usado tiene alta resistencia mecánica. La capa de cobre deberá ser de alta pureza y aplicada electrolíticamente.

La varilla estará construida por un núcleo de acero y un recubrimiento de cobre aplicado mediante un proceso electrolítico garantizando así una unión a nivel molecular que asegura un buen desempeño de la misma, durante su vida útil.

Tabla CXVII. **Diámetros y longitudes de varilla de acero recubierto de cobre para un sistema de tierra física**

Diámetro		Longitud (m)	Espesor del recubrimiento de cobre en milímetros (mm)
Normal (pulgadas)	Real (mm)		
3/4	17,30	3,00	0,254
3/4	17,30	2,40	0,254
5/8	14,30	3,00	0,254
5/8	14,30	2,40	0,254
5/8	15,88	1,50	0,254
*5/8	15,88	3,00	0,254
3/4	19,05	3,00	0,254

\* Esta varilla cumple con la especificación CFE-56100-16.

Fuente: [www.erico.com/catalog/literature/E660-LAPS.pdf](http://www.erico.com/catalog/literature/E660-LAPS.pdf). p. 2. Consulta: 18 de agosto de 2016.

Figura 130. **Varilla de acero recubierto de cobre**



Fuente: [www.erico.com/catalog/literature/E660-LAPS.pdf](http://www.erico.com/catalog/literature/E660-LAPS.pdf). p. 1. Consulta: 18 de agosto de 2016.

Electrodos horizontales: Están hechos de cintas de cobre de alta conductividad o conductores retorcidos (cables). La cinta es el material más conveniente pues para una sección dada de material presenta una mayor superficie y se considera que tiene un mejor comportamiento a la frecuencia, debido a la capacitancia levemente mayor a tierra.

Al instalar electrodos de tierra se deberá satisfacer tres condiciones:

- El trabajo deberá ser realizado eficientemente para minimizar costos de instalación.
- El terreno o material de relleno usado no deberá tener un índice de acidez pH que cause corrosión al electrodo.
- Todas las uniones o conexiones bajo tierra deberán ser construidas de modo que no se presente corrosión en la unión o conexión.

El método de instalación será de barras, las cuales ofrecen la forma más conveniente y económica de colocar un electrodo. Previo a su instalación se deberá inspeccionar el área designada para el trabajo y de esta manera asegurarse que no hay equipos e instalaciones enterradas, tales como tuberías de agua o gas que puedan ser dañadas al enterrar las barras.

Este método incluye accionamiento manual, accionamiento mecánico, perforación, excavación y acarreo de materiales.

Las varillas tendrán una longitud de 3,048 metros (10 pies) y un diámetro de 5/8". Se utilizará un martillo pesado (almádana) para su instalación operado manualmente. Los golpes relativamente cortos y frecuentes son más efectivos en el proceso.

Se utilizará cable de cobre desnudo como electrodos horizontales dentro de zanjas con una profundidad de 0,80 metros y una distancia de separación entre electrodos verticales de 3,048 metros. De acuerdo con lo indicado en el artículo 250,53, la instalación del electrodo para sistema de puesta a tierra. En donde se indica que los electrodos de puesta a tierra deben espaciarse a no menos de 1,83 metros (6 pies) de separación cuando se especifica más de un electrodo, los anillos de tierra y electrodos de placa deben instalarse a no menos de 750 mm. (30 pulgadas) por debajo de la superficie de tierra.

Nota: La eficiencia del paralelismo de las barras se incrementa separándolas dos veces la longitud de la barra más larga.

Relleno: El material de relleno deberá ser no corrosivo, de un tamaño de partícula relativamente pequeño que ayude a retener la humedad. Se podrá utilizar el material previamente excavado, pero deberá ser cernido para remover piedras antes de rellenar, asegurándose de que quede bien compactado. El suelo deberá tener un índice de pH entre 6,0 (ácido) y 10,00 (alcalino).

Los electrodos de tierra serán conectados por medio de soldadura exotérmica, estas uniones se realizarán mediante un molde de grafito que está diseñado para ajustar el tipo específico de unión y el tamaño de los conductores.

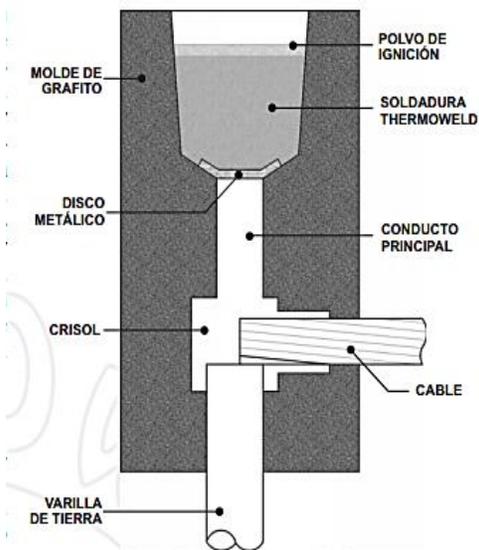
Con una pistola con pedernal se enciende una mezcla de polvo de aluminio y de óxido de cobre y la reacción que se crea forma una unión de cobre virtualmente puro en torno a los conductores. La reacción de alta temperatura se produce en el interior del molde de grafito.

Este tipo de unión tiene los siguientes beneficios:

- Proporciona una unión permanente, de baja resistencia eléctrica y resistente a la corrosión
- La técnica empleada no requiere adiestramiento, relativamente
- Puede operar a alta temperatura, permitiendo eventualmente reducir el calibre del conductor

Figura 131. **Molde para soldadura exotérmica**

# thermOweld



Fuente: [www.promelsa.com.pe/pdf/62302186.pdf](http://www.promelsa.com.pe/pdf/62302186.pdf). Catálogo de conexiones eléctricas

*thermoweld*. p. 6. Consulta: 18 de agosto de 2016.

Las características del suelo en donde se ubicará el sistema de tierra física, tendrán una condición de arcilla y arena, con un valor de 50 ohm-metro. El valor de la impedancia del suelo máxima aceptable será de 1 ohm.

Para calcular del sistema para tierra física por instalar en el centro hospitalario se utilizarán las siguientes fórmulas:

Tabla CXVIII. **Cálculo de resistencia sistema de tierra física**

Fórmula	Descripción
<b>Para una barra</b>	R = resistencia de la barra en (ohm)
$R = (\rho / 2 \cdot \pi \cdot l) [\text{Ln} (8 \cdot l / d) - 1]$ R = 11.20 ohmios	$\rho$ = resistividad del suelo en (ohm-metro), para el cálculo se tiene $\rho = 50$ ohm-metro
<b>Para un conductor corto enterrado horizontalmente</b>	l = longitud de la barra en (m), l = 3,048 m.
$R = (\rho / 2 \cdot \pi \cdot l) [\text{Ln} (4 \cdot l^2 / d \cdot h) - Q]$	d = diámetro de la barra (m), la barra tendrá 5/8" = 0,015875 metros
En DIN VDE 0141 y en CLT TC 112, la fórmula se simplificó a:	R = resistencia del conductor enterrado horizontalmente (ohm)
$R = (\rho / \pi l) [\text{Ln} (2l/d)]$	l = longitud del conductor (m), l = 115,82 m.
$R = [50 / (2 \cdot \pi \cdot 115,82)] / [\text{Ln} (4 \cdot 115,82^2) / (0,0135 \cdot 3,5) - 1,3]$ R = 0,87 ohmios, el valor obtenido es menor al requerido que corresponde a 1 ohm.	d = diámetro del conductor (m), d = 0,0135 para cable desnudo calibre 4/0
	h = profundidad de enterramiento, h = 3,50 m.
	Q = 1,3 para conductores circulares (de sección)
	Q = 1 para conductores tipo cinta

Fuente: Sistemas de puesta a tierra. p. 25. Consulta: 18 de agosto de 2016.

Resistividad del suelo: un factor importante en el sistema de tierra corresponde a la impedancia del medio en el cual será situado el electrodo, es decir el terreno.

La resistividad del terreno se expresa en [ohm-metro]. Esta unidad es la resistencia entre dos caras opuestas de un cubo de 1 metro por lado de tierra homogénea. El valor obtenido así es ohm-metro<sup>2</sup> por metro.

**Tabla CXIX. Valores típicos de resistividad de diferentes suelos**

Tipo	Resistividad ohm-metro	
Agua de mar	0,1 -	1,00
Tierra vegetal/arcilla húmeda	5,0 -	50,00
Arcilla, arena y grava	40,0 -	250,00
Creta (tiza porosa)	30,0 -	100,00
Piedra caliza cristalina	300,0 +	
Roca	1 000,0 -	10 000,00
Roca ígnea	2 000,0 +	
Concreto seco	2 000,0 -	10 000,00
Concreto húmedo	30,0 -	100,00
Hielo	10 000,0 -	100 000,00

Fuente: Sistemas de puesta a tierra. p. 25. Consulta: 18 de agosto de 2016.

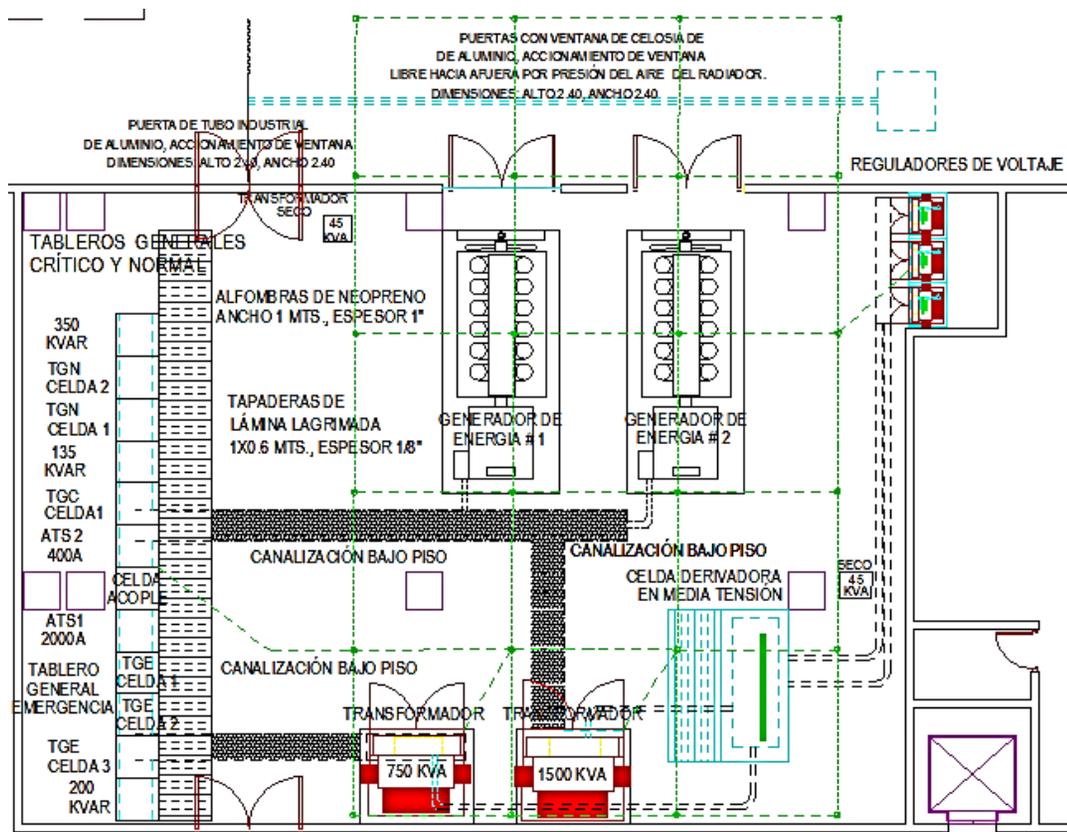
Los dos factores principales que afectan el valor de resistividad de suelo son la porosidad del material y el contenido de agua. Porosidad es un término que describe el tamaño y número de huecos dentro del material, lo cual está relacionado con su tamaño de partícula y diámetro del poro. Varía entre 80/90% en el sedimento de lagos, hasta 30/40% en el caso de arena y arcilla no consolidada y menos en piedra caliza sólida.

La configuración que utilizaremos en el sistema de tierra física, será una malla con electrodos verticales instalados en forma rectangular (ver figura 132).

Con una distancia mínima de 3,048 metros entre cada electrodo, y una profundidad de 3,50 metros para cada pozo destinado al electrodo de pica, de modo que las conexiones cruzadas cumplen dos funciones.

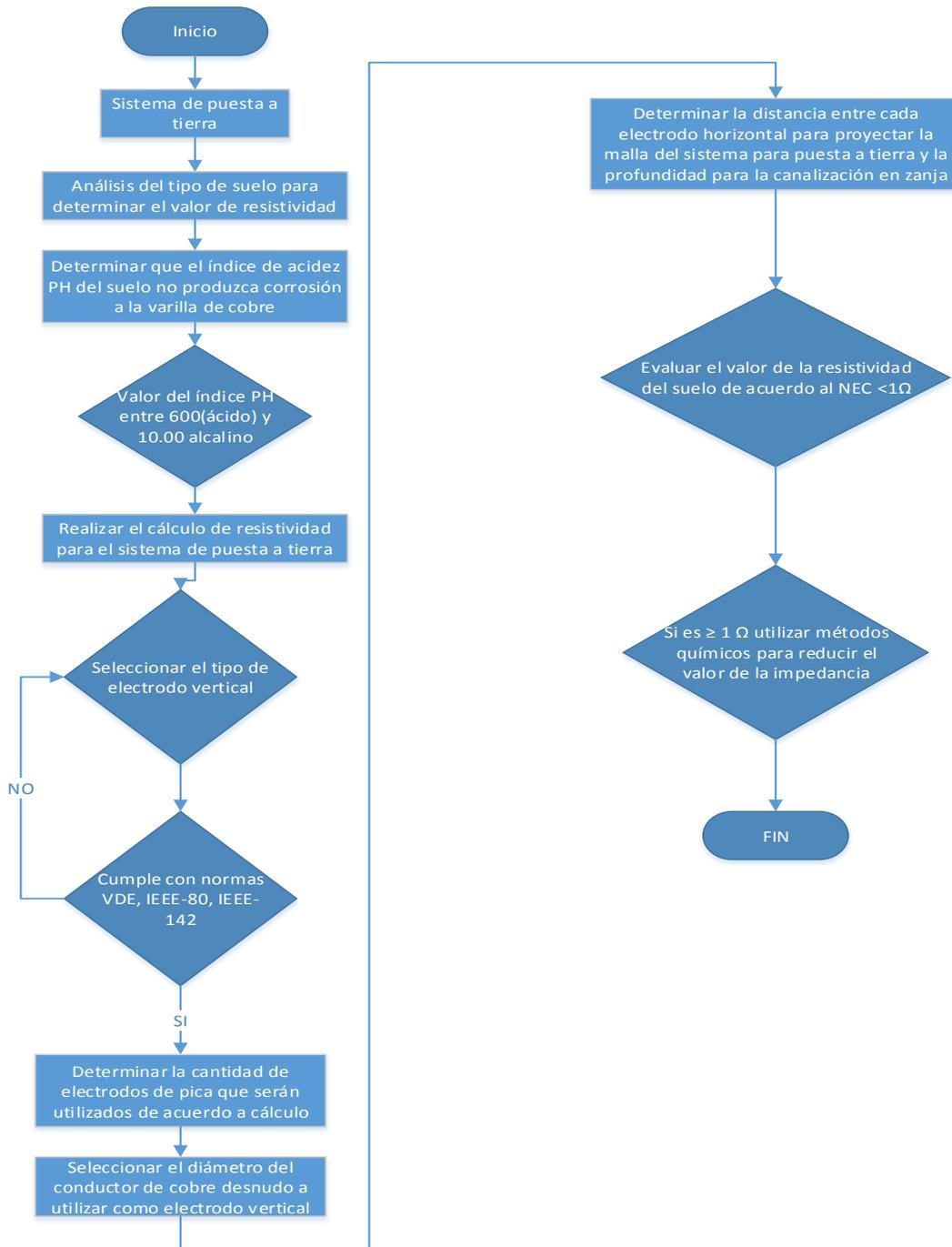
- Permitirá que todos los equipos puedan conectarse entre sí y prevenir diferencia de potencial entre ellos.
- Proporcionar un control de potenciales en la superficie dentro del área, para reducir los voltajes de paso y contacto.

Figura 132. Disposición de la malla para el sistema de puesta a tierra



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 133. Diagrama de flujo para el diseño del sistema de puesta a tierra



Fuente: elaboración propia.

Los conductores transversales se conectan normalmente en cada intersección y en cada extremo del electrodo perimetral. Todos los electrodos estarán interconectados, para confirmar un alto grado de seguridad: una falla mecánica o corrosión de uno o más conductores no afectará seriamente el comportamiento del sistema de tierra.

La selección de la sección del conductor del electrodo de tierra de corriente alterna no debe ser inferior a lo indicado en la tabla CXX del artículo 250,66 del NEC. En la tabla CXX se presentan los calibres para conductores de conexión equipotencial principales eléctricos de cobre o aluminio, de acuerdo con la capacidad de los conductores principales de alimentación para acometida eléctrica.

**Tabla CXX. Conductor del electrodo de tierra de instalaciones c.a.**

Tamaño nominal del mayor conductor de entrada a la acometida o sección equivalente de conductores en paralelo mm <sup>2</sup> (kcmil o AWG)		Tamaño nominal del conductor de conexión equipotencial al electrodo de tierra mm <sup>2</sup> (kcmil o AWG)	
Cobre	Aluminio	Cobre	Aluminio
33,62 (2) o menor	53,48 (1/0) o menor	8,367 (8)	13,300 (6)
42,41 o 53,38 (1) o (1/0)	67,43 o 85,01 (2/0 o 3/0)	13,300 (6)	21,150 (4)
67,43 o 85,01 (2/0 o 3/0)	4/0 o 250 kcmil	21,150 (4)	33,620 (2)
Más de 85,01 a 177,30 (3/0 a 350)	Más de 126,70 a 253,40 (250 a 500)	33,620 (2)	53,480 (1/0)
Más de 177,30 a 304,00 (350 a 600)	Más de 253,40 a 456,04 (500 a 900)	53,48 (1/0)	85,01 (3/0)
Más de 304,00 a 557,38 (600 a 1 100)	Más de 456,03 a 886,74 (900 a 1 750)	67,43 (2/0)	107,20 (4/0)
Más de 557,38 (1 100)	Más de 886,74 (1 750)	85,01 (3/0)	126,7 (250)

Fuente: NEC 2011. Artículo 250,66. p. 246. Consulta: 17 de agosto de 2016.

El conductor de cobre desnudo por utilizar será de calibre 4/0 de acuerdo con la tabla CXVI. Se empleará un sistema de malla con 24 electrodos verticales. El recorrido longitudinal de la malla proporciona un valor de 115,82 metros como electrodos horizontales; el espaciamiento será a cada 10 pies, las varillas de cobre serán de  $\varnothing$  5/8" por 10 pies de longitud certificadas "UL".

Figura 134. **Pozo para tierra física**



Fuente: elaboración propia.

Para asegurar que el valor de la impedancia de la tierra en el sistema sea menor a 1 ohmio, se realizará la aplicación de un método químico, a través de sales minerales como el enriquecedor de tierra GEM o el GEL. Este es un concentrado de sales minerales combinado con elementos que favorecen la absorción y retención de agua, aumentando así la continuidad eléctrica del terreno.

Por la capacidad conductiva de sus componentes, su uso está indicado en todo tipo de terrenos: arena arcillosa, arena silíceas, suelo pedregoso, todo tipo de calizas, pizarras, etc.

El aumento de conductividad es particularmente notable en terrenos de mayor resistividad, como los formados por masas de gran porosidad y pobreza de sales, incluso los terrenos formados por rocas compactadas e impermeables pueden ser mejorados.

Figura 135. **Aplicación de sales minerales GEM o GEL**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 135, se presenta el proceso para tratamiento de un pozo de tierra física, excavación, instalación de la varilla de cobre, aplicación del reactivo químico y por último se realiza relleno y compactación del pozo.

#### 4.1.1. Polarización de motores

La polarización de los motores de los sistemas mecánicos e hidráulicos será realizada individualmente desde el correspondiente tablero de distribución del cual es alimentado. El calibre del conductor cumplirá con lo indicado en la tabla CXX.

Tabla CXXI. **Artículos del NEC que deberán de cumplir la polarización de motores eléctricos**

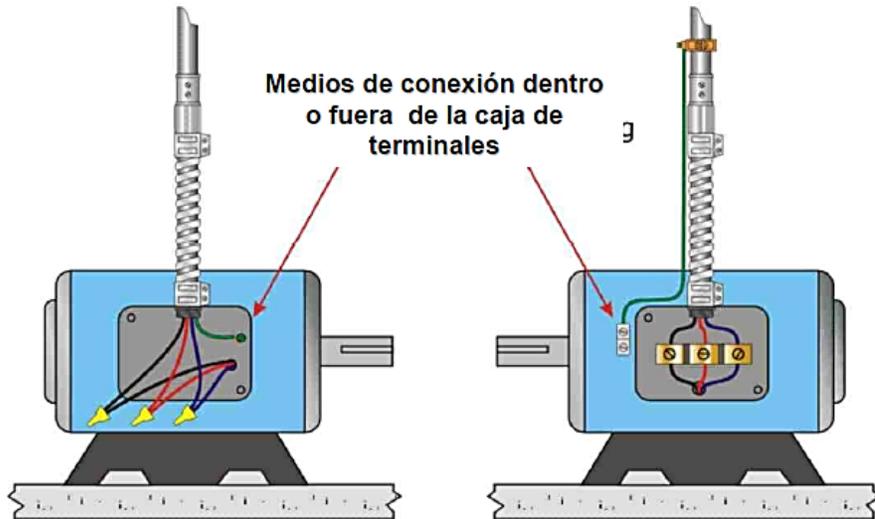
Artículo	Descripción
430-96	Los centros de control de motores que consten de varias partes deben estar conectados equipotencialmente con el conductor de tierra de los equipos u otro conductor de tierra similar. Los conductores de tierra de los equipos deben terminar en el conector de tierra o en un terminal de tierra instalado en los centros de control de motores que sólo consten de una parte.
430-97	Barras colectoras y conductores. Instalación y apoyos, disposición de las fases, espacio mínimo para bucles de cables, separación, barreras.
430-98	Marcas. Centros de control de motores, controladores de motores.
430-133	Protección de las personas. Cuando las partes en tensión de motores o controladores que funcionen a más de 150 voltios a tierra.
430-145	Método de puesta a tierra. Cuando sea necesaria, la puesta a tierra se debe hacer según se especifica en el artículo 250.
430-145 (a)	Puesta a tierra a través de la envolvente de los terminales.
430-145 (b)	Separación entre el motor y la caja de derivación.
430-145 (c)	Puesta a tierra de los aparatos montados en los centros de control de motores.

Fuente: Código eléctrico nacional de los Estados Unidos 2011 (NEC).

Consulta: 19 de agosto de 2016.

Figura 136. **Método de puesta a tierra**

**La conexión al conductor de puesta a tierra de equipos se debe hacer según se especifica en la parte VI del Artículo 250**

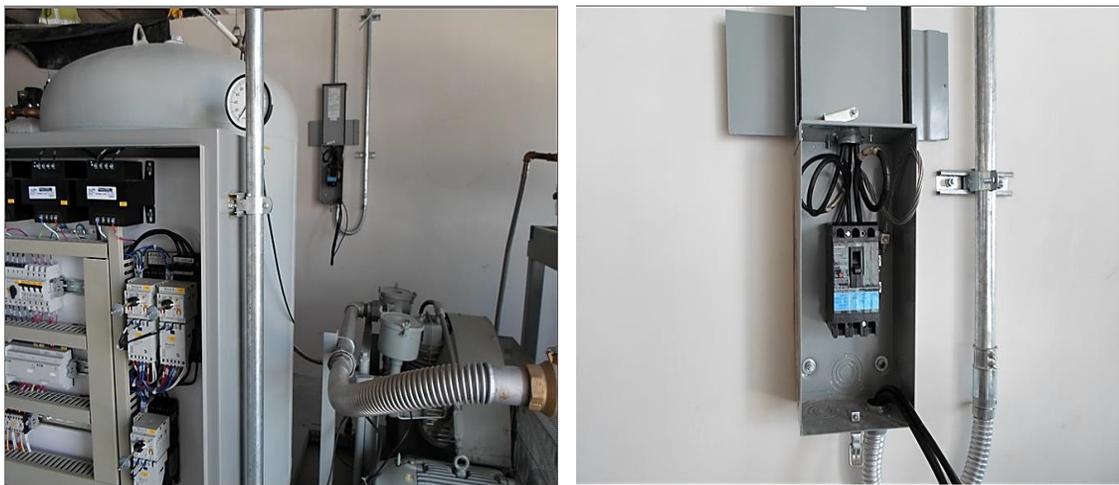


Para los medios de conexión de la puesta a tierra del equipo exigidos en las cajas de terminales de los motores se permite que esté por dentro como por fuera [430.12(E)]

Fuente: NEC 2008 en español lo más sobresaliente. Parte V. Artículo 430.245. p. 56.

Consulta: 19 de agosto de 2016.

Figura 137. **Polarización de motores en caja tipo NEMA 1**

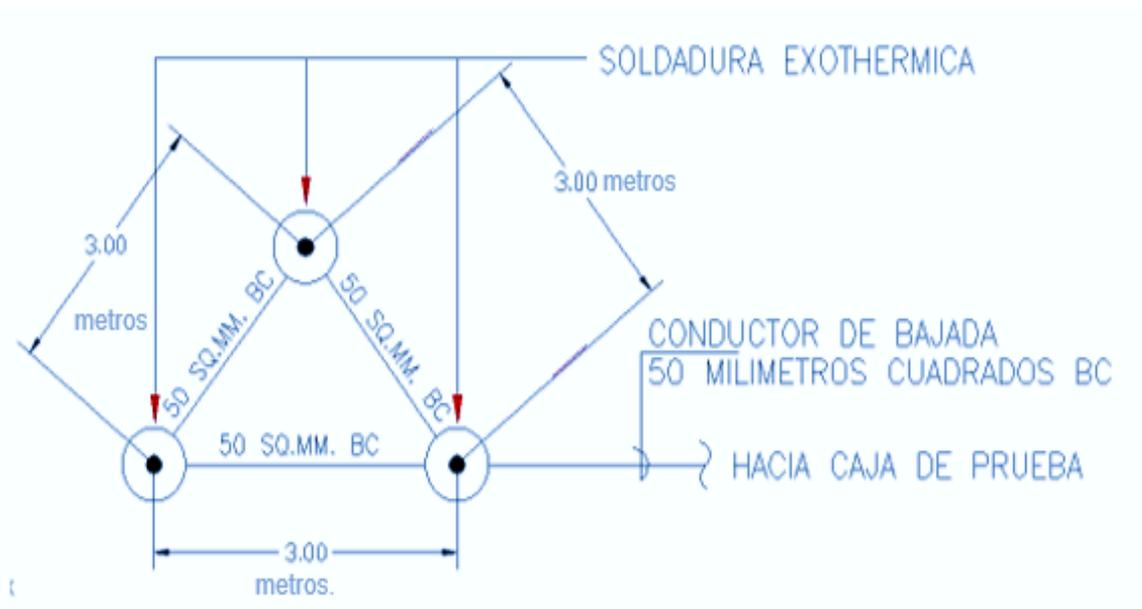


Fuente: elaboración propia.

#### 4.1.2. Sistema de puesta a tierra de pararrayos para la protección del hospital

Consistirá en una disposición en delta de electrodos verticales utilizando varillas de acero recubiertas de cobre con un diámetro de 5/8" por 10 pies de longitud o 3 metros de acuerdo con la figura 138, conductor de cobre desnudo calibre 1/0, de acuerdo con la norma UNE 21-186, en donde se indica que la sección mínima del conductor de bajada será de 50 mm<sup>2</sup>.

Figura 138. Puesta a tierra para sistema de pararrayo



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Se requiere que la impedancia del terminal de tierra (después de una conexión de bajada) sea máximo de 1 ohm, cada conductor de bajada deberá tener su propio electrodo de tierra, en este caso será la configuración en delta.

Esta será interconectada al sistema de tierra física; de esta manera se logra una ecualización de potencial en la superficie del suelo, además de controlar el potencial. Así se ayuda a reducir el voltaje de contacto que puede experimentar una persona en contacto con el conductor de bajada durante una descarga atmosférica.

#### **4.2. Sistema de pararrayos para protección del hospital**

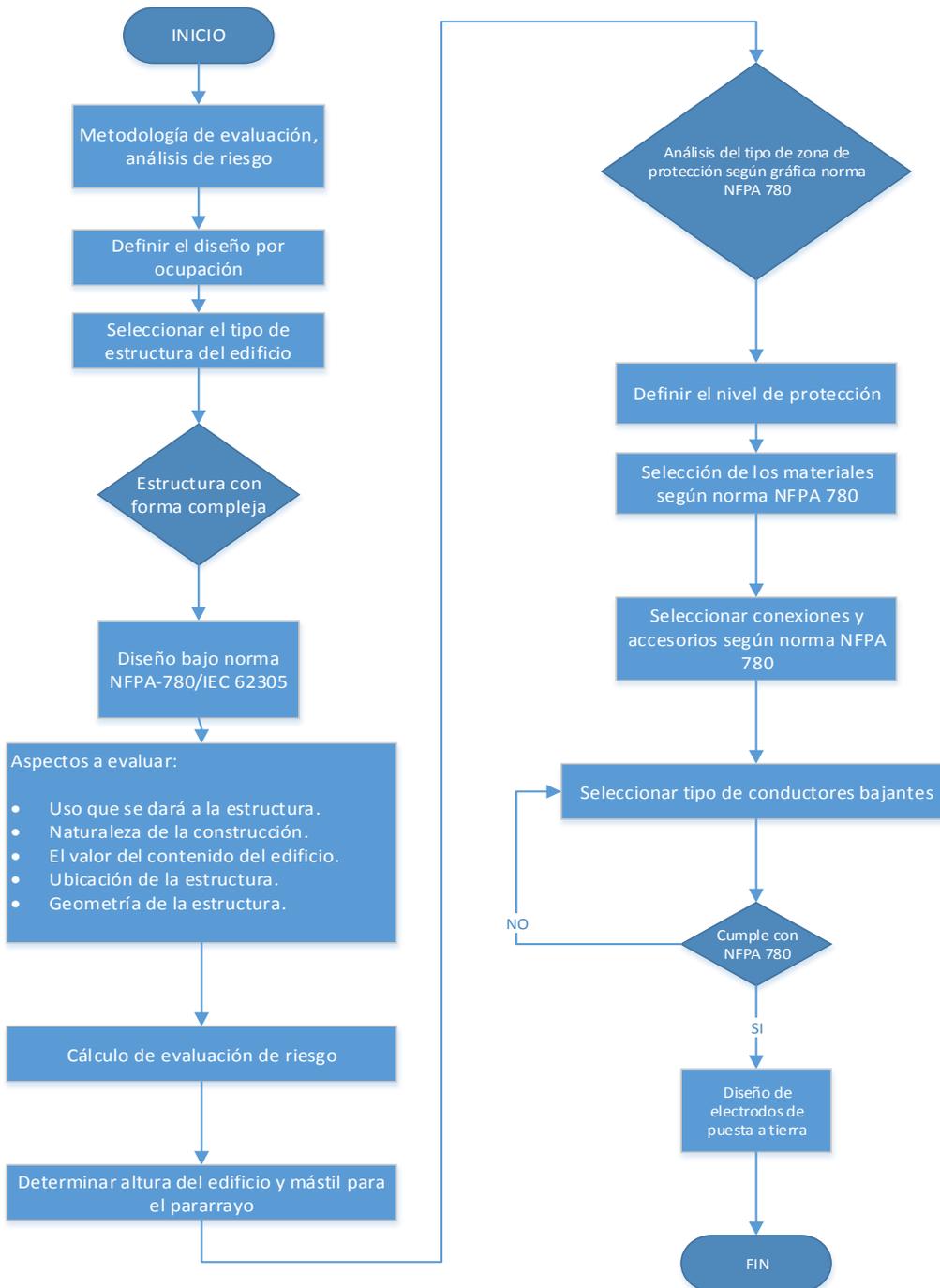
Estará basado en el concepto de esfera rodante, que se aplicará a la estructura para asegurar que todas las áreas expuestas dentro de un radio "R" sean protegidas por el esquema. Los materiales utilizados son generalmente cobre de alta pureza (99% + pureza) de un grado similar al utilizado para conductores eléctricos.

Existen dos grandes tipos de accidentes causados por el rayo:

Aquellos causados por un golpe directo: cuando el rayo impacta al edificio o una zona determinada. Puede entonces provocar numerosos daños, entre los cuales el incendio es el más frecuente. Contra este peligro, el medio de protección corresponde al sistema de pararrayos.

Aquellos causados indirectamente, por ejemplo, cuando el rayo golpea o induce sobretensiones en los cables de energía o las conexiones de transmisión. Se debe proteger los aparatos con riesgo de ser alcanzados contra las sobretensiones y las corrientes indirectas así creadas.

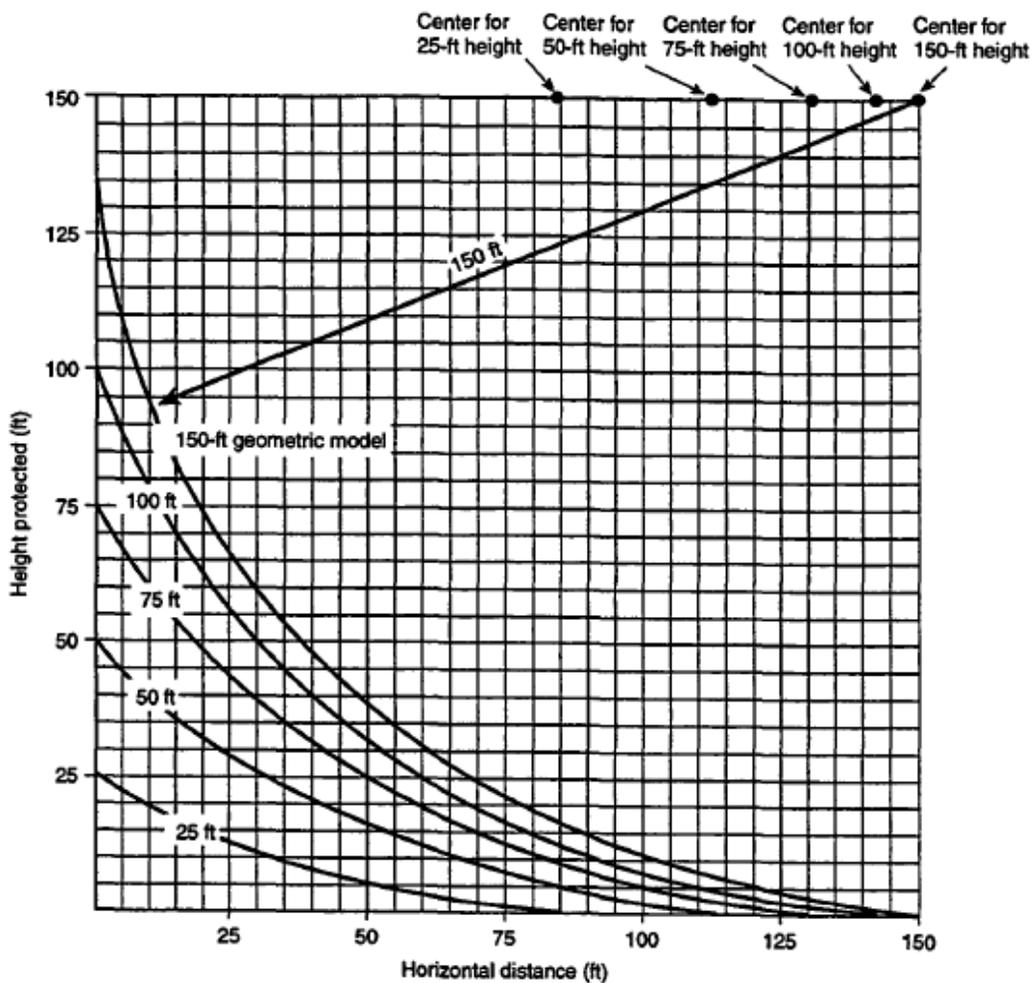
Figura 139. Diagrama de flujo para el diseño del sistema de puesta a tierra del pararrayos para la protección del hospital



Fuente: elaboración propia.

Para realizar el análisis de riesgo, se debe evaluar el tipo de instalaciones que albergará el edificio, el área en metros cuadrados que será cubierta, la altura máxima que tendrá para definir el radio de protección. Este análisis se desarrolla por medio de la gráfica siguiente:

Figura 140. **Zona de protección para el pararrayos**



Fuente: Norma NFPA 780 Capítulo 7,3,3,2 página 3 de 3 2006

El eje vertical define la altura del pararrayos o protección en pies; el eje horizontal determina el radio o distancia en pies de la zona de protección.

Dentro de los aspectos a evaluar, el uso o tipo de ocupación corresponde a un edificio que prestará un servicio continuo de atención a pacientes, del tipo hospitalario.

Por las características del servicio por prestar y la naturaleza de construcción de la estructura determinada se clasifica como no metálico, ya que será de concreto reforzado. Estos parámetros definen el diseño por ocupación.

Debido a que es un centro hospitalario, el valor del contenido del mismo corresponde a vidas humanas, lo que lo clasifica como un grado de protección de alto riesgo.

La ubicación de la estructura se localiza geográficamente debido a los alcances que tendrá para solucionar problemas de salud de los pacientes en forma regional, y cubre el área de sur-occidente de Guatemala.

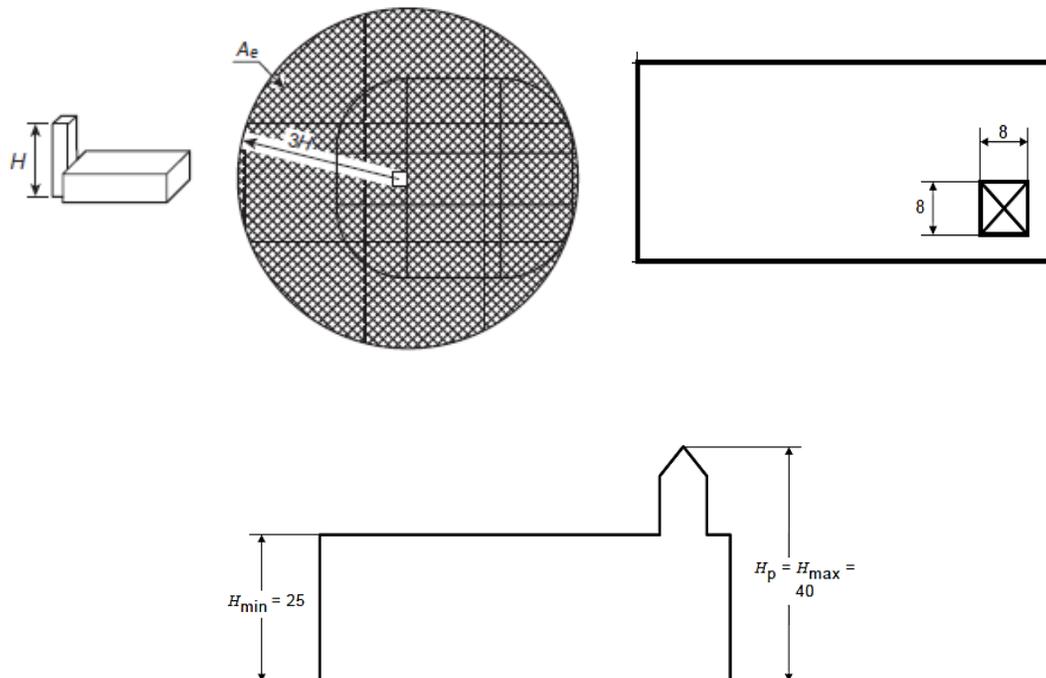
El tipo de estructura que tendrá el centro hospitalario para el análisis de la superficie de captura corresponde a una forma compleja debido a su diseño estructural. El método que será utilizado se indica en la figura 141. En el edificio la parte más alta tendrá una altura de 24,00 metros, más 5,50 metros del mástil y 2,00 metros del pararrayos seleccionado, la altura de montaje total corresponde a 31,50 metros, o su equivalente a 103 pies.

Debido a que es una estructura compleja, la fórmula utilizada para determinar el valor de la superficie de captura equivalente de la estructura única, corresponde a la siguiente, de acuerdo con la norma NFPA-780.

$$A_e = 9 \cdot \pi \cdot (H_p)^2$$

Donde  $A_e$  corresponde a la superficie o área de captura equivalente de la estructura única en ( $m^2$ ).  $H_p$  corresponde a la altura del edificio que son 24 metros o su equivalente a 78,75 pies. Al analizar la gráfica se determina que el radio de protección para este tipo de estructura está dentro del rango de 150 pies, o su equivalente en metros 45,72.

Figura 141. **Estructura con forma compleja y radio de cobertura**



Fuente: Norma NFPA 780. Anexo L. p. 55. 2011. Consulta: 30 de agosto de 2016.

Tabla CXXII. **Normas aplicables al sistema de pararrayos**

<b>Norma</b>	<b>Descripción</b>
NF C 17-100	Norma Francesa, para la protección de las estructuras contra el rayo. Pararrayos de varilla simple, jaulas malladas, hilos tendidos
NC F C 17-102	Norma Francesa, pararrayos con dispositivo de cebado PDC de las estructuras y zonas abiertas
UNE 21186	Norma de protección contra el rayo mediante pararrayos con dispositivo de cebado para estructuras de altura inferior a 60,0 metros
IEEE 80	Guía de IEEE para la seguridad en CA Subestación de puesta a tierra
UNE EN IEC 62305-1	Del ámbito nacional, europeo e internacional, Normas para selección, instalación y control del sistema de protección contra rayos (SPCR): Principios generales
UNE EN IEC 62305-2	Normas para selección, instalación y control del sistema de protección contra rayos (SPCR): Evaluación del riesgo
UNE EN IEC 62305-3	Normas para selección, instalación y control del sistema de protección contra rayos (SPCR): Daño físico a estructuras y riesgo humano
UNE EN IEC 62305-4	Normas para selección, instalación y control del sistema de protección contra rayos (SPCR): Sistemas eléctricos y electrónicos en estructuras
NFPA 780	Norma EE.UU. para la instalación de sistemas de protección contra el rayo
UL 96A	<i>Marking and Application Guide LIGHTNING PROTECTION</i>

Fuente: elaboración propia.

Tabla CXXIII. **Artículos utilizados de la norma NFPA 780 para el diseño del sistema de puesta a tierra de pararrayos equivalentes a norma IEC 62305**

<b>Artículo NFPA 780/ IEC 62305</b>	<b>Descripción</b>
NFPA 780-14 Anexo L / IEC 62305-2	Análisis de Riesgo
NFPA 780-14, Capítulo 4,2 / IEC 62305-3, Capítulo 5,6	Selección de Materiales
NFPA 780-14, Capítulo 4.3.3	Conexiones y accesorios
NFPA 780-14, 4.3	Protección contra corrosión
NFPA 780-14 Capítulo 4,6 / IEC 62305-3 Capítulo 5,2	Terminales Aéreas
NFPA 780-14 Capítulo 4,7 / IEC 62305-1 Capítulo 8,2	Zonas de Protección
NFPA 780-14 Capítulo 4.8 / IEC 62305-3 Capítulo 5,2,2	Ubicación de terminales aéreas
NFPA 780-14 Capítulo 4,9,9 / IEC 62305-3, Capítulo 5,3	Conductores Bajantes
NFPA 780-14 Capítulo 4,13 / IEC 62305-3 Capítulo 5,4,2,2	Electrodos de Puesta a Tierra

Fuente: Norma NFPA 780 / Norma IEC 62305

Para realizar el cálculo de evaluación de riesgo que comprende el análisis del centro médico, se debe tener la información correspondiente en relación al nivel cerámico que se tiene definido en la región de ubicación para el proyecto en desarrollo, de acuerdo con la información siguiente:

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología, e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH), por medio de la aplicación de técnicas estadísticas, obtiene los resultados que permiten asignarle a cada región del país, un valor real de número de días de tormentas eléctricas por año (o nivel ceráunico), respecto de cada estación de acuerdo con la tabla CXXIV.

**Tabla CXXIV. Valor del nivel ceráunico de la red de estaciones sinópticas meteorológicas**

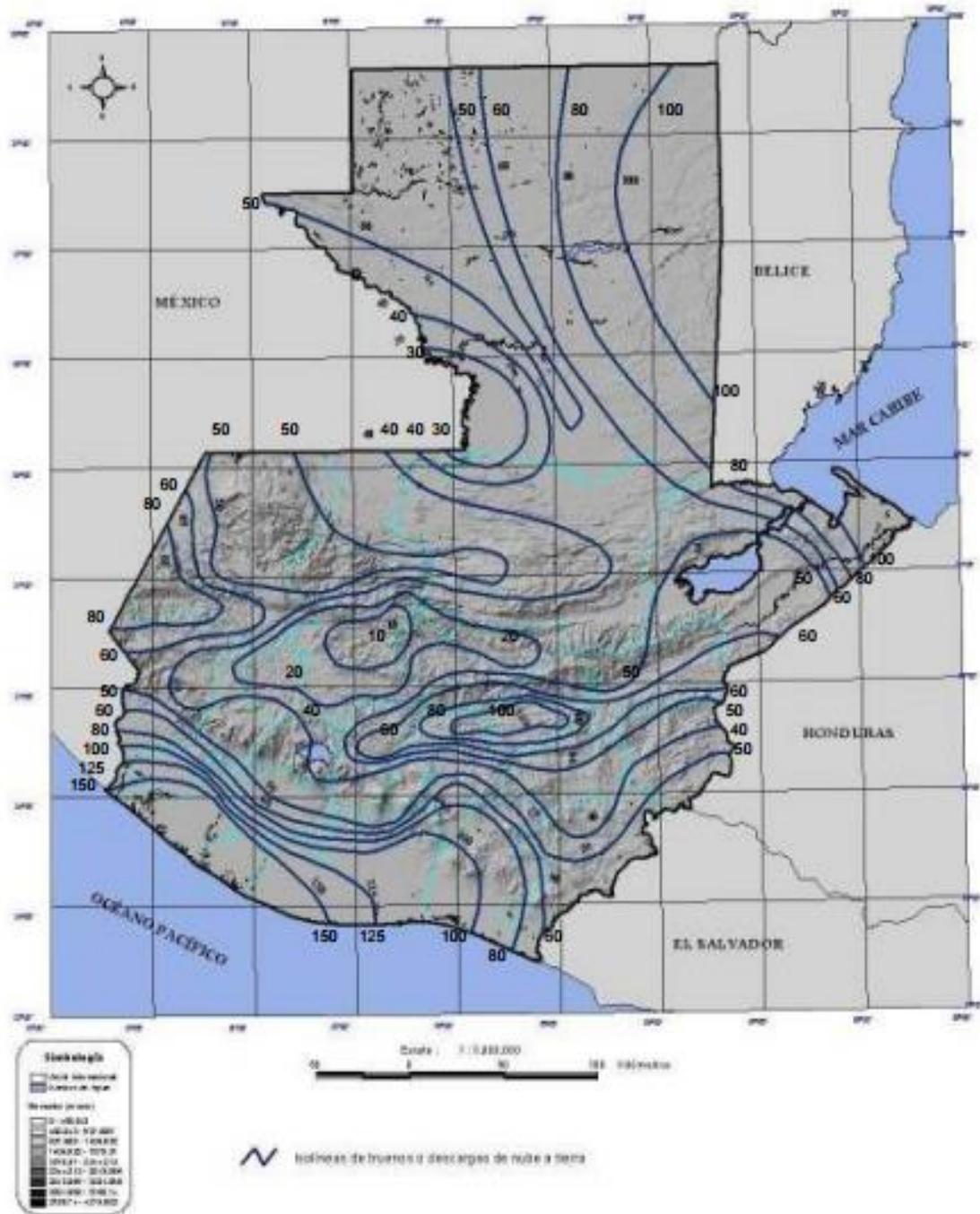
No.	Departamento	Nombre de la estación	Valor ceráunico
1	Alta Verapaz	Cobán	53
2	Chiquimula	Esquipulas	68
3	Escuintla	Puerto de San José	119
4	Guatemala	Aeropuerto	69
5	Huehuetenango	Huehuetenango	64
6	Izabal	Puerto Barrios	117
7	Jutiapa	Montúfar	60
8	Petén	Flores	107
9	Quetzaltenango	Labor Ovalle	66
10	Retalhuleu	Retalhuleu	158
11	Zacapa	La Fragua	64

Fuente: Biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\_0518\_EA.pdf. Actualización del mapa isoceráunico de Guatemala y su influencia en el diseño de líneas de transmisión. p. 40.

Consulta: 23 de septiembre de 2016.

El mapa isoceráunico de la república de Guatemala es la representación gráfica de la frecuencia de caída de rayos, en zonas específicas de observaciones meteorológicas que se muestra en la tabla CXXIV.

Figura 142. Mapa de niveles isoceráunicos en la República de Guatemala



Fuente: Biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\_0518\_EA.pdf. Actualización del mapa isoceráunico de Guatemala y su influencia en el diseño de líneas de transmisión. p. 43.

Consulta: 23 de septiembre de 2016.

Figura 143. Mapa de niveles isoceráunicos región para analizar



Fuente:

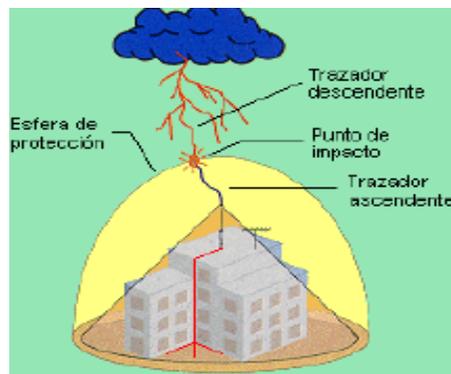
[www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS\\_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas\\_Climatologico/des\\_electr.jpg](http://www.insivumeh.gob.gt/hidrologia/ATLAS_HIDROMETEOROLOGICO/Atlas_Climatologico/des_electr.jpg). Consulta: 14 de octubre de 2016.

Esfera rodante: con base en el concepto de distancia de cebado se aplica el método de la esfera rodante. Haciendo rodar una esfera, de radio el correspondiente a la distancia de cebado, las descargas incidirán en aquellos puntos en que la esfera toca la estructura o quedan exteriores y a más altura de volumen de la esfera de radio  $d$ .

Ya que la distancia de cebado depende de la intensidad de la descarga, hay que considerar los casos en que la altura  $h$  de la estructura es superior o inferior a esta distancia  $d$ .

- $h > d$ , quedan zonas de la estructura sin proteger, ángulo a igual a cero.
- $h < d$ , la esfera toca a la superficie formando un ángulo  $\alpha$  de protección variable, por lo que es importante conocer, no solo si hay muchos o pocos rayos en la zona, sino el valor de la corriente para la que se adopta la protección, se utilizará el valor del nivel cerámico de la región a instalar el sistema, para Quetzaltenango corresponde a 66 de acuerdo con la tabla CXXIV. El ángulo de protección ( $\alpha$ ) se puede determinar de acuerdo con la expresión: según norma IEC 62305.  $\text{sen } \alpha = (d - h)/d = 1 - (h/d)$

Figura 144. **Impacto del rayo contra la esfera de protección**



Fuente: elaboración propia.

Cálculo para evaluación de riesgo del sistema de pararrayos para protección del hospital: con la información obtenida anteriormente se realizará el cálculo para la evaluación del riesgo de daños, y se determinará el valor de la frecuencia estimada  $N_d$  de impactos directos del rayo sobre una estructura:

Tabla CXXV. **Frecuencia anual media Nd de impactos directos**

Fórmula	Descripción
$Nd = (Ng \cdot Ae \cdot C1) / 1\,000\,000$	Ng = Densidad anual de medios de impactos de rayo en la región donde se sitúa la estructura (Número de impactos/año/Km <sup>2</sup> ). Ng = 66 para Quetzaltenango
$Nd = (66 \cdot 16\,286 \cdot 0,50) / 1\,000\,000$ Nd = 0,537	Ae = Superficie de captura equivalente de la estructura única (m <sup>2</sup> )
$Ae = 9 \cdot \pi \cdot (Hp)^2$	C1 = Coeficiente relacionado con el entorno. C1 = 0,50
$Ae = 9 \cdot \pi \cdot (24m)^2 = 16\,286\ m^2$	Hp = altura del edificio. Hp = 24 metros

Fuente: Norma NFPA 780, 2011 p. 57. Consulta: 30 de agosto de 2016.

El tipo de estructura que tendrá el centro hospitalario para el análisis de la superficie de captura corresponde a una forma compleja, el método que será utilizado se indica en la figura 141. En el edificio la parte más alta tendrá una altura de 24,00 metros, más 5,50 metros del mástil y 2,00 metros del pararrayos tipo cebado; la altura de montaje total corresponde a 31,50 metros.

Tabla CXXVI. **Coeficiente relacionado con el entorno C<sub>1</sub>**

Situación del edificio	C <sub>1</sub>
Estructura ubicada dentro de un espacio que contiene estructura o árboles de la misma altura o más alto dentro de una distancia 3H	0,25
Estructura rodeada de estructuras más pequeñas dentro de una distancia 3H	0,50
Estructura aislada: Ninguna otra estructura situada a una distancia de 3H	1,00
Estructura aislada en una colina o un montículo	2,00

Fuente: Norma NFPA-780. Anexo L. p. 96. Consulta: 30 de agosto de 2016.

El valor de C<sub>1</sub> que utilizaremos en el centro hospitalario corresponde a 0,50.

Frecuencia tolerable del rayo (Nc): es una medida del riesgo de daños a la estructura que incluye los factores que afectan el riesgo a la estructura, el medio ambiente y la pérdida monetaria.

La frecuencia del rayo tolerable se expresa por la siguiente fórmula:

Tabla CXXVII. **Cálculo de la frecuencia tolerable del rayo Nc**

<b>Fórmula</b>	<b>Descripción</b>
$Nc = (1.5 \times 10^{-3}) / C$	Nc = Frecuencia tolerable del rayo
$C = (C2)(C3)(C4)(C5)$	C2 = Coeficiente estructural
$C = (1)(4)(3)(10) = 120$	C3 = Coeficiente contenido de estructura
$Nc = 0,0015/120$	C4 = Coeficiente ocupación de la estructura
$Nc = 0,0000125$	C5 = Coeficiente consecuencia del relámpago

Fuente: <https://es.scribd.com/document/257394002/NFPA-780>. p. 96.

Consulta: 30 de agosto de 2016.

Tabla CXXVIII. **Coeficiente en función del tipo de construcción C<sub>2</sub>**

<b>Estructura</b>	<b>Techo de metal</b>	<b>Techo no metálico</b>	<b>Techo inflamable</b>
Metálica	0,50	1,00	2,00
No metálico, hormigón	1,00	1,00	2,50
Inflamable, madera	2,00	2,50	3,00

Fuente: <https://es.scribd.com/document/257394002/NFPA-780>. p. 96.

Consulta: 30 de agosto de 2016.

La estructura y techo del centro hospitalario corresponde a hormigón, por lo que el valor que se utilizará para el cálculo de C2 será 1,00.

**Tabla CXXIX. Coeficiente en función del contenido del edificio C<sub>3</sub>**

Contenido de Estructura	C3
Bajo valor y no inflamable	0,50
Valor normal y no inflamable	1,00
Alto valor inflamabilidad moderada	2,00
Un valor excepcional, inflamable, de informática o electrónica	3,00
Un valor excepcional, artículos culturales irremplazables	4,00

Fuente: <https://es.scribd.com/document/257394002/NFPA-780>. p. 96.

Consulta: 30 de agosto de 2016.

Debido a que es un centro hospitalario, el valor para el coeficiente en función del contenido C3 será de 4,00.

**Tabla CXXX. Coeficiente de ocupación de la estructura C<sub>4</sub>**

Estructura de ocupación	C4
Edificios no ocupados normalmente. Desocupado	0,50
Normalmente ocupado	1,00
Difícil de evacuar o riesgo de pánico, usos: concurrencia pública, sanitario, comercial, docente	3,00

Fuente: <https://es.scribd.com/document/257394002/NFPA-780>. p. 97.

Consulta: 30 de agosto de 2016.

El valor para C4 será de 3,00 por las características del edificio.

Tabla CXXXI. **Coefficiente de consecuencia del relámpago C5**

Consecuencia del rayo	C5
Continuidad de los servicios de las instalaciones no es necesario, sin impacto ambiental	1,00
Continuidad de los servicios de las instalaciones se requiere, sin impacto ambiental	5,00
Consecuencias para el medio ambiente	10,00

Fuente: <https://es.scribd.com/document/257394002/NFPA-780>. p. 97.

Consulta: 30 de agosto de 2016.

El valor para C5, corresponde a 10,00, debido a que por los equipos instalados habrá consecuencias para el medio ambiente en caso de daño por impacto de relámpago hacia el edificio.

Selección del nivel de protección: la frecuencia del rayo tolerable ( $N_c$ ) se compara con la frecuencia del rayo exceptuado ( $N_d$ ). El resultado de esta comparación se utilizará para decidir si se necesita un sistema de protección contra rayos. Si  $N_d \leq N_c$ , un sistema de protección contra rayos puede ser opcional. Si  $N_d \geq N_c$ , se requiere la implementación de un sistema de protección contra el rayo de eficacia  $E \geq 1 - (N_c/N_d)$  debe ser instalado, el valor de E será:  
 $1 - (0,0000125/0,537) = 0,99$

De acuerdo con la información anterior, se tienen los siguientes valores:  $N_d = 0,537$  y  $N_c = 0,0000125$ . Entonces  $0,537 \geq 0,0000125$ , razón por la cual se utilizará sistemas de protección contra el rayo. El nivel de protección por utilizar será 1 de acuerdo con la tabla CXXXIII.

El nivel de protección determina el radio de protección de los pararrayos, la distancia de seguridad (interconexión de las masas) y la periodicidad de las verificaciones. Para determinar el nivel se utilizará la siguiente tabla:

Tabla CXXXII. **Selección del nivel de protección del pararrayos**

<b>Eficacia calculada</b>	<b>Nivel de protección</b>	<b>Descripción</b>
$E > 0,98$	Nivel 1 + medidas complementarias	Nivel 1 + medidas complementarias
$0,95 < E < 0,98$	Nivel 1	Estructuras de muy alto riesgo
$0,90 < E < 0,95$	Nivel 2	Estructuras de alto riesgo
$0,80 < E < 0,90$	Nivel 3	Estructuras de mediano riesgo
$0,00 < E < 0,80$	Nivel 4	Estructuras de bajo riesgo

Fuente: Norma IEC 62305-3. Consulta: 30 de agosto de 2016.

Esta información se utiliza para determinar la ubicación y espaciado adecuados de los terminales aéreos. El procedimiento para la selección del pararrayos toma como base la altura del edificio y el grado de protección, razón por la cual se utilizará el nivel de protección tipo 1 de acuerdo con la tabla anterior, para construcciones de alto riesgo que alojan contenidos de alto valor o que requieren protección especial por aglomeración de personas.

La norma NFPA 780 establece los requisitos de instalación del sistema de protección contra rayos para proteger a las personas y los bienes de peligro de incendio y riesgos relacionados asociados con la exposición del rayo.

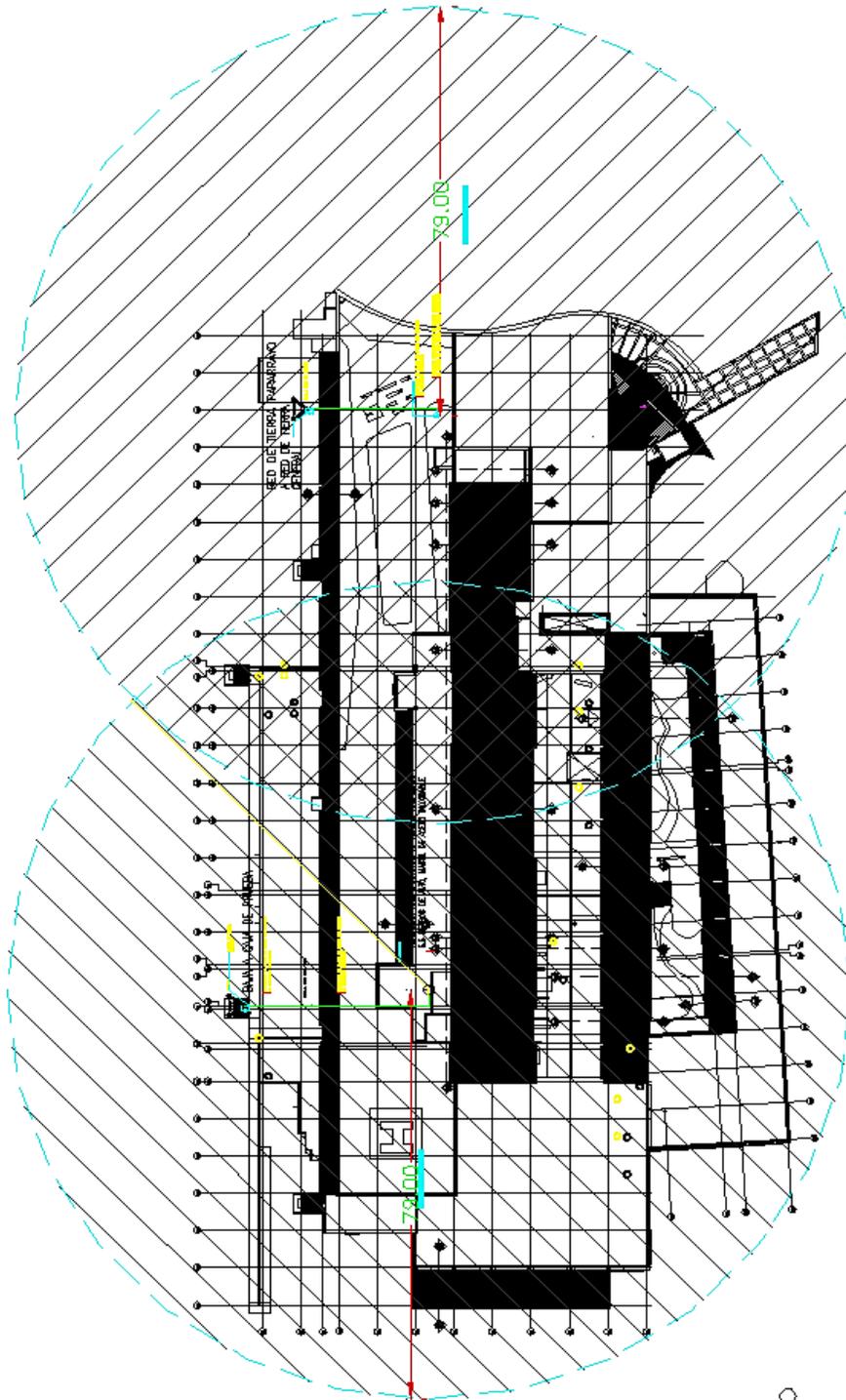
Esta norma cubre los requisitos tradicionales de instalación del sistema de protección contra rayos para las estructuras ordinarias; estructuras de diversas ocupaciones y especiales, pilas de gran potencia, motos acuáticas, turbinas de viento, materiales explosivos, estructuras de vivienda y estructuras que contienen vapores inflamables, gases inflamables o líquidos que desprenden vapores inflamables.

De acuerdo al área de construcción que se deberá proteger en el centro hospitalario el radio para la zona de protección será de 79 metros (260 pies) (ver figura 159), razón por la cual en la selección del tipo de terminal aérea para la protección se utilizó la norma IEC 62305-3, donde el pararrayos del tipo cebado cumple con el radio de protección seleccionado, ya que la zona de cobertura es mucho mayor que con cualquier otro dispositivo de protección.

Se utilizará dos sistemas de pararrayos, los cuales serán del tipo con dispositivo de cebado, constituido por una punta pulsar que se instalará en la parte más alta del edificio a una altura  $h = 31,50$  metros sobre el nivel de piso, para la zona de protección con un radio de 79,00 metros como distancia de cebado y nivel de protección tipo I.

Se ha seleccionado el pararrayos de la marca HELITA modelo "PULSAR", el cual dispone de una electrónica que le permite emitir una señal de alta tensión con frecuencia y de amplitud determinadas y controladas que permite la formación anticipada del trazador ascendente (líder ascendente) en su punta y su propagación de manera continua hacia el trazador descendente (líder descendente).

Figura 145. Cobertura del sistema de pararrayos



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

En el momento de que el rayo se acerca al suelo, se crea una descarga sobre toda la estructura conductora. El dispositivo de cebado pulsar le permite reducir el tiempo necesario para la formación y prolongación continua de la descarga ascendente y le asegura así una mayor eficiencia en la captura del rayo. Los pararrayos pulsar son totalmente autónomos desde el punto de vista energético; toman la energía eléctrica necesaria para la generación de los impulsos de alta tensión del campo ambiente, que existe en el momento de la tormenta.

El dispositivo de cebado funciona en cuanto el campo ambiental supera un valor correspondiente al riesgo mínimo de rayo. Para la selección de este sistema se utilizará la tabla CXXXIII. Es un requisito del fabricante que la punta deba de quedar a una distancia  $\geq 2$  metros encima de la superficie por proteger.

El concepto de cebado implementado en el pararrayos pulsar proporciona una ganancia única en la eficiencia: anticipando la formación natural de un rayo ascendente, el pulsar genera una descarga que se propaga rápidamente para capturar el rayo y conducirlo hacia el suelo. Éxito demostrado en condiciones de laboratorio, este tiempo de activación, en comparación con simples pararrayos de la barra, ofrece una protección adicional crítica.

En el caso de los conductores bajantes se deberá cumplir con lo establecido en la norma NFPA 780-14 capítulo 4,9,9. El cable deberá ser perfectamente estirado para evitar secciones flojas y las puntas se apretarán firmemente para eliminar bolsas en V o en U.

Las bajadas deberán ser perpendiculares y se harán con cable plano de cobre estañado debido a sus propiedades físicas, mecánicas y eléctricas. De 30 mm de ancho por 2 mm de espesor fijado en tres puntos por cada metro.

Llega hasta las barras de cobre separadas de la base del edificio a una distancia mínima de 6 pies y enterradas de tal forma que el extremo superior quede a una distancia máxima de 2 pies del nivel de piso terminado.

Los materiales por utilizar, por ser una estructura mayor de 23 metros, deberán ser clase II para los pararrayos, los terminales aéreos, electrodos de puesta a tierra y accesorios asociados.

**Tabla CXXXIII. Radios de protección del pararrayos PULSAR de HELITA, según norma francesa NF C 17-102**

Radios de protección de pararrayos Pulsar, según norma NF C 17-102									
	NIVEL I. D = 20 metros			NIVEL II. D = 45 metros			NIVEL III. D = 60 metros		
Pulsar	30	45	60	30	45	60	30	45	60
h(m)	Radio de protección RP (m)								
2	19	25	32	25	32	40	28	36	44
3	28	38	48	38	48	59	42	57	65
4	38	51	64	50	65	78	57	72	87
5	48	63	79	63	81	97	71	89	107
6	48	63	79	64	81	97	72	90	107
8	49	64	79	65	82	98	73	91	108
10	49	64	79	66	83	99	75	92	109
15	50	65	80	69	85	101	78	95	111
20	50	65	80	71	86	102	81	97	113
45	50	65	80	75	90	105	89	104	119
60	50	65	80	75	90	105	90	105	120

Fuente: Catálogo HELITA. Consulta: 19 de agosto de 2016.

El nivel de protección se calcula de acuerdo con la tabla CXXXII.

Para el pulsar 60, el límite  $60 \mu\text{s}$  adoptado para la ganancia en el tiempo T de cebado utilizado para calcular el radio de protección ha sido validado en condiciones de laboratorio por Gimelec, de los equipos eléctricos y electrónicos fabricados por la asociación francesa.

La altura de montaje sobre la parte más alta del edificio será de 5,50 metros del mástil más 2,00 metros del pararrayos, para un total de 7,50 metros. En la sección para el cálculo del sistema para pararrayos se realizó el procedimiento para la selección. Los valores obtenidos indican que el pararrayos con dispositivo de cebado seleccionado, será el pulsar 60 con nivel de protección I.

Definición de las literales utilizadas en la tabla CXXXIII.

D: distancia de cebado

h: Altura de la punta pulsar encima del área a proteger

RP: Radio de protección dentro de un plano horizontal localizado a una distancia vertical h de la punta del pulsar

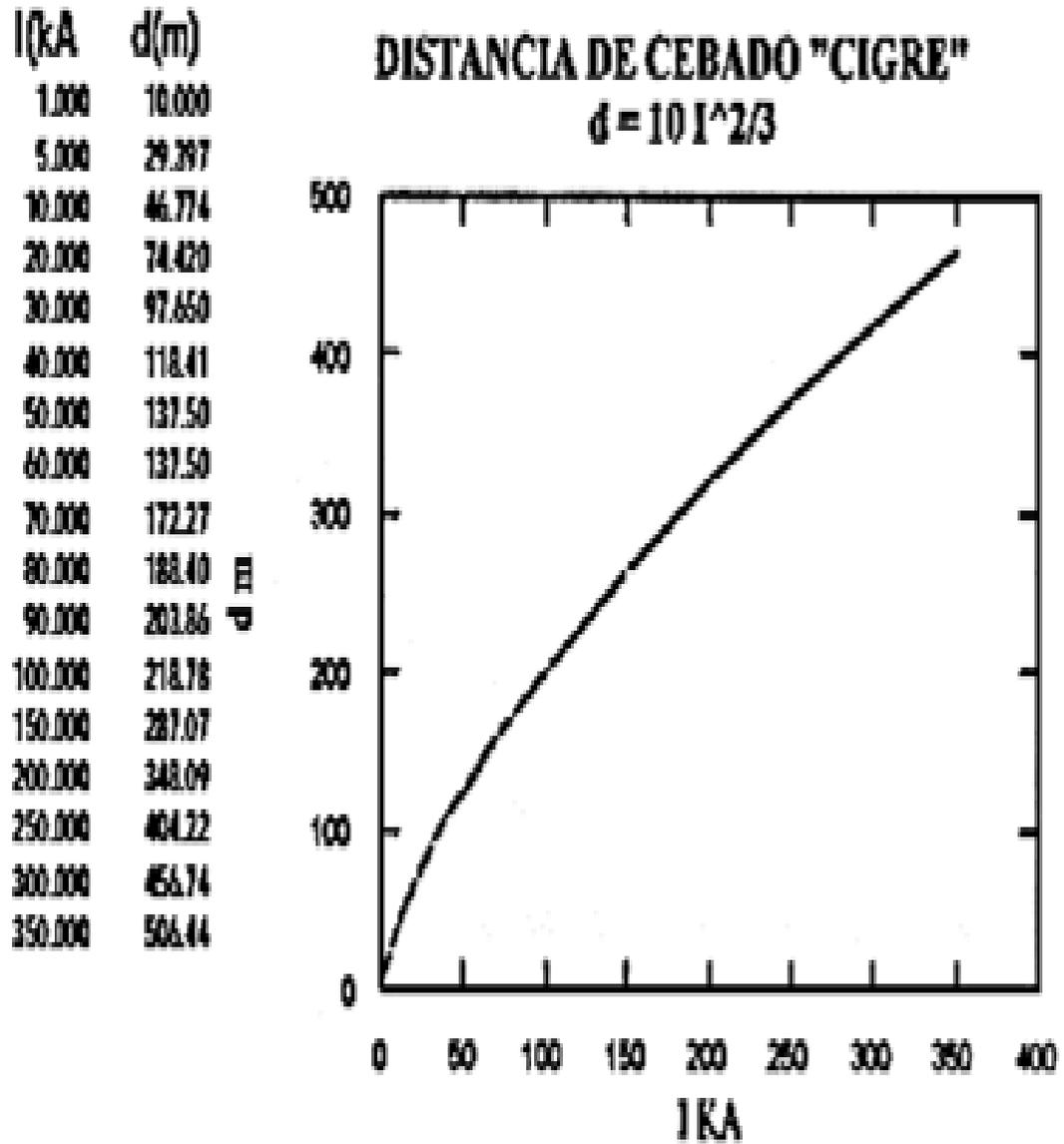
T: avance en el cebado resultado de las pruebas de evaluación, según el anexo C de la norma NF C17-102.

Distancia de cebado: distancia máxima (d) medida desde la parte superior de una estructura o desde el terreno, que una descarga descendente, de la carga Q, salva para unirse con la descarga ascendente. Su origen está en la estructura o en el terreno, dando lugar a una descarga de intensidad I. Debido a que el campo eléctrico en la superficie de la estructura o del terreno, bajo la acción de la descarga eléctrica descendente, alcanza un valor crítico, que produce el cebado de la capa de aire que separa a ambas descargas (descendente y ascendente) y que una carga descendente Q de 1C da lugar a una corriente de retorno con valor de 20kA.

La distancia de cebado está relacionada con la intensidad cresta de la corriente de retorno por medio de la expresión desarrollada por el grupo de trabajo 33,01 de CIGRE (ver figura 145), de acuerdo con la fórmula siguiente según norma NF C17 102:

$$d(m) = 10 \cdot \sqrt[3]{I^2}$$

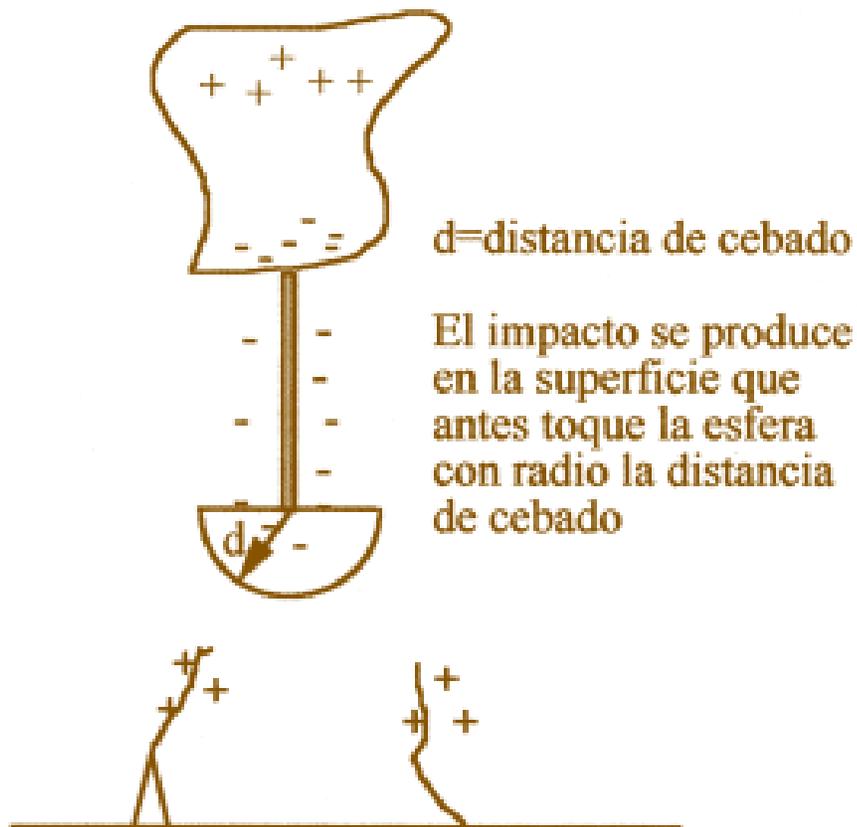
Figura 146. Distancia de cebado "CIGRE"



Fuente: [ebookinga.com/pdf/electricidad-5784025.html](http://ebookinga.com/pdf/electricidad-5784025.html). La protección contra el rayo en la normativa española. p. 77. Consulta: 26 de agosto de 2016.

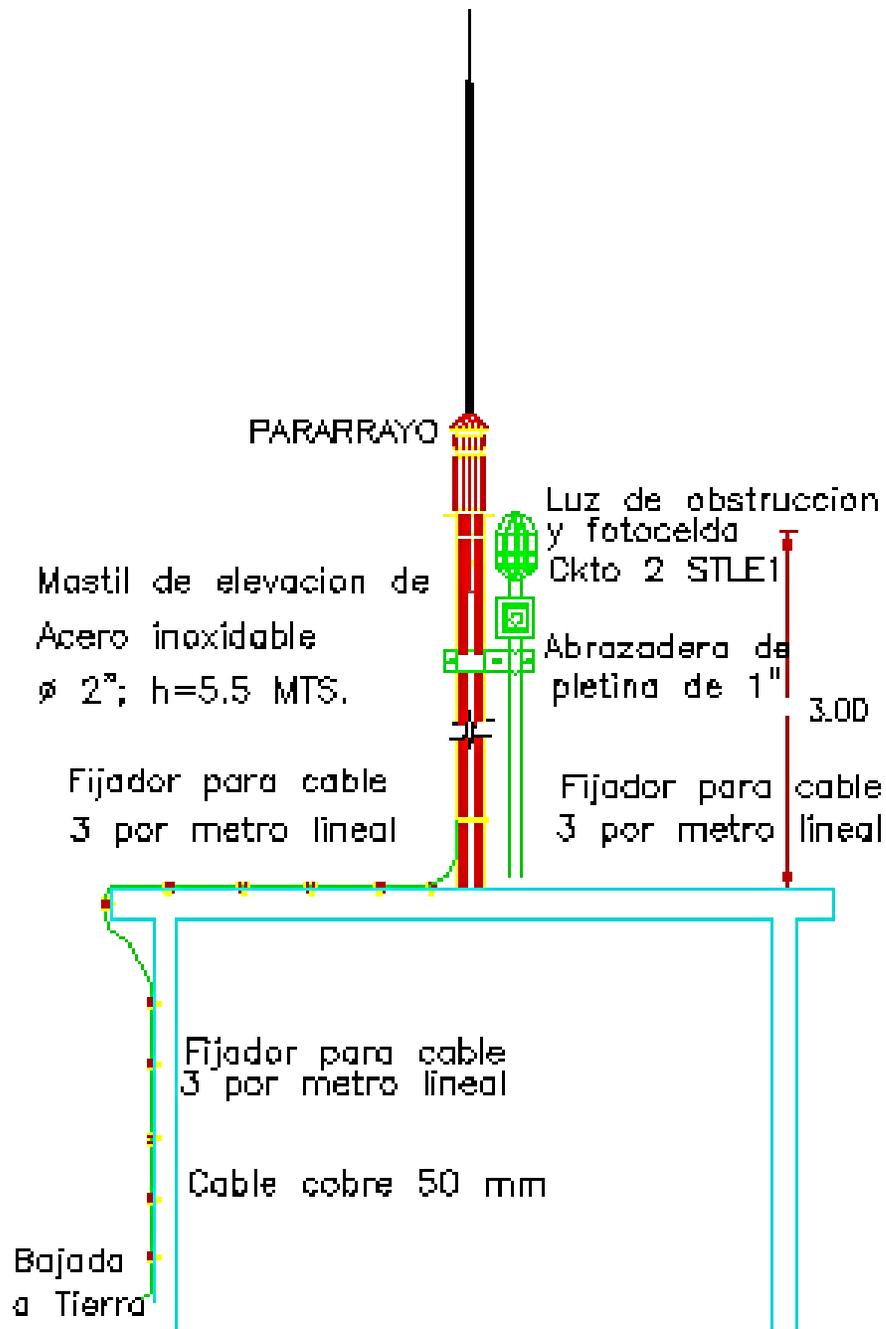
Figura 147. Colocación del dispositivo captador

Nivel de protección	d(m)	H(m)	20 $\alpha$	30 $\alpha$	45 $\alpha$	60 $\alpha$	Dimensión de las mallas (m)
I	20		25	*	*	*	5
II	30		35	25	*	*	10
III	45		45	35	25	*	10
IV	60		55	45	35	25	15



Fuente: [ebookinga.com/pdf/electricidad-5784025.html](http://ebookinga.com/pdf/electricidad-5784025.html). La protección contra el rayo en la normativa española. p. 76. Consulta: 26 de agosto de 2016.

Figura 148. Instalación del pararrayos



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Los pararrayos se instalarán sobre el punto más alto, utilizando un mástil fabricado en acero galvanizado o acero inoxidable. De esta manera quedará al menos dos metros por sobre todos los elementos en la terraza.

A partir del pararrayos se realizará dos bajadas, de acuerdo con la norma NFPA 780 4,9,9 utilizando como conductor eléctrico cinta de cobre estañado con las dimensiones siguientes: 30 mm de ancho por 2 mm de espesor, fijado en tres puntos por cada metro instalado.

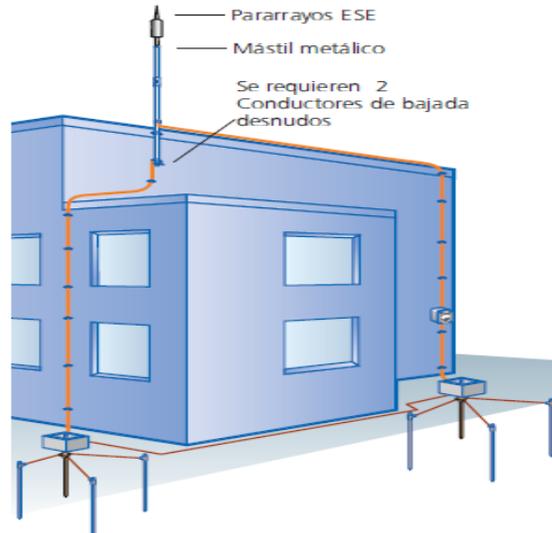
Se utilizará las dos bajadas de acuerdo con los criterios siguientes:

- Para una punta simple: si el trayecto del conductor es  $> 35$  metros
- Para un pararrayos con dispositivo de cebado, la altura del edificio es  $> 28$  metros
- Altura de chimeneas o iglesias  $> 40$  metros
- Trayectoria horizontal  $>$  la trayectoria vertical

Tendremos 2 sistemas de pararrayos, por lo que se deberán interconectar los sistemas. Se instalará de una funda de protección mecánica de 2 metros al final del cable bajante.

Las masas metálicas exteriores deberán estar conectadas equipotencialmente al circuito del pararrayos, según las normas de distancia de seguridad de la NF C 17-100 que describe también las distancias por respetar entre las bajadas. El contador de rayos se instalará encima de la junta de control.

Figura 149. **Instalación para el sistema de pararrayos**



Fuente: Catálogo ERICO. Protección eléctrica de instalaciones. p. 17.

Consulta: 26 de agosto de 2016.

Recomendaciones para el conductor de bajada (cable de puesta a tierra) de acuerdo con la trayectoria, según norma NFPA 780 – 14 capítulo 4,9,9.

- El recorrido del cable deberá ser el más recto posible
- El más corto posible
- Evitando los codos o curvas cerradas bruscas
- Evitando las subidas o giros hacia arriba

Evitar rodear ornamentos. Si no es posible se admite: no hay peligro de taconazo si  $d > L/20$ , donde,  $d$  = longitud de la curva,  $L$  = anchura de la curva. Se admitirá utilizar una subida de 40 centímetros máxima para un salto de ornamentos con una pendiente inferior o igual a  $45^\circ$ .

Los conductores de bajada se instalarán de manera que su recorrido sea lo más directo posible al punto de puesta a tierra. Su trazado tendrá en cuenta la localización de la puesta de tierra y deberá ser lo más rectilíneo posible, siguiendo la ruta más corta, evitando cualquier arreglo brusco, así como la seguridad contra el desplazamiento, condiciones de la tierra, localización de sistemas de tuberías metálicas subterráneas.

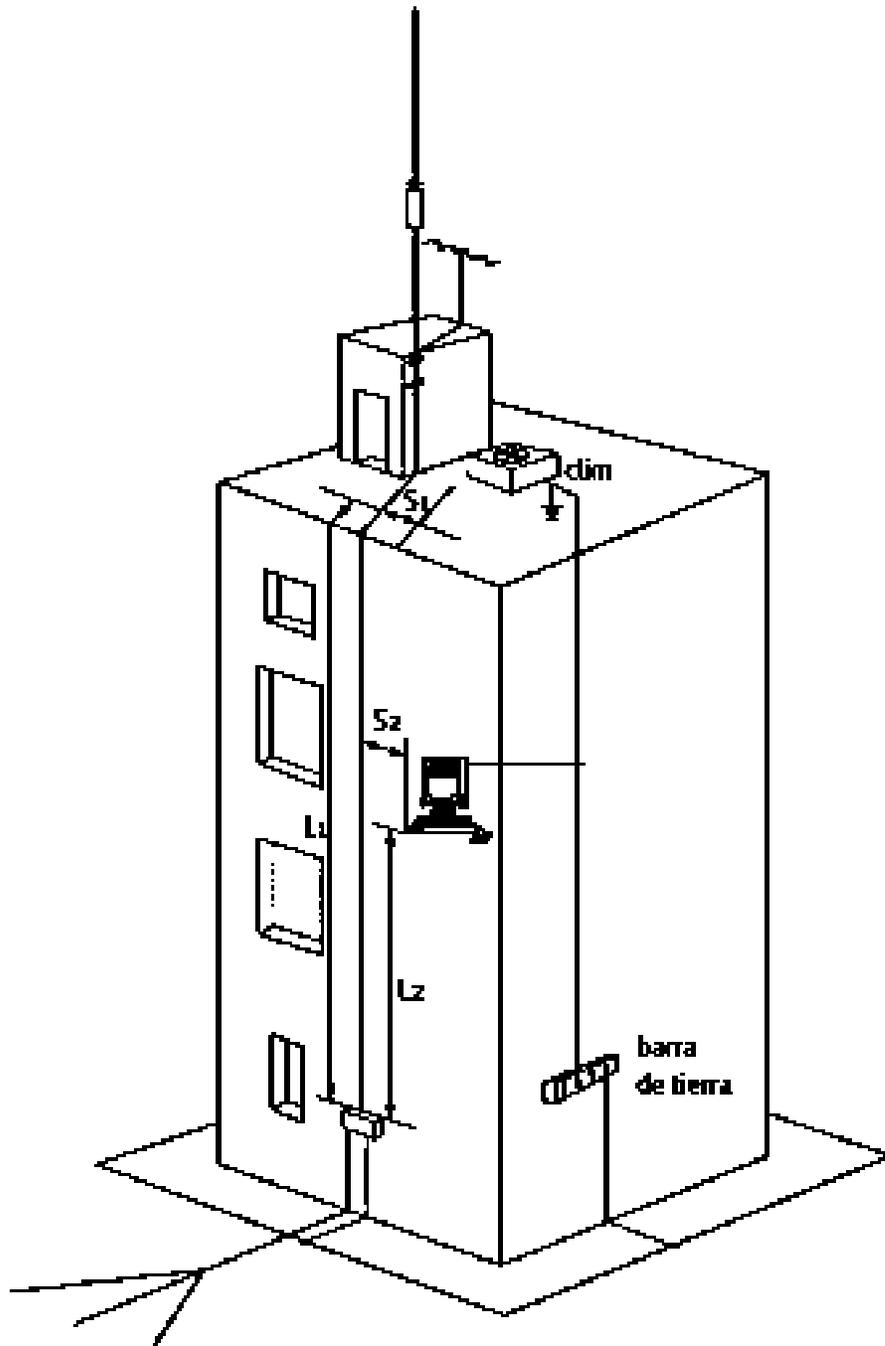
Durante la circulación de la corriente del rayo por un conductor, aparecen diferencias de potencial entre este y las masas metálicas conectadas con la tierra que se encuentran a proximidad, lo que puede generar arcos eléctricos peligrosos entre los dos extremos del bucle así creado. Razón por la cual los conductores de bajada deberán estar tan separados como sea posible.

Tabla CXXXIV. **Cálculo de la distancia de seguridad**

Fórmula	Descripción
<b>S (m) = n * (ki / km) * I</b> <b>Norma IEC 62305-3</b>	n = coeficiente determinado por el número de bajadas por PDC interconectadas: n = 1 cuando hay una bajada, n = 0,60 cuando hay dos bajadas, n = 0,40 cuando hay tres o más bajadas
	ki = depende del nivel de protección: ki = 0,1 para el nivel 1 (alta protección, edificio muy expuesto o estratégico), ki = 0,075 para el nivel 2 (protección reforzada, edificio expuesto), ki = 0,05 para el nivel 3 (protección estándar).
	km = depende del material entre las 2 extremidades de la curva: km = 1 para el aire, km = 0,52 para un material de mampostería distinto de los metales
	I = distancia vertical entre el punto en donde la proximidad está tomada en cuenta y la puesta a tierra de la masa o la conexión equipotencial

Fuente: Catálogo HELITA. Protección contra el rayo. p. 29. Consulta: 26 de agosto de 2016.

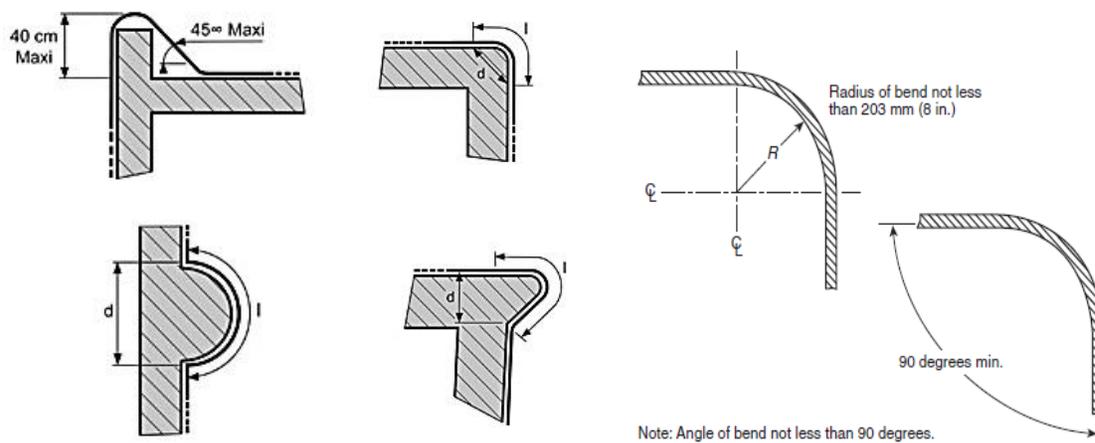
Figura 150. **Distancia de seguridad para el conductor de bajada del sistema pararrayos**



Fuente: Catálogo HELITA. (Norma francesa NF C 17-102 / IEC 62305-3 Protección contra el rayo. p. 29. Consulta: 26 de agosto de 2016.

De acuerdo con lo indicado en la norma NFPA 780, ninguna curva de un conductor incluido un ángulo inferior a 90°, tendrá un radio de curvatura inferior a 203 mm (8 pulgadas).

Figura 151. Elementos metálicos para realizar las bajadas



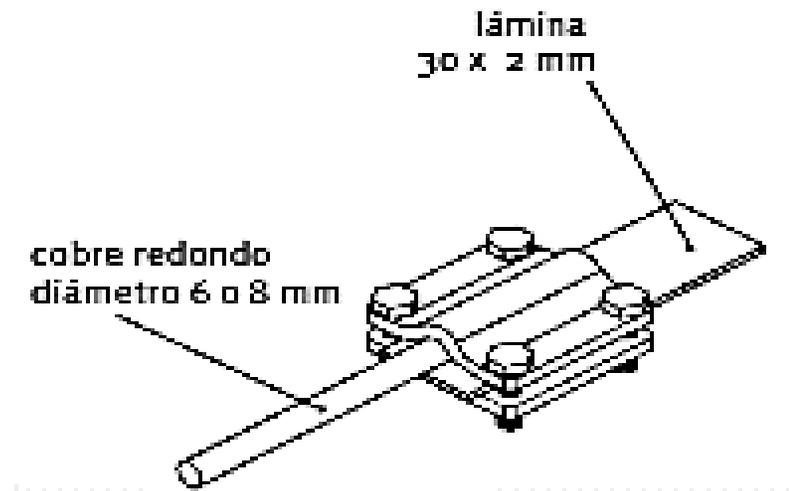
Fuente: Norma NFPA 780, 2011. p. 16 Consulta: 26 de agosto de 2016.

Los radios de curvatura del cable no deberán ser menores a 20 cm. Cuando el cable debe pasar sobre algún parapeto, este no debe ser más alto de 40 cm y la inclinación del cable no debe sobrepasar los 45° de elevación. Si el muro es más alto es preferible barrenar un agujero de 50 mm como mínimo, para pasar el conductor.

El recorrido de los conductores de bajada debe ser elegido de forma que evite la proximidad de conducciones eléctricas y su cruce. En todo caso, cuando no se pueda evitar un cruce, la conducción debe ubicarse en el interior de un blindaje metálico que se prolongue 1 metro a cada parte del cruce. El blindaje deberá unirse a la bajante.

El conductor de puesta a tierra deberá estar firmemente asegurado con una abrazadera al cable de conexión plano del pararrayos.

Figura 152. **Unión para cable redondo hacia cable plano**

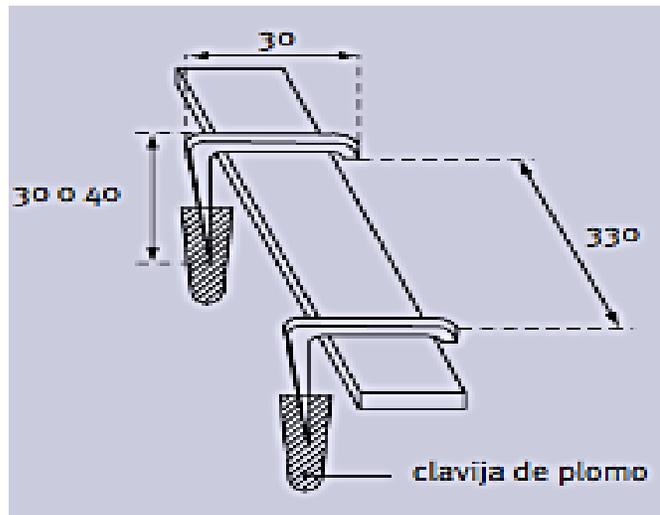


Fuente: Catálogo HELITA. (Norma francesa NF C 17-102 / IEC 62305-3). Protección contra el rayo. p. 26. Consulta: 26 de agosto de 2016.

Se recomienda utilizar por lo menos 3 grapas por metro lineal del conductor de puesta a tierra, para la sujeción del conductor. Deberá de dejarse cierta holgura para permitir al conductor expandirse. Se debe evitar, en la medida de lo posible, la perforación de los cables (ver figura 153).

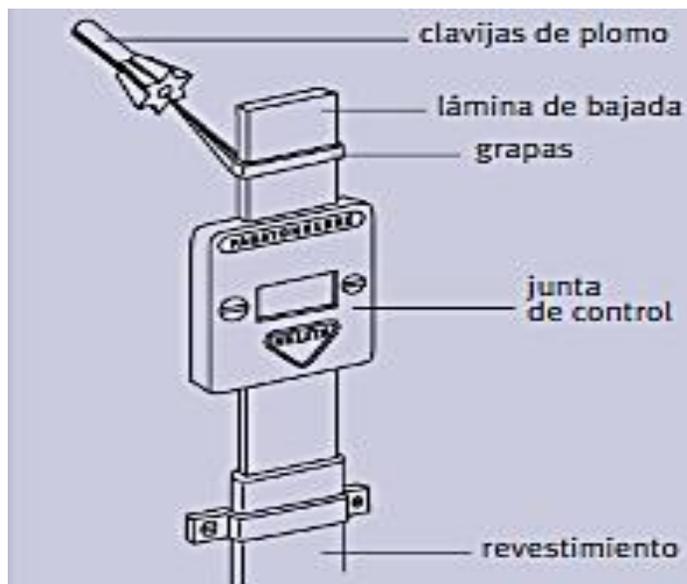
Cada cable de puesta a tierra deberá estar conectado a una copla de prueba, para poder hacer las mediciones de la resistencia a tierra y la conductividad del cable. La copla de prueba usualmente se instala a 2 metros sobre el nivel del suelo, esto para facilitar el mantenimiento y mediciones (ver figura 154).

Figura 153. Fijaciones del cable conductor para puesta a tierra



Fuente: Catálogo HELITA. (Norma francesa NF C 17-102 / IEC 62305-3). Protección contra el rayo. p. 26. Consulta: 26 de agosto de 2016.

Figura 154. Pletina de control o barra de prueba



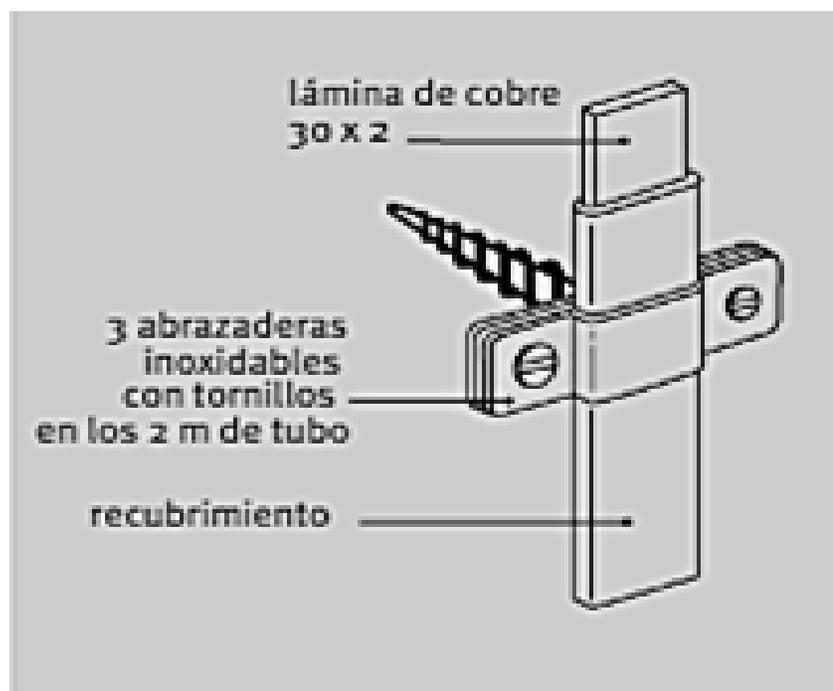
Fuente: Catálogo HELITA. (Norma francesa NF C 17-102 / IEC 62305-3). Protección contra el rayo. p. 26. Consulta: 26 de agosto de 2016.

Las coplas de prueba deben estar debidamente identificadas para cumplir con los estándares. Se debe identificar cual es el cable que conecta a tierra física y cual cable conecta al pararrayos.

Si existe algún muro metálico la copla de prueba debe instalarse al menos a 1 metro de distancia, para evitar distorsión en las mediciones.

Es necesario conectar una plancha protectora entre la copla de prueba y la tierra. La cinta es protegida por una hoja de acero galvanizado de 2 metros a partir del suelo.

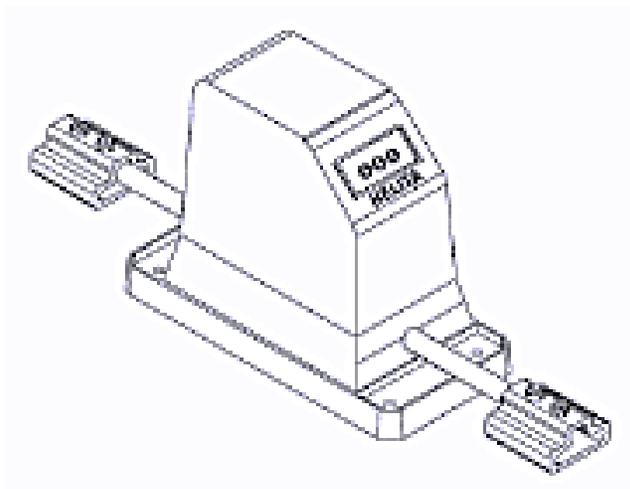
Figura 155. **Recubrimiento del conductor de bajada**



Fuente: Catálogo HELITA. (Norma francesa NF C 17-102 / IEC 62305-3). Protección contra el rayo. p. 26. Consulta: 26 de agosto de 2016.

Los contadores de rayos deberán ser instalados uno por cada pararrayos, estos deberán instalarse sobre la copla de pruebas, aproximadamente a 2 metros por encima del suelo. El contador estará conectado en serie al conductor de bajada.

Figura 156. **Contador de rayos**



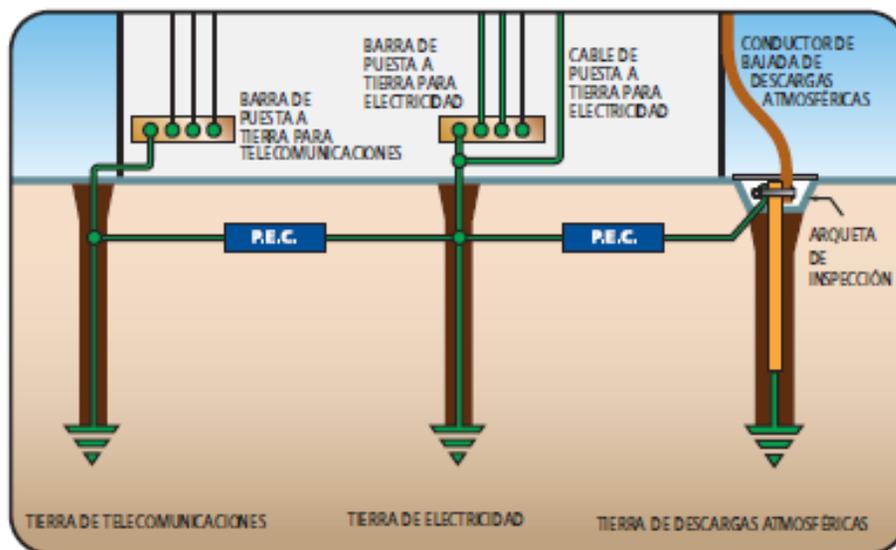
Fuente: Catálogo HELITA. (Norma francesa NF C 17-102 / IEC 62305-3). Protección contra el rayo. p. 27. Consulta: 26 de agosto de 2016.

Equipotencialidad de las masas exteriores: forma parte integrante de la IEPR (Instalación exterior de protección contra el rayo) al igual que las bajadas o tomas de tierra. Todas las masas metálicas conductoras situadas a una distancia inferior a "s" (distancia de seguridad) de un conductor deben ser conectadas con un conductor de sección idéntica. Las torres y los postes que soportan tendidos eléctricos deben estar conectados a tierra a través de un descargador. Los sistemas de puesta a tierra embebidos dentro de paredes deberán estar equipotencializados también.

Equipotencialidad de las masas interiores: forma parte de la IIPR (Instalación interior de protección contra el rayo). Todas las masas metálicas de la estructura (armaduras, conductos, blindajes, o soportes de canalizaciones eléctricas o telecomunicaciones, etc.) deben estar conectadas, mediante conductores de equipotencialidad cuya sección será como mínimo de 16 mm<sup>2</sup> de cobre o 50 mm<sup>2</sup> de acero, a barras de equipotencialidad dispuestas en el interior de la estructura y conectadas, de la forma más corta posible, al circuito de tierra.

Los conductores eléctricos o de telecomunicaciones no apantallados están conectados al sistema de protección contra el rayo mediante dispositivos de protección contra el rayo. Por medio de una red equipotencial de tierra creada conectando todas las puestas a tierra con conectores de ecualización de potencial (CEP).

Figura 157. Equipotencialidad de masas interiores



Fuente: Catálogo ERICO. Protección eléctrica de instalaciones. p. 11. Norma IEC 62305-3

Consulta: 26 de agosto de 2016.

### **4.3. Instalaciones eléctricas para equipos mecánicos e hidráulicos**

Se deberá realizar las instalaciones eléctricas de los circuitos derivados de fuerza motriz que alimentarán los equipos siguientes: aire acondicionado, ascensores y bombeo de agua. Estos circuitos terminarán en la caja de conexión del panel del equipo a alimentar o en su defecto en una caja NEMA conteniendo un interruptor termomagnético de la misma capacidad de la protección en el tablero y en la localización señalada de acuerdo con los planos de construcción.

Se instalará el conductor eléctrico de puesta a tierra para cada uno de los circuitos derivados indicados, de acuerdo al artículo 430 del código nacional eléctrico de los estados unidos (NEC).

En general, se refiere a la instalación de los circuitos derivados que alimentarán a cada una de las cargas descritas, su protección térmica, conductores eléctricos, canalizaciones, tubería, accesorios, soportes y sistema de puesta a tierra.

En el capítulo 3 se observa el criterio para el diseño de los circuitos de fuerza, que comprende los circuitos derivados. En este capítulo se hace referencia a la protección para el sistema de tierra de los circuitos derivados y en la sección 4.4. se menciona el diseño para los conductores eléctricos y tipo de canalización.

#### **4.4. Conductores eléctricos**

Estará constituido por el conjunto de conductores eléctricos de cobre que alimentarán los sistemas de iluminación, tomas de corriente, circuitos derivados, circuitos derivados de fuerza, alimentadores y de acometida de las instalaciones eléctricas que alimentarán al centro hospitalario en media y baja tensión, así como los sistemas de tierra física y sistemas de protección pararrayos.

El cálculo para la capacidad de los conductores eléctricos estará basado en función de la capacidad de conducción de corriente eléctrica y la caída de tensión de los circuitos eléctricos, con la finalidad de proporcionar la protección de la seguridad humana y de los equipos eléctricos que serán utilizados en el centro hospitalario, sin presentar sobrecargas eléctricas, daños y peligro de incendio en los conductores ver diagrama unifilar.

Específicamente para áreas de cuidado general: módulos de encamados para pacientes, salas de reconocimiento, salas de tratamiento, clínicas y áreas similares en la que está previsto que el paciente entre en contacto con artefactos eléctricos normales, tales como sistema de llamado de enfermeras, camas eléctricas, lámparas de examen, teléfonos y dispositivos de entretenimiento.

Áreas de cuidado crítico: unidades de cuidados especiales, intensivos, coronario, laboratorios, salas de expulsión, quirófanos y áreas similares en las que se prevé que los pacientes están sometidos a procesos invasivos y unidos a dispositivos eléctricos de medicina conectados a la red.

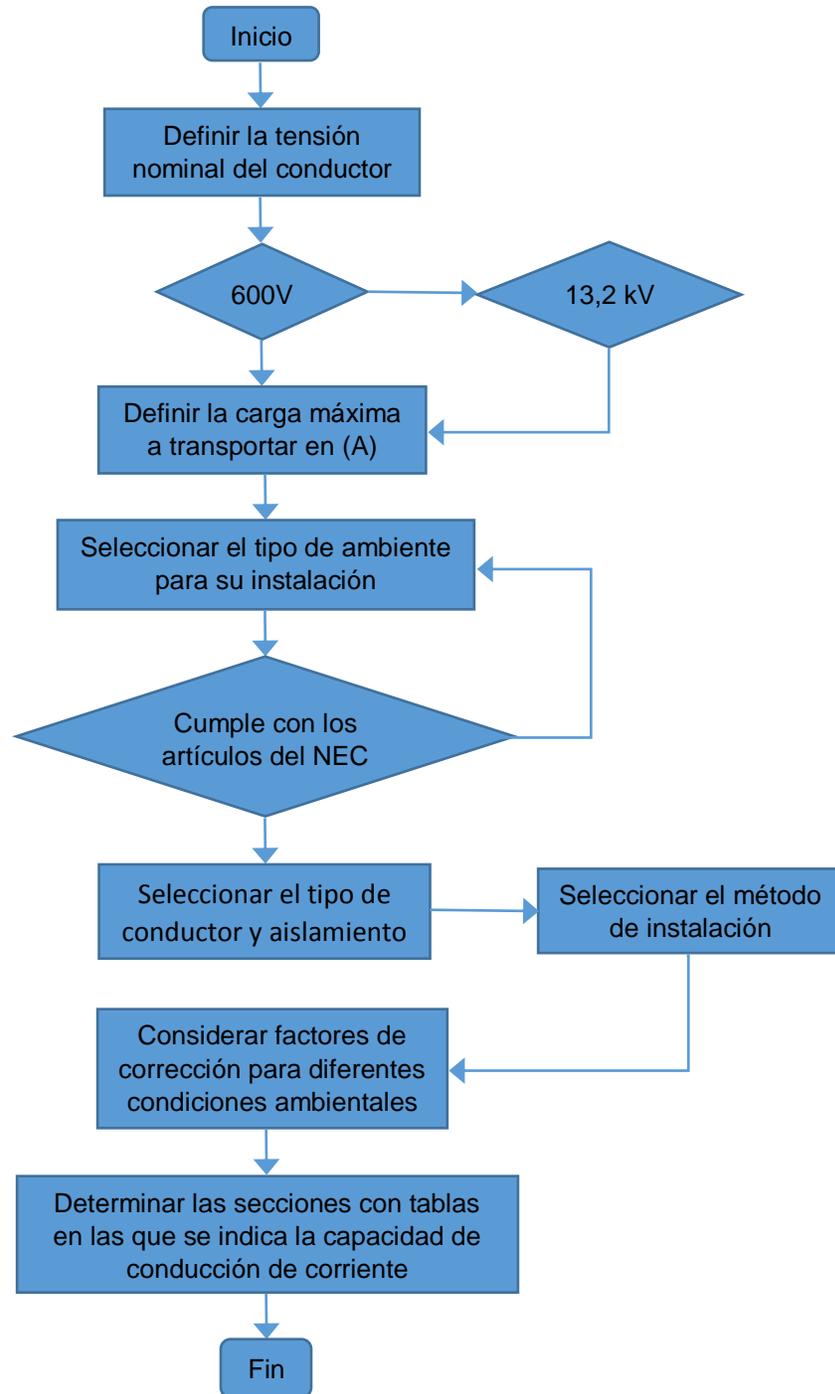
Para los conductores de circuitos ramales menores a 600 voltios deberán tener una capacidad de corriente no inferior a la carga máxima que van a alimentar.

Cuando un circuito ramal alimente cargas continuas o cualquier combinación de cargas continuas y no continuas, el calibre mínimo del ramal, antes de la aplicación de cualquier factor de corrección o ajuste, debe tener una capacidad de corriente permisible igual o superior a la carga no continua más el 125% de la carga continua, de acuerdo con el artículo 430,22 parte (B) del NEC 2011.

En el área de cocinas y artefactos de cocina electrodomésticos: los conductores de los circuitos ramales eléctricos que alimenten cocinas domésticas, hornos montados en la pared, cocinas de mesón y otros artefactos domésticos de cocina, deben tener una capacidad de corriente no inferior a la corriente nominal del circuito ramal y no menor a la carga máxima que tienen que alimentar.

Circuitos ramales de más de 600 voltios: la capacidad de corriente de los conductores eléctricos de un circuito ramal no deberá ser menor del 125% de la potencia de la carga diseñada de los equipos utilizados cuando están operando simultáneamente. De acuerdo con el artículo 210-10 Conductores: capacidad de corriente mínima y calibre mínimo indicado en el NEC.

Figura 158. Diagrama de flujo para la selección de conductores eléctricos



Fuente: elaboración propia.

Los conductores eléctricos por utilizar en la instalación eléctrica del centro hospitalario deberán cumplir con los siguientes artículos indicados en el NEC:

Tabla CXXXV. **Artículos del NEC que deberán cumplir los conductores eléctricos**

Artículo	Descripción
200	Utilización e identificación de conductores puestos a tierra
210	Ramales o circuitos derivados
215	Alimentadores
220	Cálculos del alimentador del circuito de derivación y servicio
225	Circuitos derivados exteriores y alimentadores
230	Acometidas aéreas o subterráneas
250	Conexión a tierra y de alimentación
300	Métodos de cableado y materiales
310	Conductores para cableado general
326	Cables de media tensión "MV" ( <i>Medium Voltage</i> )
338	Cables de entrada a la acometida
430	Motores, circuitos de motores y controladores
445	Generadores
450	Transformadores y cuarto de transformadores
460	Condensadores

Fuente: elaboración propia.

El conductor eléctrico estará constituido por un elemento conductor de cobre y forro de material aislante de acuerdo a las características de voltaje para operación.

El cálculo para los conductores eléctricos se realiza por la capacidad de conducción de corriente, a esta se denomina ampacidad, la cual se encuentra limitada por los factores siguientes:

- Conductividad del metal conductor
- Capacidad térmica del aislamiento

La ecuación para realizar el cálculo de los conductores eléctricos será la siguiente de acuerdo con la norma NFPA 70 NEC:

$$\text{ampacidad conductor} = \text{Carga calculada} / \text{Factor de porcentaje de ajuste}$$

Para realizar el cálculo de conductores eléctricos con factores de corrección por temperatura y por agrupamiento se requiere la utilización de las tablas CXXXVI, CXXXVII y CXXXVIII que describen cómo disminuye, aumenta o se mantiene la conducción de corriente en un conductor de acuerdo con la temperatura ambiente en la cual se encuentra y a la cantidad de conductores por una misma canalización. Se toma como base la temperatura ambiente de 30°C y tres conductores por canalización.

**Tabla CXXXVI. Factores de corrección, cuando hay tres o más conductores por canalización**

<b>Número de conductores portadores de corriente</b>	<b>Porcentaje del valor de las tablas, ajustado para la temperatura ambiente si fuera necesario</b>
De 4,0 a 6,0	80,0
De 7,0 a 9,0	70,0
De 10,0 a 20,0	50,0
De 21,0 a 30,0	45,0
De 31,0 a 40,0	40,0
41,0 y más	35,0

Fuente: NEC 2011. Artículo 315. p. 330. Consulta: 01 de septiembre de 2016.

Tabla CXXXII. Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V. nominales y 60°C a 90°C. No más de 3 conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30°C

Calibre mm <sup>2</sup>	Temperatura nominal del conductor						Calibre AWG o kcmil
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
	Tipos TW*, UF*	Tipos FEPW*,RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	Tipos TBS, SA, SIS, FEP*, FEPB*, MI, RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	Tipos TW*, UF*	Tipos RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	Tipos TBS, SA, SIS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
	Cobre			Aluminio o aluminio recubierto de cobre			
0,82	....	....	14	....	....	....	18
1,31	....	....	18	....	....	....	16
2,08	20*	20*	25	....	....	....	14
3,30	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,20	110	130	150	85	100	115	1
53,50	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	230	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500
304,02	355	420	475	285	340	385	600
354,69	385	460	520	310	375	420	700
380,02	400	475	535	320	385	435	750
405,36	410	490	555	330	395	450	800
456,03	435	520	585	355	425	480	900
506,70	455	545	615	375	445	500	1 000
633,38	495	590	665	405	485	545	1 250
760,05	520	625	705	435	520	585	1 500
886,73	545	650	735	455	545	615	1 750
1 013,40	560	665	750	470	560	630	2 000

Fuente: NEC 2011. Artículo 310,15. p. 336. Consulta: 01 de septiembre de 2016.

**Tabla CXXXVIII. Factores de corrección, tres o más conductores por canalización**

Factores de corrección							
Temperatura Ambiente en °C	Para temperaturas ambientes distintas de 30°C, multiplicar las anteriores corrientes por el correspondiente factor de los siguientes						Temperatura Ambiente en °C
21-25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	21-25
26-30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	26-30
31-35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	31-35
36-40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	36-40
41-45	0,71	0,82	0,87	0,71	0,82	0,87	41-45
46-50	0,58	0,75	0,82	0,58	0,75	0,82	46-50
51-55	0,41	0,67	0,76	0,41	0,67	0,76	51-55
56-60	....	0,58	0,71	....	0,58	0,71	56-60
61-70	....	0,33	0,58	....	0,33	0,58	61-70
71-80	....	....	0,41	....	....	0,41	71-80

Fuente: NEC 2011. Artículo 310,15. p. 336. Consulta: 01 de septiembre de 2016.

**Tabla CXXXIX. Características del conductor**

Características	Cobre	Cobre y aluminio revestido	Aluminio
Densidad (lb/in³)	0,323	0,121	0,098
Densidad (g/cm³)	8,910	3,340	2,710
Resistividad (ohms/CMF)	10,370	16,080	16,780
Resistividad microhm – CM	1,724	2,673	2,790
Conductividad (IACS %)	100,000	61,000 - 63,000	61,000
Peso % cobre	100,000	26,800	----
Tracción K psi – duro	65,000	30,000	27,000
Tracción Kg/mm² - duro	45,700	21,100	19,000
Tracción K psi – recocado	35,000	17,000	*17,000
Tracción Kg/mm² - recocado	24,600	12,000	12,000
Gravedad específica	8,910	3,340	2,710

\*Semi-recocado

Fuente: NEC 2011. Artículo 310.106. p. 355. Consulta: 02 de septiembre de 2016.

Tabla CXL. Características técnicas de los conductores eléctricos

Calibre	Área de la sección transversal nominal		Número de hilos	Espesor de aislamiento nominal		Espesor de cubierta nominal		Diámetro externo total aproximado		Peso total aprox. Kg/Km	Resistencia eléctrica c.d. máx. @ 30°C $\Omega / Km$
	C.M.	mm <sup>2</sup>		Pulg.	mm.	Pulg.	mm.	Pulg.	mm.		
14	4 110	2,08	7	0,015	0,38	0,004	0,10	0,102	2,59	24	8,9800
12	6 530	3,31	7	0,015	0,38	0,004	0,10	0,119	3,02	36	5,6800
10	10 380	5,26	7	0,020	0,51	0,004	0,10	0,150	3,81	58	3,5600
8	16 510	8,37	7	0,030	0,76	0,005	0,13	0,216	5,48	95	2,2300
6	26 240	13,30	7	0,030	0,76	0,005	0,13	0,254	6,44	145	1,4000
4	41 740	21,15	19	0,040	1,02	0,006	0,15	0,318	8,09	229	0,8810
3	52 620	26,66	19	0,040	1,02	0,006	0,15	0,346	8,80	283	0,7000
2	66 360	33,63	19	0,040	1,02	0,006	0,15	0,378	9,59	351	0,5540
1	83 690	42,41	19	0,050	1,27	0,007	0,18	0,435	11,04	449	0,4430
1/0	105 600	53,51	19	0,050	1,27	0,007	0,18	0,474	12,05	558	0,3480
2/0	133 100	67,44	19	0,050	1,27	0,007	0,18	0,518	13,17	693	0,2770
3/0	167 800	85,03	19	0,050	1,27	0,007	0,18	0,568	14,43	863	0,2200
4/0	211 600	107,22	19	0,050	1,27	0,007	0,18	0,624	15,85	1 077	0,1740
250	250 000	126,68	37	0,060	1,52	0,008	0,20	0,712	18,08	1 278	0,1480
300	300 000	152,01	37	0,060	1,52	0,008	0,20	0,767	19,48	1 520	0,1230
350	350 000	177,35	37	0,060	1,52	0,008	0,20	0,818	20,78	1 762	0,1052
400	400 000	202,68	37	0,060	1,52	0,008	0,20	0,865	21,97	2 003	0,0919
500	500 000	253,36	37	0,060	1,52	0,008	0,20	0,951	24,16	2 483	0,0738
600	600 000	304,03	61	0,070	1,78	0,009	0,23	1,051	26,70	2 992	0,0617
750	750 000	380,03	61	0,070	1,78	0,009	0,23	1,157	29,39	3 712	0,0491
1 000	1 000 000	576,71	61	0,070	1,78	0,009	0,23	1,311	33,30	4 906	0,0369

Fuente: NEC 2011. Capítulo 9. p. 1 320. Consulta: 01 de septiembre de 2016.

Todos los conductores no son iguales en relación al aislamiento. Solamente los alambres y los cables que cumplen con la mínima al fuego. Propiedades eléctricas y físicas requeridas por las normas aplicables se les permite ser marcados con las designaciones de letras que se encuentran en la tabla CXLI. Ver artículo 310,104 del NEC 2011 para las necesidades de la construcción conductor aislado y aplicaciones.

Instalación: los conductores eléctricos THHN pueden instalarse en tubería eléctrica metálica (EMT) o plástica, en banco de ductos y los calibres 1/0 AWG y mayores, se pueden instalar en bandejas (canastas o charolas).

Figura 159. **Instalación de conductores eléctricos mayores a 1/0 AWG**



Fuente: elaboración propia.

Estos productos se fabrican en colores negro, rojo, blanco, azul, amarillo y verde para los calibres 14 AWG al 1 AWG. Del calibre 1/0 AWG al 1 000 MCM, se fabrican en color negro, resistente a la luz solar.

Figura 160. **Instalación de conductores eléctricos menores a 1/0 AWG**



Fuente: elaboración propia.

Se recomienda seguir las indicaciones de instalación establecidas por el NEC o cualquier código eléctrico equivalente local, de manera que se garantice que la integridad del producto no se verá afectada por deficiencias en la instalación.

Debido a las necesidades de operación y maniobra que se deben realizar con los conductores los encontramos con las siguientes formas constructivas, de acuerdo a su calibre o sección transversal:

- Alambres (sólidos)
- Cables (en presentación de 7, 19, 37 y 61 hilos)
- Cordones (muchos hilos)
- Barras

El parámetro más importante de un conductor es la capacidad de conducción de corriente, la cual está definida por el tipo de material y limitada directamente por la capacidad del aislamiento o forro.

Los conductores eléctricos están forrados por diferentes materiales aislantes, por lo general contienen materiales orgánicos. Estos forros están clasificados de acuerdo con la temperatura de operación permisible, de tal forma que una misma sección de cobre puede tener diferente capacidad de conducción de corriente, dependiendo de tipo de aislamiento que se seleccione y de la temperatura ambiente del local de operación, de acuerdo con la tabla CXLI.

El material aislante separa el alma conductora del exterior. Si los cables no tuvieran aislante sería muy difícil la distribución de los circuitos en las instalaciones eléctricas. Esto permite que en la instalación no se energicen la carcasa de los equipos, canalizaciones metálicas, evitar cortos circuitos, así como la electrocución de las personas.

El material aislante más utilizado para la fabricación de conductores eléctricos son los polímeros termoplásticos y de hule. Un termoplástico es un tipo de plástico que cambia sus propiedades cuando se calienta y se enfría. Los termoplásticos se ablandan cuando se les aplica calor y tienen un acabado liso y duro cuando se enfrían. Algunos termoplásticos son el polietileno (PE) y el policloruro de vinilo (PVC).

En la tabla CXLI se observará el nombre comercial, tipo de letra con la que se identifica, temperatura máxima de operación, disposiciones para su aplicación, tipo de aislamiento, espesor de aislamiento, tipo de cubierta protectora, para los diferentes tipos de conductores eléctricos clasificados para operar a 600 voltios, de acuerdo con lo indicado en el NEC.

En el centro hospitalario se utilizará en un 95% el conductor clasificado como THHN de acuerdo con sus características para desarrollar la instalación eléctrica.

Tabla CXLI. Tipos de conductores eléctricos según su tipo de aislante y condiciones de uso clasificación 600 voltios

Nombre comercial	Tipo de letra	Temp. máxima de operación	Disposiciones de aplicación	Aislamientos	Espesor de aislamientos				Cubierta Protectora <sup>1</sup>	
					AWG o kcmil	mm	mils			
Propileno Etileno Fluorado	FEP	90°C (194°F)	Locales secos y húmedos	Propileno Etileno Fluorado	14 - 10 8 - 2	0,51 0,76	20 30		Ninguna	
	FEPB	200°C (392°F)	Locales secos aplicaciones especiales <sup>2</sup>	Propileno Etileno Fluorado	14 - 8	0,36	14		Trenzada de vidrio	
					6 - 2	0,36	14		Vidrio u otro material adecuado trenzado	
Con aislamiento mineral (forro metálico)	MI	90°C 194°F 250°C 482°F	En lugar seco y húmedo Para aplicaciones especiales <sup>2</sup>	Óxido de magnesio	18 - 16 <sup>3</sup>	0,58	23		Acero de cobre o aleación	
					16 - 10	0,91	36			
					9 - 4	1,27	50			
					3 - 500	1,40	55			
Resistente a la humedad y el calor, termoplástico resistente al aceite	MTW	60°C 140°F 90°C 194°F	Máquinas herramienta para el cableado en lugares húmedos Máquina de herramientas de cableado en lugares secos. Nota informativa: Consulte la norma NFPA 79	Retardador de la llama, a la humedad, calor y termoplástico resistente al aceite		(A)	(B)	(A)	(B)	(A) Ninguna (B) Chaqueta de nylon o equivalente
					22-12	0,76	0,38	30	15	
					10	0,76	0,51	30	20	
					8	1,14	0,76	45	30	
					6	1,52	0,76	60	30	
					4 - 2	1,52	1,02	60	40	
					1 - 4/0	2,03	1,27	80	50	
					213 - 500	2,41	1,52	95	60	
					501 - 1 000	2,79	1,78	110	70	
					Papel		85°C 185°F	Para conductores subterráneos, o con permiso especial	Papel	
Perfluoroalcoxy	PFA	90°C 194°F 200°C 392°F	Lugares secos y húmedos Lugares secos aplicaciones especiales <sup>2</sup>	Perfluoroalcoxy	14 - 10	0,51	20		Ninguna	
					8 - 2	0,76	30			
					1 - 4/0	1,14	45			
Perfluoroalcoxy	PFAH	250°C 482°F	Sólo lugares secos. Sólo para clientes potenciales dentro de un aparato o dentro de los conductos conectados a un aparato (níquel o cobre recubierto de níquel solamente)	Perfluoroalcoxy	14 - 10	0,51	20		Ninguna	
					8 - 2	0,76	30			
					1 - 4/0	1,14	45			
Termoestable	RHH	90°C 194°F	Lugares secos y húmedos		14 - 10	1,14	45		Resiste la humedad, retardante de llama, cubierta no metálica	
					8 - 2	1,52	60			
					1 - 4/0	2,03	80			
					213 - 500	2,41	95			
					501 - 1 000	2,79	110			
					1 001 - 2 000	3,18	125			

Continuación tabla CXLI.

Nombre comercial	Tipo de letra	Temperatura máxima de operación	Disposiciones de aplicación	Aislamientos	Espesor de aislamientos			Cubierta protectora <sup>1</sup>
					AWG o kcmil	mm	mils	
Termoestable resistente a la humedad	RHW	75°C	Lugares secos y húmedos	Retardador de llama	14 – 10	1,14	45	Termoestable resistente a la humedad, retardante de llama, recubrimiento no metálico
		167°F			8 – 2	1,52	60	
	RHW-2	90°C			1 – 4/0	2,03	80	
		194°F			213 – 500	2,41	95	
					501 – 1 000	2,79	110	
1 001 – 2 000	3,18	125						
Silicona	SA	90°C	Lugares secos y húmedos	Goma de silicona	14 – 10	1,14	45	Vidrio u otro material adecuado trenza
		194°F			8 – 2	1,52	60	
		200°C			1 – 4/0	2,03	80	
		392°F			213 – 500	2,41	95	
					501 – 1 000	2,79	110	
1 001 – 2 000	3,18	125						
Termoestable	SIS	90°C	Solo cableado de tablero para distribución	Retardador de la llama termoestable	14 – 10	0,76	30	Ninguna
		194°F			8 – 2	1,14	45	
					1 – 4/0	2,41	50	
Trenzado exterior termoplástica y fibrosa	TBS	90°C	Solo cableado de tablero para distribución	Termoplástico	14 – 10	0,76	30	Retardador de llama, no metálico, cubierta no metálica
		194°F			8	1,14	45	
					6 – 2	1,52	60	
					1 – 4/0	2,03	80	
Politetrafluoroetileno expandido	TFE	250°C	Lugares secos	Politetrafluoro -etileno expandido	14 – 10	0,51	20	Ninguna
		482°F			8 – 2	0,76	30	
					1 – 4/0	1,14	45	
Termoplástico resistente al calor	THHN	90°C	Lugares secos y húmedos	Retardador de llama, termoplástico resistente al calor	14 – 12	0,38	15	Chaqueta de nylon o equivalente
		194°F			10	0,51	20	
					8 – 6	0,76	30	
					4 – 2	1,02	40	
					1 – 4/0	1,27	50	
					250 – 500	1,52	60	
501 – 1 000	1,78	70						
Termoplástico resistente al calor y la humedad	THHW	75°C	Lugar húmedo	Retardador de llama, termoplástico resistente al calor y humedad	14 – 10	0,76	30	Ninguna
		167°F	Lugar seco		8	1,14	45	
					6 – 2	1,52	60	
		90°C	Lugar seco		1 – 4/0	2,03	80	
					194°F	213 – 500	2,41	
		501 – 1 000	2,79			110		
1 001 – 2 000	3,18	125						

Continuación tabla CXLI.

Nombre comercial	Tipo de letra	Temperatura máxima de operación	Disposiciones de aplicación	Aislamientos	Espesor de aislamientos			Cubierta protectora <sup>1</sup>
					AWG o kcmil	mm	mil	
Termoplástico resistente al calor y la humedad	THW	75°C 167°F 90°C 194°F	Lugares secos y húmedos Aplicaciones especiales dentro de aparatos de iluminación por descarga eléctrica. Limitado a 1 000 voltios en circuito abierto o menos. (Tamaño 14-8 sólo como se permite en 410.68)	Retardador de la llama, termoplástico resistente al calor y la humedad	14 – 10	0,76	30	Ninguna
					8	1,14	45	
					6 – 2	1,52	60	
					1 – 4/0	2,03	80	
					213 – 500	2,41	95	
					501 – 1 000	2,79	110	
					1 001 – 2 001	3,18	125	
Termoplástico resistente al calor y la humedad	THWN	75°C 167°F	Lugares secos y húmedos	Retardador de la llama, termoplástico resistente al calor y la humedad	14 – 12	0,38	15	Chaqueta de nylon o equivalente
					10	0,51	20	
					8 – 6	0,76	30	
					4 – 2	1,02	40	
					1 – 4/0	1,27	50	
					250 – 500	1,52	60	
					501 – 1 000	1,78	70	
Termoplástica resistente a la humedad	TW	60°C 140°F	Lugares secos y húmedos	Retardador de la llama, termoplástica resistente a la humedad	14 – 10	0,76	30	Ninguna
							8	
					6 – 2	1,52	60	
					1 – 4/0	2,03	80	
					213 – 500	2,41	95	
					501 – 1 000	2,79	110	
					1 001 – 2 000	3,18	125	
Alimentador subterráneo y cable de derivación en circuito - un solo conductor (para el tipo de cable UF empleando más de un conductor, véase el artículo 338)	UF	60°C 140°F	Véase el artículo 340	Resistente a la humedad	14 – 10	1,52	60 <sub>a</sub>	Integral con aislamiento
							8 – 2	
					1 – 4/0	2,41	95 <sub>a</sub>	
Metro de cable de entrada de servicio - un solo conductor (para cables en forma de USE que emplea más de un conductor, véase el artículo 338.)	USE	75°C 167°F <sub>5</sub>	Véase el artículo 338	Resistente al calor y la humedad	14 – 10	1,14	45	Resistente a la humedad cubierta no metálica (Ver. 338,2)
							8 – 2	
					1 – 4/0	2,03	80	
					213 – 500	2,41	95 <sub>e</sub>	
					501 – 1 000	2,79	110	
					1 001 – 2 000	3,18	125	
Termoestable	XHH	90°C 194°F	Lugares secos y húmedos	Retardador de llama, termoestable	14 – 10	0,76	30	Ninguna
							8 – 2	
					1 – 4/0	1,40	55	
					213 – 500	1,65	65	
					501 – 1 000	2,03	80	
					1 001 – 2 000	2,41	95	

Continuación tabla CXLI.

Nombre comercial	Tipo de letra	Temperatura máxima de operación	Disposiciones de aplicación	Aislamientos	Espesor de aislamientos			Cubierta protectora <sup>1</sup>
					AWG o kcmil	mm	mil	
Termoestable resistente a la humedad	XHHW	90°C 194°F 75°C 167°F	Lugares secos y húmedos Lugares húmedos	Retardador de la llama, termoestable resistente a la humedad	14 – 10	0,76	30	Ninguna
					8 - 2	1,14	45	
					1 – 4/0	1,40	55	
					213 – 500	1,65	65	
					501 – 1 000	2,03	80	
1 001 – 2 001	2,41	95						
Termoestable resistente a la humedad	XHHW-2	90°C 194°F	Lugares secos y húmedos	Retardador de la llama, termoestable resistente a la humedad	14 – 10	0,76	30	Ninguna
					8 – 2		45	
					1 – 4/0		55	
					213 - 500		65	
					501 – 1 000		80	
1 001 – 2 000	2,03	95						
Tetrafluoroetileno modificado de etileno	Z	90°C 194°F 150°C 302°F	Lugares secos y húmedos Lugares secos aplicaciones especiales <sup>2</sup>	Tetrafluoroetileno modificado de etileno	14 – 12	0,38	15	Ninguna
					10	0,51	20	
					8 – 4	0,64	25	
					3 – 1	0,89	35	
					1/0 – 4/0	1,14	45	
Tetrafluoroetileno modificado de etileno	ZW	75°C 167°F 90°C 194°F 150°C 302°F	Lugares húmedos Lugares secos y húmedos Lugares secos, aplicaciones especiales <sup>2</sup>	Tetrafluoroetileno modificado de etileno	14 – 10	0,76	30	Ninguna
					8 - 2		45	
	ZW-2	90°C 194°F	Lugares secos y húmedos					

Notas:

<sup>1</sup> Algunos aisladores no requieren una cubierta exterior.

<sup>2</sup> Cuando las condiciones de diseño requieren temperaturas máximas de operación del conductor por encima de 90 ° C (194 ° F).

<sup>3</sup> Para la indicación de circuitos que permite el aislamiento de 300 voltios.

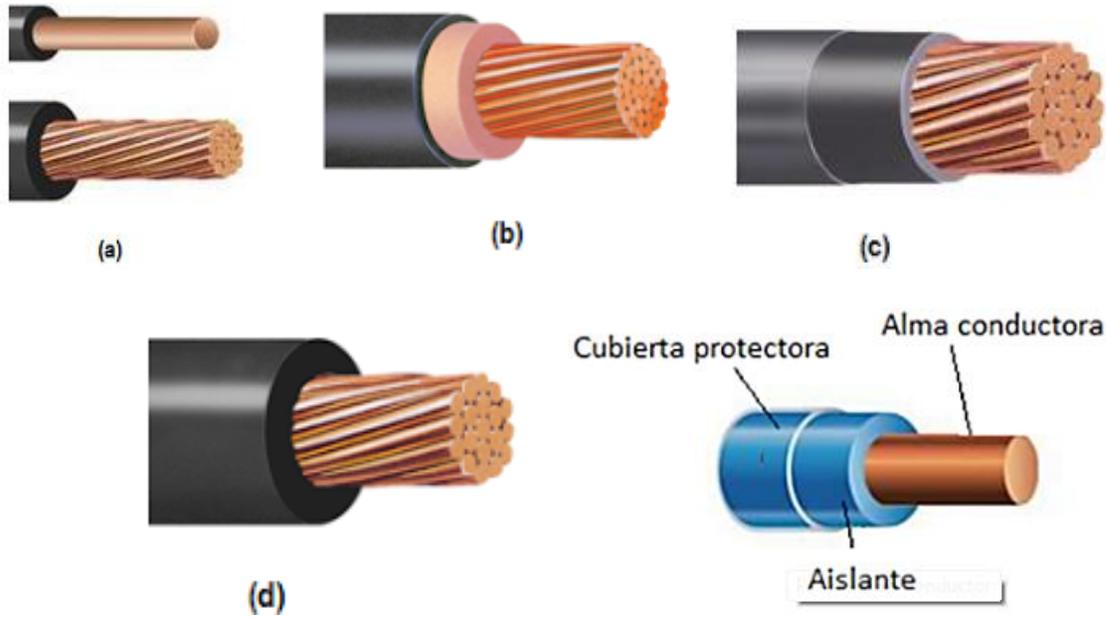
<sup>4</sup> Incluye chaqueta integral.

<sup>5</sup> Para la limitación de corriente admisible, ver 340,80.

<sup>6</sup> Espesor del aislamiento se permitirá utilizar Ø de 2,03 mm (80 milésimas de pulgada) para conductores tipo de uso mencionadas aquí que han sido objeto de investigaciones especiales. La cubierta no metálica sobre los conductores recubiertos de goma individuales de cable de aluminio con cubierta y de la cubierta de plomo o no se requiere un cable multiconductor para ser retardador de llama. Para el tipo de cable MC, consulte 310.104. Para el cable no metálico con cubierta, véase el artículo 334. Parte III. Para el tipo de cable UF, véase el artículo 340. Parte III.

Fuente: NEC 2011. Artículo 310,106 Conductores. p. 354. Consulta: 02 de septiembre de 2016.

Figura 161. Tipos de forro aislante para conductores eléctricos



- a) Cable TW/THW/THHW
- b) Cable RHH/RHW
- c) Cable THHN/THWN
- d) Cable XHHW

Fuente: [faradayos.blogspot.com.es/2013/12/características-cables-conductores.html](http://faradayos.blogspot.com.es/2013/12/características-cables-conductores.html).

Consulta: 02 de septiembre de 2016.

Los conductores estarán manufacturados bajo las normas ASTM: B2, B3, B8 y B787.

Selección de conductores eléctricos: cada tipo de conductor, de acuerdo a su construcción y tipo de aislamiento, tiene propiedades específicas que lo diferencian de otros, pero en el momento de la selección del conductor se deberá considerar los agentes que los afectan durante su operación y que se puedan agrupar de la siguiente manera:

- Agentes mecánicos
- Agentes químicos
- Agentes eléctricos

Agentes mecánicos: la mayoría de los daños mecánicos que sufren los conductores son ocasionados por el operador o por agentes externos, como el desempaque, manejo e instalación de los mismos. Los aspectos que afectan mecánicamente a los conductores, se agrupan de la siguiente manera:

Presión mecánica: la colocación de objetos pesados sobre el conductor, que puede causar deformaciones permanentes en el aislamiento, disminuye el espesor del mismo por lo que se pueden producir rasgaduras y provocar fallas eléctricas futuras.

Alargamiento: los reglamentos de normas de instalaciones eléctricas marcan que deben existir más de dos dobleces a 90 grados en tubo de 3 metros, ya que cuando se tiene un número mayor de dobleces se puede presentar el fenómeno de elongación o alargamiento o, bien cuando se excede la cantidad de conductores dentro de un tubo de diámetro determinado y se ignora la capacidad de relleno que se debe mantener; todo esto, debido al esfuerzo de tracción mecánica que deben soportar los conductores para introducirlos dentro del ducto.

La fuerza de tiro durante el cableado es un elemento dentro de los agentes mecánicos que se debe considerar en el momento de decidir las distancias entre registros de cajas, los recorridos verticales y en general cualquier obstáculo que provoque una tensión mecánica en el conductor a la hora de instalarlo. La fuerza máxima que puede aplicarse antes de producir alargamiento o rotura en los cables depende del tipo de conductor utilizado.

La tensión mecánica que se puede aplicar en los conductores depende del temple de los mismos. Este temple puede ser suave cuando el cobre ha sido recocido, semiduro y duro cuando los conductores se han logrado por estirado en frío de un cobre recocido. Los conductores forrados para instalaciones eléctricas interiores y subterráneas son de cobre recocido, que tiene una conductividad eléctrica más alta que los duros o semiduros.

Si los conductores se someten durante el proceso de cableado a fuerzas descontroladas y superiores a un límite predeterminado, puede cambiar su temple y por eso su resistencia eléctrica, además, puede deformarse y así incrementar su resistencia por reducción del área.

Abrasión: se presenta normalmente cuando se introducen los conductores a las canalizaciones y estas están mal preparadas conteniendo rebabas o rebordes punzo cortantes, también durante el cambio de los conductores en obras civiles semiterminadas.

Agentes químicos: un conductor se encuentra sujeto al ataque de agentes químicos que pueden ser muy variados y dependen de los contaminantes que se encuentran en el ambiente de la instalación. Los agentes químicos contaminantes se pueden identificar en los siguientes tipos:

- Agua o humedad
- Hidrocarburos
- Ácidos
- Alcalisis

La falla que se manifiesta por agentes químicos en los conductores es la reducción del área o espesor del aislamiento, como grietas y seguidamente el desprendimiento del mismo en escamas.

Agentes eléctricos: la habilidad de los conductores en circuitos de baja tensión se mide por la rigidez dieléctrica del aislamiento, es la que determina las condiciones de operación, manteniendo sus características a la diferencia de potencial requerida dentro de los límites establecidos por las normas de seguridad, lo que permite soportar cargas transitorias e impulsos provocados por cortos circuitos.

También dentro de los agentes eléctricos existen los efectos provocados por los armónicos de orden como la tercera armónica en sus múltiplos de 3, ya que este efecto ocasiona que la corriente circulante en el neutro se sume en un sistema trifásico. Esto provoca el efecto de una sobrecorriente, si los conductores eléctricos no están bien dimensionados, y ocasiona daño al mismo.

Por lo general, la habilidad eléctrica de los aislamientos para conductores en servicio en baja tensión es mucho mayor que la necesaria para trabajar a niveles de tensión del orden de los 600 voltios, que es la tensión máxima a que se especifican. Esto hace difícil que los conductores empleados en instalaciones de baja tensión fallen por sobrevoltaje, en la mayoría de los casos fallan por aumento de temperatura debido a sobrecargas permanentes o deficiencia de protección en caso de corto circuito.

No se deberá permitir trabajar al conductor con temperaturas que lleguen a la temperatura límite y mucho menos excedan la temperatura de resblandecimiento de aislante bajo régimen permanente.

Para seleccionar los conductores primero se deberá revisar la capacidad térmica del aislante tomando en cuenta la temperatura ambiente y el calentamiento que tendrá el conductor por efecto Joule. En segundo término, cuando se selecciona por regulación se toma en cuenta el calibre o sección transversal del conductor y el forro pasa a un lugar secundario.

En la figura 176 se observará que la selección del calibre para el conductor que llevará la corriente a un dispositivo específico. Debe realizarse tomando en consideración los siguientes criterios:

- a) La capacidad de carga de transporte del conductor en amperios
- b) La caída de voltaje de regulación
- c) Análisis económico

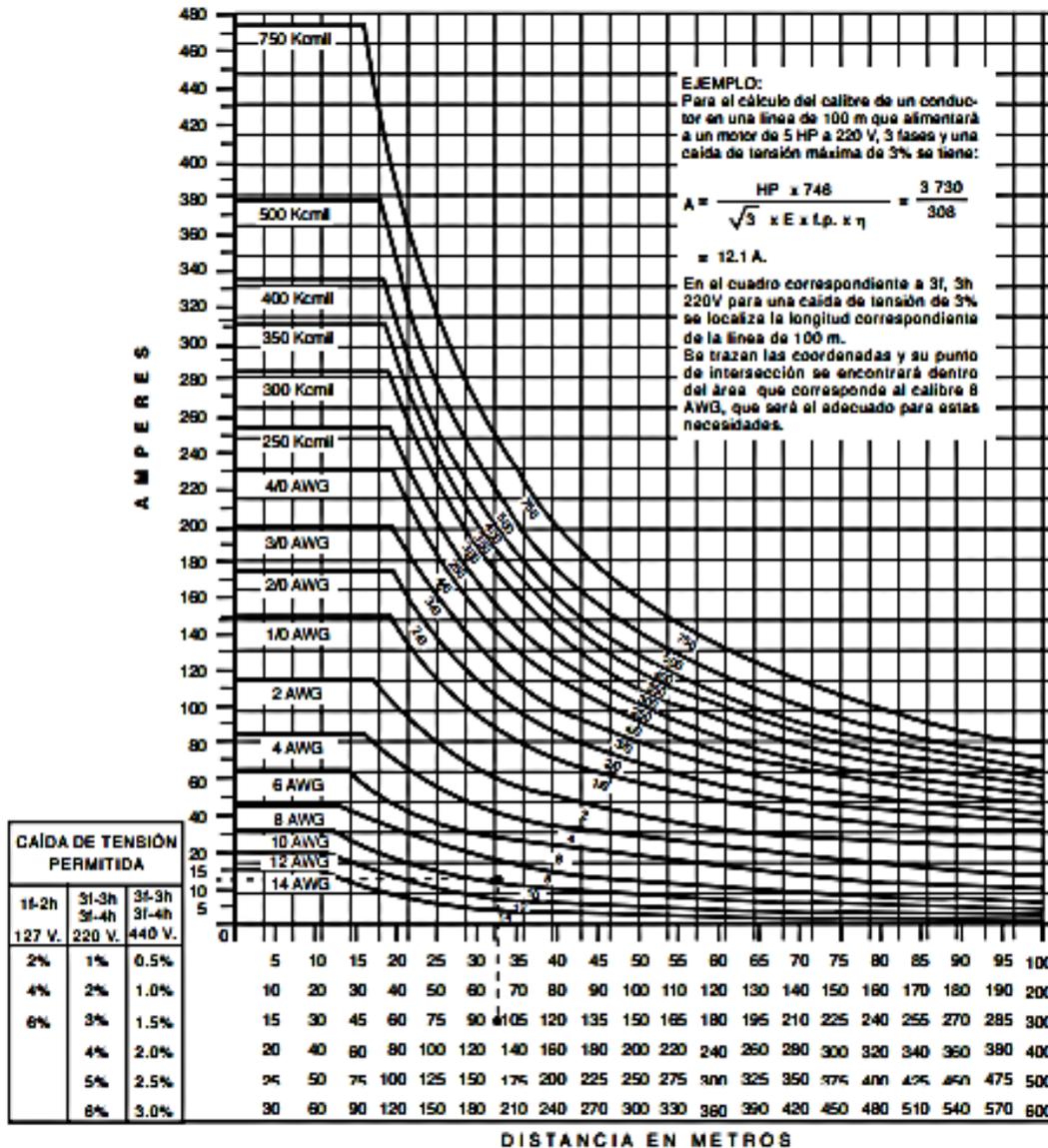
Para realizar el cálculo de conductores por su capacidad de transporte y de regulación, se utilizarán las siguientes fórmulas:

Tabla CXLII. **Fórmulas para el cálculo de conductores eléctricos**

<b>Fórmula</b>	<b>Descripción</b>
$V = I \cdot R$	V = Voltaje de operación (voltios)
$P = V \cdot I \cdot \cos\phi$	I = Corriente eléctrica (amperios)
$P = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\phi$	R = resistencia ( $\Omega$ )
$R = l / (a \cdot k)$	P = Potencia eléctrica (Watts)
$e = (I \cdot l) / (a \cdot k)$	Cos $\phi$ = Factor de potencia = 0,80
	l = longitud en metros: $l = 2 \cdot d$ para circuitos monofásicos y $l = \sqrt{3} \cdot d$ para circuitos trifásicos
	a = Sección transversal en mm <sup>2</sup> o circular mils
	k = Conductividad del cobre $K = 57 \text{ m } / \Omega \cdot \text{mm}^2$
	e = Porcentaje de caída de tensión

Fuente: Norma NFPA 70, NEC, 2011.

Figura 162. Gráficas de caída de tensión en conductores de cobre aislados tipo: THW, THHW, THWN y RHW



NOTAS:

- 1.- El factor de potencia considerado en el cálculo de la gráfica es de 0.8
- 2.- Los valores de capacidad de conducción de corriente están tomados de la tabla 310-16 de la Norma NOM-001-SEDE, para cables de tres conductores o tres conductores activos en una canalización, tipos THW, THHW, THWN y RHW a una temperatura ambiente de 30°C.
- 3.- Los valores de resistencia se tomaron a 75°C y los de la reactancia, se determinaron de la tabla 1.2, página 98 del Industrial Power Handbook de Donald Beeman, para tres cables de 600 volts en tubo (conduit) metálico.

Fuente: [www.viakon.com/manuales/Manual%20Electrico%20Viakon%20-%20Capitulo%202.pdf](http://www.viakon.com/manuales/Manual%20Electrico%20Viakon%20-%20Capitulo%202.pdf).  
 Conductores eléctricos. p. 58/84. Consulta: 05 de septiembre de 2016.

Tabla CXLIII. **Clave de alambrado utilizado para la instalación de conductores eléctricos en el centro hospitalario**

Clave de alambrado		Clave de alambrado	
A	2#10 THHN + 1#12 THHN EN Ø ¾"; EMT	O	5#14 THHN EN Ø ½"; EMT
B	2#12 THHN + 1#14 THHN EN Ø ½"; EMT	P	4#12 THHN + 1#14 THHN EN Ø ½"; EMT
C	3#14 THHN EN Ø ½"; EMT	Q	3#8 THHN + 1#10 THHN EN Ø 1"; EMT
D	2#10 THHN + 2#12 THHN EN Ø ¾"; EMT	R	3#6 THHN + 1#8 THHN EN Ø 1"; EMT
E	2#12 THHN + 2#14 THHN EN Ø ½"; EMT	S	3#4 THHN + 1#8 THHN EN Ø 1 ¼"; EMT
F	3#12 THHN + 1#14 THHN EN Ø ½"; EMT	T	2#6 THHN + 1#10 THHN EN Ø ¾"; EMT
G	4#14 THHN EN Ø ½"; EMT	U	7#14 THHN EN Ø ½"; EMT
H	2#12 THHN + 3#14 THHN EN Ø ½"; EMT	V	6#14 THHN EN Ø ½"; EMT
I	2#4 THHN + 1#8 THHN EN Ø 1"; EMT	W	7#12 THHN + 1#14 THHN EN Ø ¾"; EMT
J	3#10 THHN + 1#12 THHN EN Ø ¾"; EMT	X	2#12 THHN + 6#14 THHN EN Ø ½"; EMT
K	2#8 THHN + 1#10 THHN EN Ø ¾"; EMT	Y	5#12 THHN + 1#14 THHN EN Ø ½"; EMT
L	1#12 THHN + 5#14 THHN EN Ø ½"; EMT	Z	2#12 THHN + 4#14 THHN EN Ø ½"; EMT
M	1#12 THHN + 4#14 THHN EN Ø ½"; EMT	AA	4#8 THHN + 1#10 THHN EN Ø 1"; EMT
N	1#12 THHN + 3#14 THHN EN Ø ½"; EMT	R'	3#6 THHN + 1#8 THHN EN Ø 1"; EMT
Ñ	3#12 THHN + 2#14 THHN EN Ø ½"; EMT	S'	3#2 THHN + 1#6 THHN EN Ø 1"; EMT
F'	4#12 THHN EN Ø ½"; EMT	P'	4#12 THHN + 2#14 THHN EN Ø ½"; EMT

Fuente: elaboración propia.

En la tabla CXLIII se ha clasificado por clave la cantidad de conductores eléctricos, calibre, tipo de aislante, diámetro de la canalización, con la finalidad de realizar en una forma más compacta los planos para la instalación eléctrica.

En el caso de la clave “A” 2#10 THHN + 1#12 THHN en Ø ¾”, nos indica dos conductores eléctricos calibre número 10: Fase y neutro, y un conductor calibre # 12 para tierra física en tubería de diámetro ¾”. Dentro de tubería del tipo EMT.

#### 4.4.1. Canalizaciones eléctricas

Es el conjunto de uno o más conductores eléctricos y los elementos que aseguran su fijación, protección mecánica, contra la contaminación química, altas temperaturas y la humedad. A la vez, protegen la instalación inmueble contra riesgo de incendio por arcos que se puedan presentar en la misma; también la distribución en forma uniforme y acomodo del cableado en la instalación. Los artículos del NEC que deberán cumplirse para realizar las canalizaciones eléctricas dentro del centro hospitalario serán los siguientes:

Tabla CXLIV. **Artículos del NEC que se utilizarán para las canalizaciones eléctricas**

Artículo	Descripción
342	Tubería metálica intermedia tipo (IMC)
344	Tubería rígida de metal tipo (RMC)
348	Tubería flexible de metal tipo (FMC)
350	Tubería metálica flexible resistente a líquidos tipo (LFMC)
352	Tubería rígida de cloruro de polivinilo tipo (PVC)
353	Tubería de polietileno de alta densidad tipo (HDPE)
358	Tubería metálica eléctrica tipo (EMT)
362	Tubería eléctrica no metálica tipo (ENT)
366	Canales auxiliares
372	Canalizaciones celulares piso de concreto
392	Bandeja porta cables

Fuente: elaboración propia.

Dentro de los medios de canalización utilizados tenemos:

- Tuberías
- Canales auxiliares
- Bandejas de cables

Tuberías: la longitud de los tramos de tubería metálica, así como los de PVC eléctrico son de 3,05 metros (10 pies), ya sean del tipo roscado para los tubos de pared gruesa y no roscados para los tubos de pared delgada. Dentro de los diferentes tipos de tuberías se utilizarán en el centro hospitalario las que se presenta a continuación.

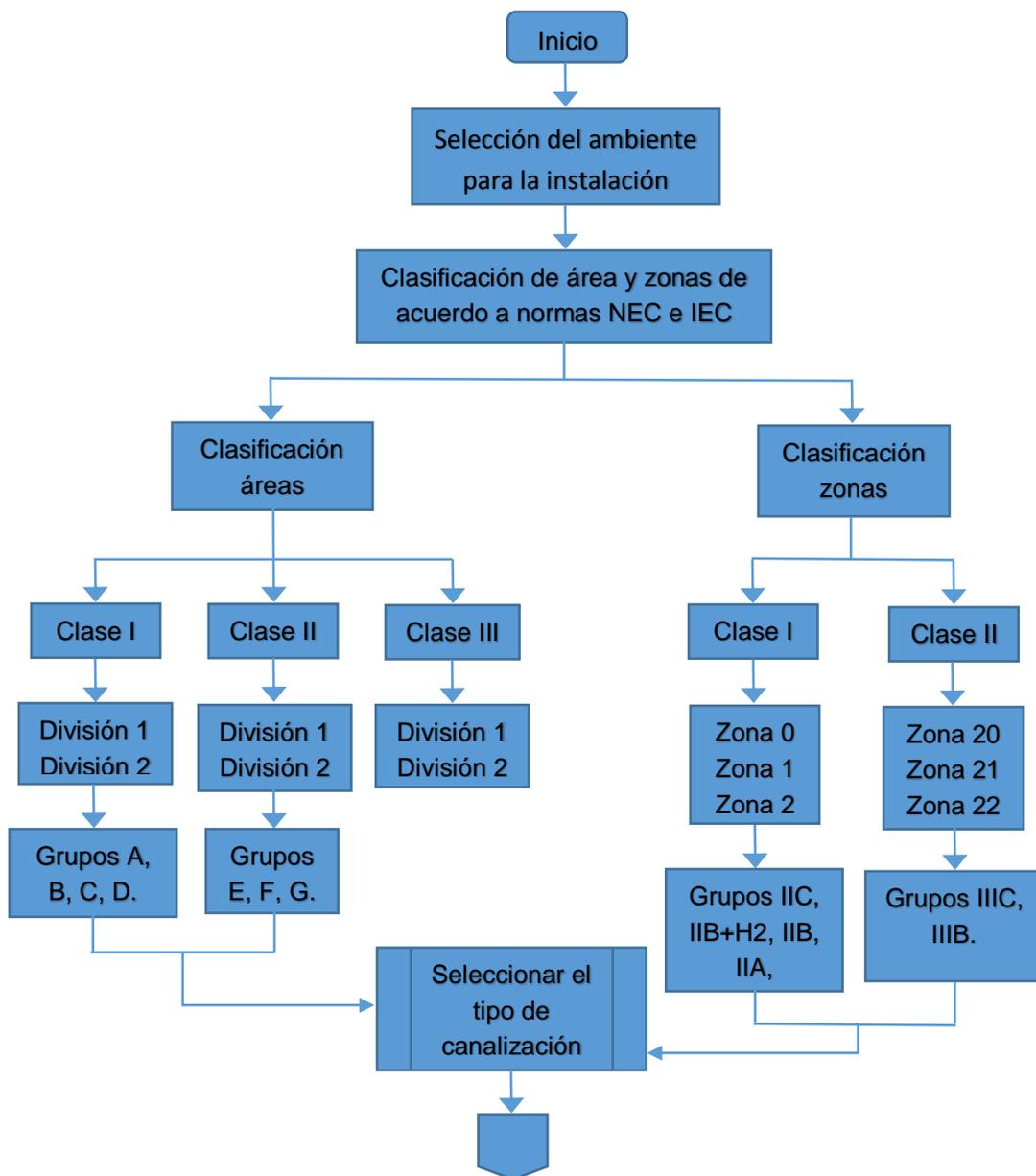
#### **4.4.2. Conductos en media y baja tensión**

Tubería intermedia de metal (IMC). Un conducto metálico intermedio (IMC) es más delgado de paredes y más ligero en peso que los conductos de metal rígido, y es satisfactorio para usos en todos los lugares donde se permite el conducto metálico rígido (RMC) para ser utilizado. Acoplamientos roscados, conectores, etc., son intercambiables entre IMC y RMC. Racores sin rosca para IMC son apropiados sólo para el tipo de conducto indicado por el marcaje de la caja.

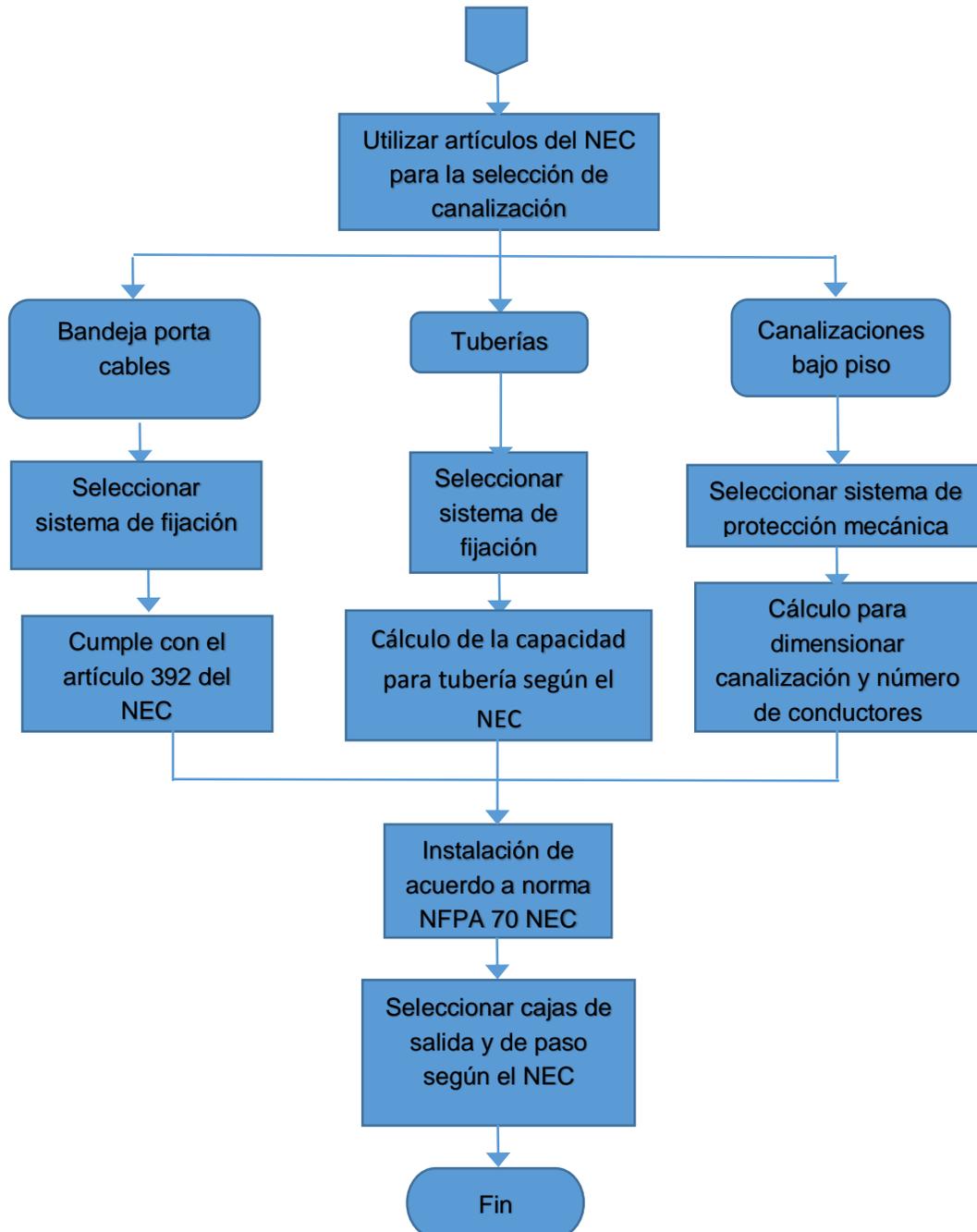
Se define la tubería (IMC) como una tubería de acero roscada de una sección transversal circular diseñada para la protección física y el enrutamiento de conductores y cables, para su uso como un conductor de puesta a tierra cuando se instala con su acoplamiento integral o asociado y los accesorios apropiados.

Este tipo de tubería está definida también como tubo *conduit* galvanizado de acero, el cual está diseñado para proteger cables eléctricos.

Figura 163. **Diagrama de flujo para la selección de canalizaciones eléctricas**



Continuación figura 163.



Fuente: elaboración propia.

Para instalaciones industriales, en áreas clasificadas como las de clase 1, división 1 y 2 de la norma NEC y en zonas de ambiente corrosivo.

En el caso del centro hospitalario se utilizará este tipo de tubería para la acometida eléctrica en media tensión, de acuerdo con los requerimientos normativos de la EEMQ Y EEGSA.

Las tuberías se fabricarán con aceros e insumos cuidadosamente seleccionados, aplicando los procesos de conformado en frío y electrofusión (ERW). El sistema de aseguramiento de calidad aplicado se deberá regir bajo los lineamientos de la norma ISO.9002, el cual estará certificado por *Bureau Veritas* Internacional y certificados UL.

Tabla CXLV. **Dimensiones para tubería IMC o RMC**

DIAMETRO NOMINAL NPS	RIGID METAL CONDUIT ANSI C 80.1 (NTC-171); UL 6			INTERMEDIATE METAL CONDUIT IMC ANSI C 80.6 (NTC-169); UL 1242				
	DIAMETRO EXTERIOR (Pulg.)	ESPESOR DE PARED (Pulg.)	PESO TUBO 3 M (Kg)	DIAMETRO EXTERIOR		ESPESOR DE PARED		PESO TUBO 3 M (Kg)
				MAXIMO (pulg.)	MINIMO (Pulg.)	MAXIMO (pulg.)	MINIMO (Pulg.)	
1/2"	0.840	0.104	3.930	0.820	0.810	0.085	0.070	3.090
3/4"	1.050	0.107	5.170	1.034	1.024	0.090	0.075	4.070
1"	1.315	0.126	7.600	1.295	1.285	0.100	0.085	5.740
1 1/4"	1.660	0.133	10.270	1.645	1.630	0.105	0.085	7.508
1 1/2"	1.900	0.138	12.270	1.890	1.875	0.110	0.090	9.180
2"	2.375	0.146	16.370	2.367	2.352	0.115	0.095	12.155
2 1/2"	2.875	0.193	25.710	2.867	2.847	0.160	0.140	20.510
3"	3.500	0.205	33.480	3.486	3.466	0.160	0.140	25.070
4"	4.500	0.225	47.510	4.476	4.456	0.160	0.140	32.530
6"	6.625	0.266	83.110	-	-	-	-	-

Fuente: [www.cobal.com](http://www.cobal.com). Tubos conduit galvanizados de acero. p. 2.

Consulta: 05 de septiembre de 2016.

Tubería de metal rígido (RMC). Es una tubería de sección transversal circular diseñada para la protección física y el enrutamiento de conductores y cables, y para su uso como un conductor de puesta a tierra cuando se instala con un acoplamiento integral y asociados y los accesorios apropiados. El RMC se hace generalmente de acero (ferroso) con revestimientos de protección o de aluminio (no ferrosos). Tipos de uso especial son latón rojo y acero inoxidable.

Para realizar la unión de dos tramos de tubería IMC y RMC roscada, se utilizará las coplas o uniones, las cuales se pueden instalar al igual que la tubería también en interiores y exteriores. Se recomienda en instalaciones eléctricas industriales de tipo sobrepuesta, a la intemperie o permanentemente húmedas. La empresa eléctrica que suministrará el servicio, obliga que los ductos sean del tipo IMC o RMC para la acometida eléctrica a instalar en media tensión.

Figura 164. **Coplas o uniones para tubería rígida de acero**



N.º de cat.	Medida	Empaque	Peso en lb por 100
RC50	½"	10	12
RC75	¾"	10	18
RC100	1"	10	29
RC125	1¼"	5	38
RC150	1½"	5	52
RC200	2"	5	69
RC250	2½"	2	181
RC300	3"	1	220
RC350	3½"	1	377
RC400	4"	1	298
RC500	5"	1	477
RC600	6"	1	684

Fuente: [www.crouse-hinds.com](http://www.crouse-hinds.com). Accesorios para tuberías rígidas/intermedias. p. 18.  
Consulta: 05 de septiembre de 2016.

Las curvas o codos rígidos de acero para tuberías IMC y RMC se utilizarán en conjunto con coplas rígidas para realizar curvas a 45° o 90° entre dos tramos de tubería roscada.

Características: la curvatura de la tubería se usa para realizar un ensamblaje apropiado en lugares específicos o para girar o cambiar el sentido del recorrido de la instalación. En usos subterráneos se recomienda la aplicación de un recubrimiento de concreto de 10 cm en la parte inferior y superior de la curvatura y tubería en general, para una protección mecánica adicional y de esta manera evitar daños a los conductores eléctricos instalados internamente.

Figura 165. Curvas para tubería IMC o RMC a 45° o 90°



N.º de cat.	Medida	Empaque	Peso en lb por 100
<b>Codo de 90 grados</b>			
RLB5090	½"	50	76
RLB7590	¾"	50	113
RLB10090	1"	20	197
RLB12590	1¼"	20	312
RLB15090	1½"	10	440
RLB20090	2"	10	660
RLB25090	2½"	1	1180
RLB30090	3"	1	1650
RLB35090	3½"	1	2700
RLB40090	4"	1	3300
<b>Codo de 45 grados</b>			
RLB5045	½"	50	70
RLB7545	¾"	50	103
RLB10045	1"	25	161
RLB12545	1¼"	20	236
RLB15045	1½"	15	306
RLB20045	2"	10	470
RLB25045	2½"	1	800
RLB30045	3"	1	1301
RLB35045	3½"	1	1601
RLB40045	4"	1	2101

Fuente: www.crouse-hinds.com. Accesorios para tuberías rígidas/intermedias. p. 18.  
Consulta: 05 de septiembre de 2016.

Los sistemas de tubería IMC o RMC se instalan como un sistema completo de acuerdo con el artículo 300,18 del NEC. Se deberá sujetar firmemente en su lugar y con el apoyo de conformidad con lo siguiente.

- Quedará perfectamente sujeta. RMC se deberá sujetar con seguridad dentro de 900 mm (3 pies) de cada caja de salida, caja de conexiones, caja del dispositivo, gabinete, cuerpo conducto, u otra terminación del conducto. No se permitirá la atadura que aumentarse a una distancia de 1,5 m (5 pies), donde los miembros estructurales no permiten una inmediata sujeción a 900 mm (3 pies). Si está aprobada, no se requerirá conducto para estar bien afianzados a 900 mm (3 pies) de la cabeza del servicio de terminación por encima de la azotea de un mástil.
- Soportes: la tubería RMC se apoyará con una de las siguientes condiciones:
- El conducto estará soportado en intervalos no superiores a 3 m (10 pies).
- La distancia entre apoyos para tramos rectos de conducto se permitirá de acuerdo con la tabla CLXIV, siempre que el conducto sea compuesto de acoplamientos roscados y dichos soportes a prevenir la transmisión de esfuerzos a la terminación, donde el conducto se desvía entre apoyos.

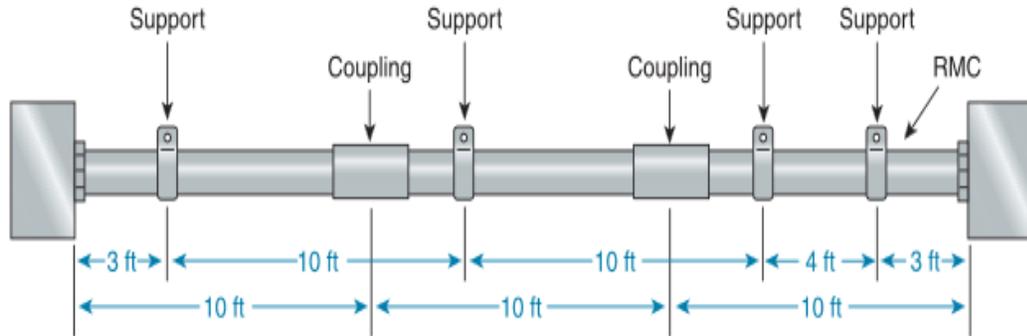
- Se permitirá montantes verticales presentan por orden de maquinaria industrial o equipos fijos para ser soportado a intervalos no superiores a 6 metros (20 pies) si el conducto se compone de acoplamientos roscados, el conducto está soportado y asegurado en la parte superior e inferior del tubo de subida, y no hay otro medio de soporte intermedio está fácilmente disponible.
- Se permitirá tramos horizontales de RMC con el apoyo de aberturas a través de los elementos del bastidor, a intervalos no superiores a 3 metros (10 pies) y aseguradas dentro de 900 mm (3 pies) de los puntos de terminación.

Tabla CXLVI. **Soportes para tuberías tipo IMC o RMC rígidas roscadas**

Diámetro de la tubería		Distancia máxima entre apoyos para tubería de metal rígido	
Designación métrica (mm)	Tamaño pulgadas	metros	pies
16 – 21	½ - ¾	3,00	10,00
27	1	3,70	12,00
35 – 41	1 ¼ - 1 ½	4,30	14,00
53 – 63	2 – 2 ½	4,90	16,00
78 y más grande	3 y más grande	6,10	20,00

Fuente: NEC 2011. Artículo 344. p. 419. Consulta: 05 de septiembre de 2016.

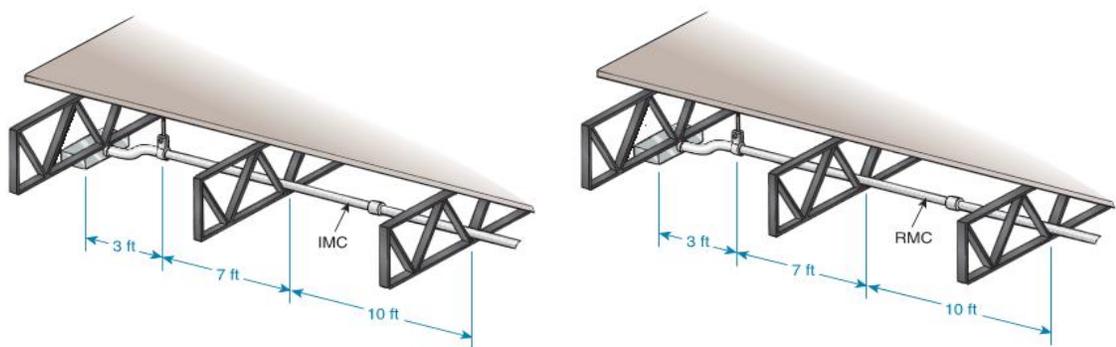
Figura 166. **Apoyo mínimo requerido para tubería IMC o RMC rígida**



Fuente: NEC 2011. Artículo 344. p. 419. Consulta: 05 de septiembre de 2016.

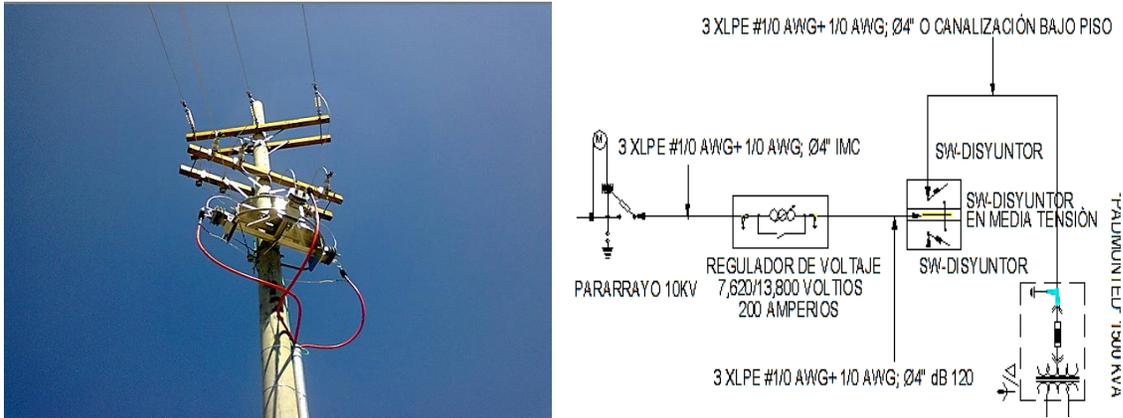
En la figura 166 se indica las distancias máximas a las que se deberá instalar un soporte para la tubería de acuerdo al diámetro de la misma, utilizando en el soporte, abrazaderas del tipo hanger, unicanal, tipo horquilla “SLC” (*Speed Lock Clevis*), colgadores articulados, colgadores con casquillo, en combinación con varillas roscadas y anclas de 3/4”, 1/2” y 5/8” para instalación en losas, según el peso por tubería en cada tramo y para instalación aérea.

Figura 167. **Tuberías IMC o RMC con el apoyo de los elementos del bastidor y bien fijado a la distancia de 3 pies de la caja**



Fuente: NEC 2011. Artículo 344. p. 420. Consulta: 05 de septiembre de 2016.

Figura 168. **Utilización de tubería IMC en el centro hospitalario**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Tubería metálica flexible tipo FMC: se define como un conducto flexible metálico (FMC). Es una tubería de sección transversal circular de forma helicoidal, formada por fleje de acero o aluminio engargolado resistente a la corrosión.

Figura 169. **Tubería tipo FMC**



Fuente: [www.nema.org](http://www.nema.org). Guía de aplicación e instalación para tubos metálicos flexibles y tubos metálicos flexibles herméticos a los líquidos NEMA RV 3. p. 4.

Consulta: 06 de septiembre de 2016.

Es conocido también como tubo flexible (BX). Se utiliza en aplicaciones en las cuales no puede usarse tubería rígida, en donde se necesite realizar muchos ángulos o formas caprichosas, ya que se adapta fácilmente a las necesidades de espacio. Es ideal para instalaciones de motores eléctricos o máquinas, debido a que puede absorber sin problemas vibraciones originadas por éstos. En el centro hospitalario será utilizado para la unión de sectores en los módulos de los edificios en las juntas de dilatación. Este tipo de tubería debe ser alambrada antes de ser instalado. Se permite utilizarlo en lugares expuestos y ocultos.

No podrá ser instalado en los siguientes casos:

- En lugares húmedos
- En ductos para ascensores, excepto lo permitido en la sección 620,21(a)(1) del NEC
- En cuartos para baterías de acumuladores
- En lugares clasificados peligrosos, excepto lo permitido en las secciones 501-4(b) y 504-20 del NEC
- Cuando esté expuesto a materiales que puedan producir el deterioro de los conductores instalados, como aceite o gasolina
- Subterráneo o empotrados en lechada de hormigón o de áridos
- Cuando esté expuesto a daños físicos

El número de conductores permitidos en un tubo de metal flexible no deberá superar el porcentaje establecido en la tabla CXLVII. Terminación de la tubería: todos los extremos cortados serán recortados o acabados de tal forma para eliminar los bordes ásperos, salvo en accesorios que utilizan hilo en las circunvoluciones.

Tabla CXLVII. **Número máximo de conductores aislados en un tubo de metal flexible de 3/8”**

Tamaño AWG	Tipos RFH-2, SF-2		Tipos TF, XHHW, TW		Tipos TFN, THHN, THWN		Tipos FEP, FEBP, PF, PGF	
	Adecuado en interior de la tubería	Adecuado en exterior de la tubería	Adecuado en interior de la tubería	Adecuado en exterior de la tubería	Adecuado en interior de la tubería	Adecuado en exterior de la tubería	Adecuado en interior de la tubería	Adecuado en exterior de la tubería
18	2	3	3	5	5	8	5	8
16	1	2	3	4	4	6	4	6
14	1	2	2	3	3	4	3	4
12	---	---	1	2	2	3	2	3
10	---	---	1	1	1	1	1	2

Fuente: NEC 2011. Artículo 348. p. 422. Consulta: 06 de septiembre de 2016.

Figura 170. **Utilización de tubería FMC**



Fuente: elaboración propia.

Tubería metálica flexible resistente a los líquidos: conocida también como tubería "LT" (*LIQUID-TIGHT*), es una tubería de sección transversal circular que tiene una chaqueta aislante impermeable a los líquidos, no metálica resistente a la luz solar exterior, sobre un núcleo de metal flexible interior con acoplamientos asociados, conectores y accesorios para la instalación de conductores eléctricos.

Se permite utilizar tubería metálica flexible resistente a los líquidos en instalaciones expuestas u ocultas bajo las siguientes condiciones:

- Cuando las condiciones de instalación, funcionamiento o mantenimiento requieran flexibilidad o protección contra líquidos, vapores, o sólidos
- Enterrado directamente, cuando este listado y marcado para este uso
- Empotrado en concreto
- En salas para ordenadores bajo piso elevado aprobado por el NEC en el artículo 645,5 (D)
- Alimentadores y servicios para marina y astilleros
- Ubicaciones peligrosas según el NEC artículo 501
- Apto para conexión a tierra de acuerdo al NEC artículo 250,118 (6)
- La luz del sol y el tiempo de exposición

Usos no permitidos: no se deberá en los siguientes casos:

- Cuando esté expuesto a daños físicos
- Cuando cualquier combinación de temperatura ambiente y de los conductores pueda producir una temperatura de funcionamiento superior a aquella para la que está aprobado el material.

La sección mínima corresponde a  $\varnothing 3/8"$  y la máxima será de 4".

Construcción: la tubería metálica flexible resistente a los líquidos se forma a partir de un revestimiento de zinc galvanizado, banda de acero bajo en carbono que tiene una anchura y espesor uniforme. La construcción se realizará de conformidad con lo indicado en la norma UL 360 y CSA C22.2 No. 56 requisitos.

Contra la humedad, cloruro de polivinilo resistente al aceite y la luz solar (PVC) resistente se aplican directamente sobre el conducto de metal flexible con un espesor de pared de acuerdo con la tabla 4.1 de la norma UL 360.

Figura 171. **Utilización de tubería tipo LFMC**



Fuente: elaboración propia.

Figura 172. **Tubería tipo LFMC**



Fuente: elaboración propia.

Tubería rígida de cloruro de polivinilo tipo (PVC) para uso eléctrico. La tubería rígida de cloro de polivinilo PVC. Es una tubería no metálica rígida de sección circular, con enganches integrales o asociados, conectores y accesorios para la instalación de conductores eléctricos y cables.

Están diseñados para alojar y proteger cables en instalaciones eléctricas que se efectúen de acuerdo a la norma NFPA 70, del código eléctrico nacional de los Estados Unidos (NEC), dentro de los cuales se tiene la tubería rígida tipo pesado cédula 80 y cédula 40 y la del tipo liviano.

Las tuberías del tipo pesado cumplen y estarán certificadas por la norma UL 651, con sus accesorios certificados bajo normas UL 514B y UL 514C. Es un sistema diseñado para uso expuesto ya que es totalmente hermético y resistente al fuego y rayos solares.

Tuberías del tipo liviano, constituidas por *conduit* rígido tipo A que estarán certificadas por la norma UL 651. Para uso, según esta norma, empotrado en concreto en interiores y exteriores de edificaciones. Según comunicado realizado por el CEMI (Colegio de Ingenieros Eléctricos, Mecánicos e Industriales) se puede utilizar sin embeber en concreto e instalaciones ocultas en vivienda unifamiliar únicamente.

Será permitido el uso de tubería tipo PVC para su instalación en los casos siguientes:

- Oculto. Un conducto de PVC se autorizará en las paredes livianas o de bloques, pisos y techos.
- Las influencias corrosivas. Un conducto de PVC se autorizará en los lugares sometidos a ambientes corrosivos severos como cubierta artículo 300,6 del NEC 2001, y si son objeto de las sustancias químicas para las que los materiales están aprobados específicamente.
- Las escorias. Un conducto de PVC se permitirá en el relleno de cemento.
- Los lugares húmedos. Un conducto de PVC se permitirá en partes de las industrias lácteas, lavanderías, fábricas de conservas, u otros lugares húmedos, y en lugares donde las paredes son con frecuencia lavados, todo el sistema de conductos, incluyendo cajas y accesorios utilizados con el mismo, deberá ser instalado y equipado con el fin de evitar que el agua entren en el conducto.

- Todos los soportes, pernos, tirantes, tornillos, etc., deberán ser de materiales resistentes a la corrosión o estar protegidos contra la corrosión por materiales resistentes a la corrosión aprobados. En lugares secos y húmedos. Un conducto de PVC se permitirá para su uso en lugares secos y húmedos no esté prohibido por 352,12 del NEC.
- Expuesto. Se permitirá un conducto de PVC para el trabajo expuesto. Un conducto de PVC utilizado expuestos en zonas de daño físico se identificará por el uso.
- Instalaciones subterráneas. Para instalaciones subterráneas, el PVC se permitirá para el entierro subterráneo directo y empotrado en concreto. Ver artículo 300.5 del NEC 2011.
- El apoyo de los órganos de conducto. Un conducto de PVC se permitirá apoyar a los organismos de conductos no metálicos, no más grandes que el tamaño de la operación más grande de una tubería de entrada. Estos cuerpos de conductos no deberán soportar luminarias u otros equipos y no contendrán dispositivos distintos, dispositivos de empalme según lo permitido en los artículos 110.14 (B) y 314.16 (C) (2) del NEC 2011.
- Las limitaciones de temperatura de aislamiento. Se permitirá conductores o cables clasificados a una temperatura más alta que la temperatura nominal de operación del conducto de PVC para ser instalado en un conducto de PVC, siempre que los conductores o cables no se hagan funcionar a una temperatura más alta que la temperatura nominal de cotización de la tubería de PVC.

La Sección 352.10 (G) del NEC 2011, permite que los productos de PVC que son similares fabricado de manera diferente para ser utilizado tanto para el entierro directo y encierro subterráneo en aplicaciones concretas. Este uso permitido se basa en el requisito del artículo 352,6 del NEC 2011, enumeran usarse conducto y accesorios de PVC homogéneo.

El conducto se construye utilizando una sólida pared de PVC, mientras que un conducto de PVC no homogénea es una construcción de PVC espumado cubierto por una piel o capa externa de PVC sólido.

**Figura 173. Instalación de tubería tipo PVC eléctrico**



Fuente: elaboración propia.

Usos no permitidos: no se deberá instalar tubería PVC en las condiciones siguientes:

- En áreas peligrosas (clasificadas). En cualquier localización peligrosa (clasificada), excepto lo permitido por otros artículos del código (NEC).
- El apoyo de luminarias. Para el apoyo de luminarias u otros equipos que no se describe en el artículo 352,10 (H) del NEC 2011.
- El daño físico. Donde este expuesto a daños físicos a menos que se identifique para tal uso.
- Las temperaturas ambientales. Donde estén sujetos a temperaturas ambiente superiores a 50°C (122°F) que se indique diferente.
- Teatros y otros lugares similares. En teatros y lugares similares, salvo lo dispuesto en el artículo 518.4 y 520.5 del NEC 2011.

Además de las condiciones descritas, los conductos no metálicos no están permitidos para ser instalados en conductos, plenos y otros espacios de tratamiento de aire. Ver artículo 300,22 del NEC 2011, lo que limita el uso de materiales en conductos, plenos y otros espacios de tratamiento de aire que pueden contribuir a generar humo y productos de combustión durante un incendio.

Los diámetros en que se encuentran en el mercado van desde ½" a 6". No se deberá de instalar más de 4 curvas a 90° entre los puntos de extracción, por ejemplo, cuerpos de conductos y cajas. Al realizar cortes en la tubería, todos los extremos cortados deberán ser recortados dentro y fuera para eliminar los bordes ásperos. Seguridad y soporte para tuberías tipo PVC eléctrico:

Un conducto de PVC eléctrico se debe instalar como un sistema completo de acuerdo a lo dispuesto en el artículo 300.18 del NEC 2011 y deberá ser fijado de modo que se permita movimiento de expansión o contracción térmica. Un conducto de PVC deberá estar sólidamente fijado y apoyado de acuerdo con lo indicado en el artículo 352.30 (A) y (B) del NEC.

(A) Quede perfectamente sujeto. Un conducto de PVC para uso eléctrico se debe sujetar con seguridad dentro de 900 mm (3 pies) de cada caja de salida, caja de conexiones, caja del dispositivo, el cuerpo del conducto, u otra terminación del conducto. Conducto aprobado para conseguir al otro de 900 mm (3 pies), estará autorizado para ser instalados de acuerdo con la lista.

(B) Soporte. Un conducto de PVC eléctrico deberá ser apoyado como se requiere en la tabla CLXVII. Conducto aprobado por el apoyo a distancias diferentes a como se muestra en la tabla CLXVII se permitirá que se instale de acuerdo con el listado. Se permitirán tramos horizontales de un conducto de PVC eléctrico con el apoyo de aberturas a través de los elementos del bastidor, a intervalos no superiores a los de la tabla CLXVII y aseguradas a 900 mm (3 pies) de los puntos de terminación.

**Tabla CXLVIII. Soporte para tubería de cloruro de polivinilo rígido (PVC)**

Tamaño de la tubería		Distancia de espaciamiento máximo entre apoyos	
Diámetro mm	Diámetro pulgadas	mm o metros	Pies
16 - 27	½ - 1	900,0 mm	3,00
35 - 53	1 ¼ - 2	1,5 m	5,00
63 - 78	2 ½ - 3	1,8 m	6,00
91 - 129	3 ½ - 5	2,1 m	7,00
155	6	2,5 m	8,00

Fuente: NEC 2011. Artículo 352. p. 430. Consulta: 07 de septiembre de 2016.

Accesorios de expansión para un conducto de PVC uso eléctrico se proporcionarán para compensar la expansión y contracción térmica cuando, de conformidad con la tabla CXLIX, se espera que el cambio de longitud a ser de 6 mm (1/4 pulgada) o más en un tramo recto entre los elementos montados de forma segura como cajas, armarios, codos, u otras terminaciones de conducto.

Cuando en un conducto de PVC eléctrico se presenta un considerablemente mayor cambio en la longitud por cada cambio de grado en la temperatura que los sistemas de canalización de metal, de acuerdo al artículo 352.44 del NEC 2011, requiere accesorios de expansión para las variaciones de temperatura específicos. En algunas áreas, al aire libre variaciones de temperatura de más de 100 ° F son comunes. De acuerdo con la tabla CXLIX, un 100-ft racha de PVC rígido no metálico conducto va a cambiar en 4.06. De longitud si el cambio de temperatura es de 100°F. Vea el ejemplo siguiente comentario 300.7 (B).

El rango permisible de expansión para muchos acoplamientos de expansión del conducto de PVC es generalmente 6. Información relativa a la instalación y la aplicación de este tipo de acoplamiento se puede obtener de las instrucciones del fabricante.

Accesorios de expansión rara vez se utilizan bajo tierra, donde las temperaturas son relativamente constantes. Si un conducto de PVC está enterrado o cubierto de inmediato, la expansión y contracción no se consideran un problema.

Dentro de los accesorios para la tubería PVC tipo eléctrico están las curvas a 30°, 45° y 90°, curvas de radio largo, reducción *bushing*, conectores y uniones. Para los cuales se utilizará cemento de contacto tipo PVC.

**Tabla CXLIX. Características de expansión de tubería PVC no metálica rígida coeficiente de la expansión térmica =  $6,084 \times 10^{-5}$  mm/mm/°C ( $3,38 \times 10^{-5}$  in./in./°F)**

Cambio de temperatura °C	Cambio en la longitud de la tubería PVC (mm/m)	Cambio de temperatura °F	Cambio en la longitud de la tubería PVC (pulgadas/100 pies)	Cambio de temperatura °F	Cambio en la longitud de la tubería PVC (pulgadas/100pies)
5	0,30	5	0,20	105	4,26
10	0,61	10	0,41	110	4,46
15	0,91	15	0,61	115	4,66
20	1,22	20	0,81	120	4,87
25	1,52	25	1,01	125	5,07
30	1,83	30	1,22	130	5,27
35	2,13	35	1,42	135	5,48
40	2,43	40	1,62	140	5,68
45	2,74	45	1,83	145	5,88
50	3,04	50	2,03	150	6,08
55	3,35	55	2,23	155	6,29
60	3,65	60	2,43	160	6,49
65	3,95	65	2,64	165	6,69
70	4,26	70	2,84	170	6,90
75	4,56	75	3,04	175	7,10
80	4,87	80	3,24	180	7,30
85	5,17	85	3,45	185	7,50
90	5,48	90	3,65	190	7,71
95	5,78	95	3,85	195	7,91
100	6,08	100	4,06	200	8,11

Fuente: NEC 2011. Artículo 352. p. 430. Consulta: 07 de septiembre de 2016.

Figura 174. **Accesorios para tubería tipo PVC eléctrico**



Fuente: [www.kraloy.com](http://www.kraloy.com). Catálogo: Tubos y accesorios de PVC conduit. Páginas 4, 5, 6 y 7.  
Consulta: 07 de septiembre de 2016.

Tubería de polietileno de alta densidad. (Tipo HDPE). Es una tubería no metálica de sección circular, con acoplamientos asociados, conectores y accesorios para la instalación de conductores eléctricos.

Figura 175. **Tubería de polietileno de alta densidad tipo HDPE**



Fuente: NEC 2011. Artículo 353. p. 432. Consulta: 07 de septiembre de 2016.

El uso de conductos tipo (HDPE) se permite bajo las siguientes condiciones:

- En longitudes discretas o en longitudes continuas desde un carrete.
- En lugares expuestos a influencias corrosivas severas como lo indicado en el artículo 300,6 del NEC y donde para el que aparece el conducto, sujeta a los productos químicos.
- En relleno de cemento.
- En las instalaciones subterráneas directamente en la tierra o concreto.
- En la tierra, salvo que esté prohibido por el artículo 353,12 del NEC donde encerrado en no menos de 50 mm (2 pulgadas) de hormigón.
- Se permitirá conductores o cables clasificados a una temperatura más alta que la temperatura nominal de clasificación para la tubería HDPE para ser instalada en el conducto HDPE, siempre que los conductores o cables no se hagan funcionar a una temperatura más alta que el rango de temperatura que aparece del conducto HDPE.

Usos no permitidos:

- En lugares expuestos
- Dentro de un edificio
- En cualquier localización peligrosa (clasificada), excepto lo permitido por otros artículos del NEC
- Donde estén sujetos a temperaturas ambientes por encima de 50°C (122°F) que se indique diferente

Se fabrican en los siguientes diámetros: Mínimo ½", máximo 6".

El número de conductores no será superior a lo permitido por el porcentaje de relleno especificado en la tabla CL. Para ser instalado cuando tal uso no está prohibido por los respectivos artículos de cable. El número de cables no deberá superar el porcentaje de relleno permisible especificada en la tabla CL.

**Tabla CL. Porcentaje de la sección transversal de conducto y tubos para conductores**

<b>Número de conductores</b>	<b>Todos los tipos de conductores</b>
1	53
2	31
Más de 2	40

Fuente: Capítulo 9. Tablas. p. 1 306. NEC 2011. Consulta: 14 de octubre de 2016.

La tubería de polietileno de alta densidad se compone de polietileno de alta densidad que es resistente a la humedad y químicos atmosféricos. El material deberá ser resistente a la humedad y agentes corrosivos deberán tener la resistencia suficiente para soportar el abuso, como por impacto y aplastamiento, en el manejo y durante la instalación. Cuando se destinen a enterrar directamente, sin recubrimiento de hormigón, el material debe también ser capaz de soportar la carga continua que es probable que se encuentren después de la instalación.

Deberá ser identificado a cada 3,00 metros (10 pies) indicando el tipo de material *HDPE*.

Tubería metálica eléctrica tipo (EMT): es una tubería de pared delgada no roscada de sección transversal circular diseñada para la protección física y el enrutamiento de conductores y cables, y para su uso como un conductor de puesta a tierra cuando se instala utilizando los adaptadores correspondientes. La tubería EMT se hace generalmente de acero (ferroso) con revestimientos de protección o de aluminio (no ferrosos).

Usos permitidos para el tipo de tubería EMT:

- Vista, oculta. No se permitirá el uso de EMT tanto para el trabajo expuesto y oculto.
- Protección contra la corrosión. Feroso o no feroso EMT, codos, acoplamientos y accesorios deben ser permitidos para ser instalado en el hormigón, en contacto directo con la tierra, o en áreas expuestas, a ambientes corrosivos severos donde estén protegidas por protección contra la corrosión y aprobados como adecuados para la condición.
- En lugares húmedos. Todos los soportes, pernos, tornillos, correas, etc. serán de materiales resistentes a la corrosión o estar protegidos contra la corrosión por materiales resistentes a la corrosión.

Usos no permitidos: la tubería tipo EMT no se utilizará en las siguientes condiciones:

- Cuando, durante la instalación o después, será sujeto a daño físico grave.
- Cuando protegido de la corrosión únicamente por el esmalte.

- En concreto de la ceniza o escoria cuando se encuentre en lugares expuestos a la humedad permanente, que no esté protegido por todos lados por una capa de aditivo para hormigón concreta al menos 50 mm (2 pulgadas) de espesor o menos, que el tubo es de al menos 450 mm (18 pulgadas) con el relleno.
- En cualquier localización peligrosa (clasificada), excepto según lo permitido por otros artículos del NEC.
- Para el apoyo de luminarias u otros equipos, excepto los cuerpos de conducto no mayores que el tamaño de la operación más grande de la tubería.
- Donde se evitarán posibles, metales diferentes en contacto en cualquier parte del sistema para eliminar la posibilidad de la acción galvánica.

Se fabrican en diámetros: mínimo  $\frac{1}{2}$ ", máximo 4".

Este tipo de tubería es versátil, debido a que puede ser moldeable a diferentes formas y ángulos, facilitando la trayectoria que se le quiera dar al cableado. Pasan por un proceso de galvanizado; este recubrimiento evita la corrosión y se logra mayor durabilidad. No tienen sus extremos roscados, y utiliza accesorios especiales para acoplamiento y enlace con cajas. En la figura 191 se observa su aplicación.

Su mayor aplicación está para montarse en superficies (zonas visibles). Soportando leves daños mecánicos. Puede estar directamente a la intemperie.

Las curvas se harán de manera que el tubo no sea dañado y el diámetro interno de la tubería no se reduzca de manera efectiva. El radio de la curva de cualquier curvatura de campo a la línea central de la tubería no deberá ser inferior al que se muestra en la tabla CLI para dobleces con dobladores de tubería.

Tabla CLI. **Radio del conducto, tubos y codos**

Conduit or Tubing Size		One Shot and Full Shoe Benders		Other Bends	
Metric Designator	Trade Size	mm	in.	mm	in.
16	½	101.6	4	101.6	4
21	¾	114.3	4½	127	5
27	1	146.05	5¼	152.4	6
35	1¼	184.15	7¼	203.2	8
41	1½	209.55	8¼	254	10
53	2	241.3	9½	304.8	12
63	2½	266.7	10½	381	15
78	3	330.2	13	457.2	18
91	3½	381	15	533.4	21
103	4	406.4	16	609.6	24
129	5	609.6	24	762	30
155	6	762	30	914.4	36

Fuente: Capítulo 9. Tabla 2. p. 1 310. NEC 2011. Consulta: 14 de octubre de 2016.

Para la construcción del centro hospitalario, la tubería del tipo EMT tendrá un porcentaje de utilización del 90%. En la figura 176 se observa su aplicación para la distribución de conductores eléctricos, así como diferentes tipos de soportes para su instalación, con la utilización de riel tipo strut o unicanal, varillas todo rosca, cajas de registro, canal auxiliar y estructura metálica diseñada para soportar diferentes tipos de tuberías.

Figura 176. **Aplicaciones de tubería tipo EMT**



Fuente: elaboración propia.

Para evitar daños en el proceso de instalación en tuberías del tipo EMT se realizará el siguiente procedimiento, denominado escariado y roscado:

- De fresado. Todos los extremos cortados de la tubería EMT serán escariados o acabados de otra forma para eliminar los bordes ásperos.

Además de un escariador, una lima de media caña ha demostrado ser práctica para la eliminación de bordes ásperos. El mango de acero de un par de pinzas de la bomba, la nariz de los alicates de corte lateral, o un cuchillo de electricista puede ser eficaz en los tamaños más pequeños de la EMT también.

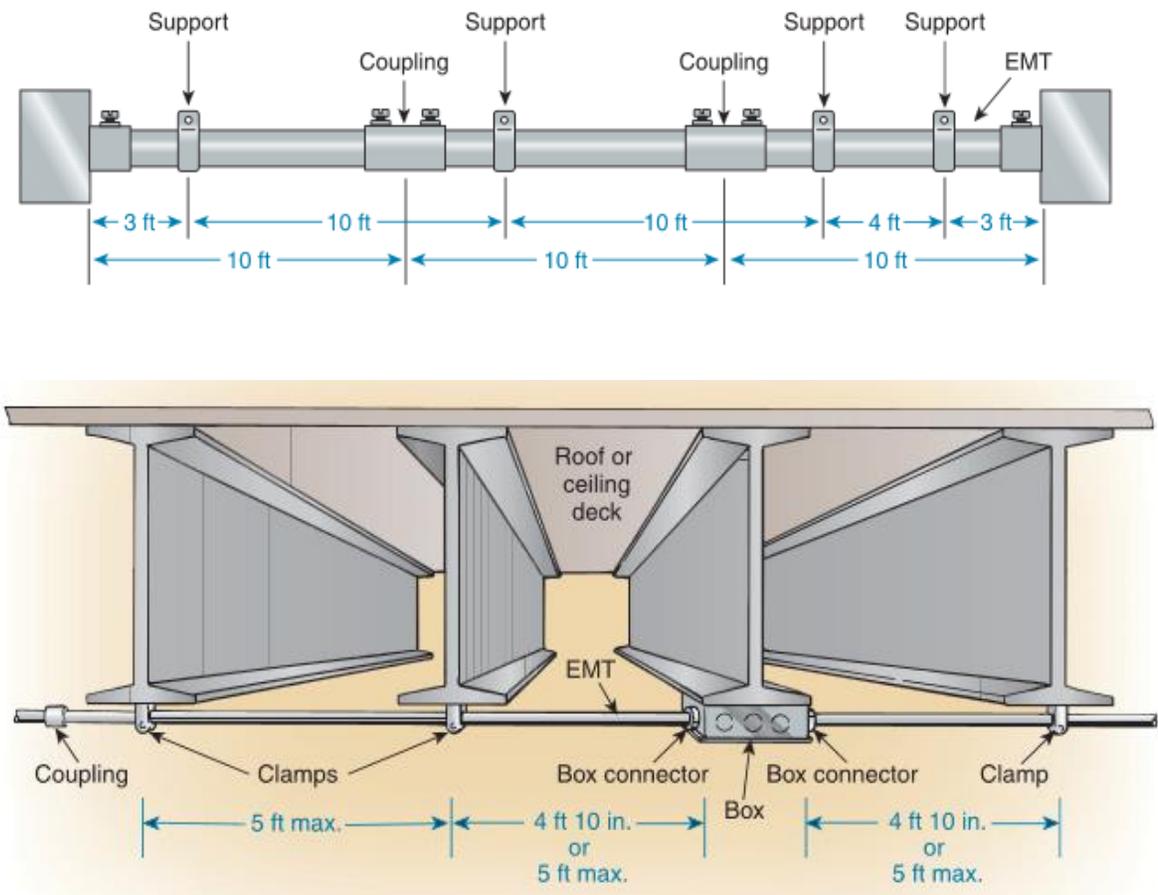
- Rosca: la tubería EMT no deberá ser roscada.

Seguridad y soporte para tubería EMT: se instala como un sistema completo, de acuerdo con el artículo 300.18 del NEC y se debe sujetar firmemente en su lugar y con el apoyo de conformidad con lo indicado en las siguientes secciones (A) y (B):

- A. Afianzados de forma segura. La tubería EMT se debe sujetar firmemente en su lugar por lo menos cada 3 m (10 pies). Además, cada ejecución de EMT entre puntos de terminación se debe sujetar con seguridad dentro de 900 mm (3 pies) de cada caja de salida, caja de conexiones, caja del dispositivo, gabinete, cuerpo conducto, u otra terminación de la tubería.
- B. Soportes. Se permitirá tramos horizontales de tubería EMT con el apoyo de aberturas a través de los elementos del bastidor, a intervalos no superiores a 3 m (10 pies) y aseguradas dentro de 900 mm (3 pies) de los puntos de terminación.

Accesorios: se utilizará conectores rectos para conduit pared delgada tipo EMT, coplas o uniones para tubería EMT de pared delgada, conectores y coplas tipo compresión para tubería EMT de pared delgada, (ver figura 178).

Figura 177. **Requerimientos mínimos para la fijación segura de tubos metálicos eléctricos tipo EMT.**



Fuente: NEC 2011. Artículo 358. p. 444. Consulta: 07 de septiembre de 2016.

Figura 178. **Accesorios para tubería tipo EMT**



Fuente: [www.coopercrousehinds.com](http://www.coopercrousehinds.com). Productos comerciales. p. 5 y 6.

Consulta: 07 de septiembre de 2016.

Tubería eléctrica no metálica tipo ENT. El tubo no metálico eléctrico (ENT) está hecho del mismo material utilizado para conducto de PVC (de acuerdo al artículo 362 del NEC). Los tamaños comerciales normalizados están entre 21 mm (1/2") y 60 mm (2"), son tales que los acoplamientos estándar y otros accesorios para conducto de PVC rígido se pueden utilizar.

Debido a las corrugaciones, la tubería puede ser doblada con la mano y tiene un cierto grado de flexibilidad. ENT no está destinado para su uso cuando sea necesaria flexibilidad, como en las terminaciones de motor para evitar la transmisión de ruidos y vibraciones, o para la conexión de las luminarias orientables o piezas en movimiento. ENT es adecuado para la instalación de conductores que tienen un grado de la temperatura como se indica en el producto. La temperatura ambiente máxima admisible es de 122°F.

Figura 179. **Tubería tipo ENT**



Fuente: elaboración propia.

Es una tubería no metálica flexible de sección circular corrugada con acoplamientos y accesorios integrados para la instalación de conductores eléctricos. La tubería ENT se compone de un material que es resistente a la humedad y una atmósfera química y es retardadora de la llama.

Usos permitidos para su instalación: se puede utilizar en usos generales, pero tiene una limitación muy importante; no pueden utilizarse en ninguna estructura, casa o edificio de más de tres niveles sobre el terreno; debido a su alto grado de colaboración en caso de incendios ya que el tubo de PVC es muy volátil. Se deberá instalar oculto en paredes, pisos y techos que ofrezcan una barrera térmica mayor a 15 minutos.

Para su instalación en lugares mojados o bajo lechada de concreto requiere accesorios adecuados. Para su instalación fuera del suelo deberá resistir la humedad, los agentes contaminantes, ser retardante de la llama, resistente al impacto y al aplastamiento, no sufrir deformación con el calor o por bajas temperaturas y ser resistente a los efectos de la luz del sol.

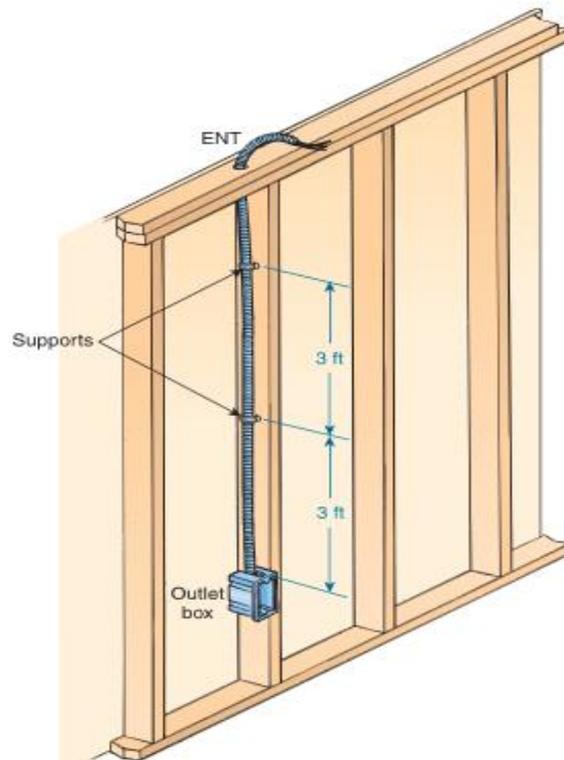
La tubería eléctrica plegable no metálica no deberá ser empleado como soporte de artefactos o equipos; ni donde este expuesta a daños físicos a menos que esté marcada para soportar impactos; ni sometida a temperaturas mayores a las especificadas por el fabricante o para temperaturas menores a las especificadas para el aislamiento de los conductores; tampoco se deben instalar en lugares clasificados peligrosos.

El número de conductores permitidos deberá cumplir con los porcentajes de ocupación indicados en la tabla CL.

La tubería eléctrica plegable no metálica deberá llevar, por lo menos cada 3,0 metros, rótulos claros, durables y adecuados expresando el tipo de material, el grado de resistencia a la corrosión, el nombre del fabricante, la referencia de fábrica, el diámetro y la información adicional exigida por el NEC.

Para la instalación dentro de muros falsos se deberá fijar la tubería a cada 3 pies de separación, y también a 3 pies de la caja para receptáculos, de acuerdo con la figura 180.

Figura 180. **Instalación de tubería ENT dentro de bastidores**



Fuente: elaboración propia.

Luego de haber descrito los diferentes tipos de tuberías que serán utilizadas en la instalación eléctrica, se define el número de conductores que deberán ir instalados en cada tubería. Los conductores tienen una limitante en su capacidad de conducción de corriente debido a la baja disipación de calor, ya que el aislante tiene un límite térmico bajo.

Por esta razón, el número de conductores dentro de un tubo o cualquier sistema de canalización deberá encontrarse limitado de manera que se logre un arreglo físico de acuerdo con la forma y el área transversal de la canalización de los conductores durante la instalación; además, deberá considerarse la cantidad adecuada de aire dentro de la tubería para que se disipe el calor que se genera internamente debido al efecto Joule.

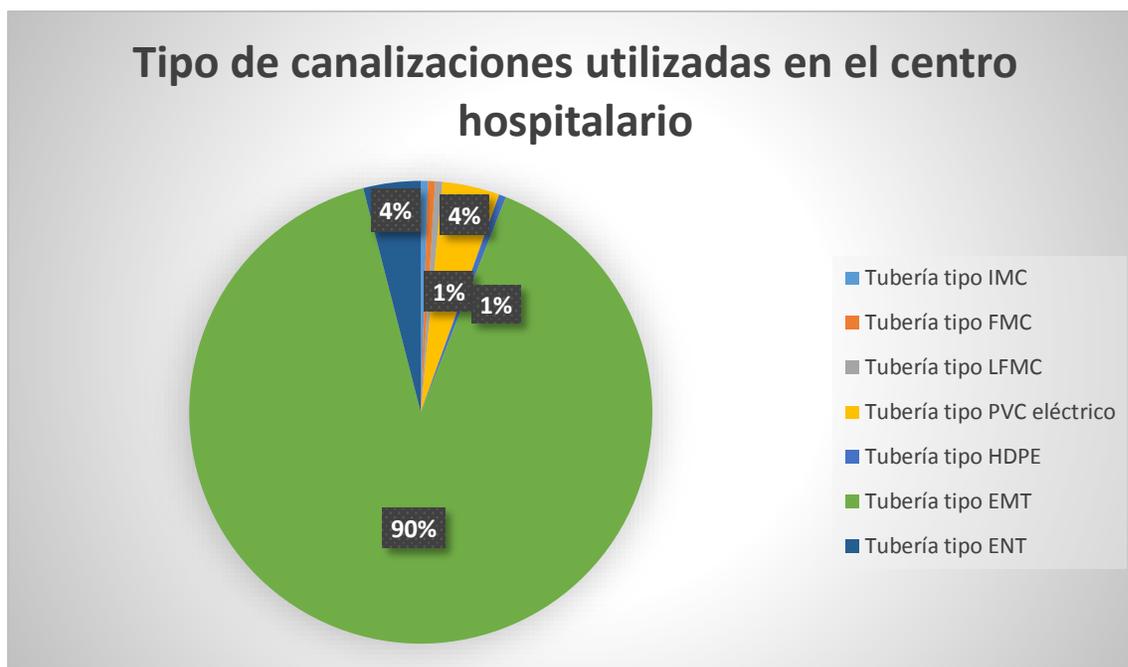
Estas condiciones se logran cuando existe una relación adecuada entre la sección transversal de los conductores con la sección de la canalización, a esta relación se le conoce como factor de relleno y se define en la siguiente tabla.

**Tabla CLII. Cálculo para el factor de relleno**

<b>Fórmula</b>	<b>Descripción</b>
$F = a / A$	F = Es el factor de relleno
$d = \sqrt{[ (A \cdot 4) / \pi ]}$	a = La sección transversal del conjunto de conductores
	A = La sección transversal de la canalización
	d = Diámetro de la tubería
	Valores del factor de relleno
	53% para un conductor
	31% para dos conductores
	40% para tres o más conductores

Fuente: Norma NFPA 70, NEC 2011.

Figura 181. Tipo de canalizaciones utilizadas en el centro hospitalario



Fuente: elaboración propia.

Tabla CLIII. Porcentaje de utilización de canalizaciones

Tipo de canalización o tubería	Porcentaje de utilización
Tubería tipo IMC	0,50
Tubería tipo FMC	0,50
Tubería tipo LPMC	0,50
Tubería tipo PVC eléctrico	4,00
Tubería tipo HDPE	0,50
Tubería tipo EMT	90,00
Tubería tipo ENT	4,00
Total de canalización utilizada	100,00

Fuente: elaboración propia.

Canales auxiliares: estarán constituidos por un canal metálico auxiliar. Un cerramiento de chapa utilizado para complementar los espacios de cableado en los centros de metro, centros de distribución, centrales telefónicas y puntos similares de sistemas de cableado. El recinto será articulado o con cubiertas desmontables para la vivienda y la protección de cables eléctricos, cables y barras. La caja está diseñada para conductores que se establezcan o establecen en el lugar después de que los recintos se han instalado como un sistema completo.

Como su nombre lo indica, una canaleta auxiliar proporciona espacio adicional para la instalación de cableado en diversos tipos de recintos y equipos eléctricos. Este espacio de canal adicional puede ser necesario para proporcionar suficiente espacio para el número de conductores en un recinto o para proporcionar el cableado adecuado flexión / deflexión espacio donde los conductores se conectan a un terminal. Aunque la construcción de un canal auxiliar no es diferente de la de una canaleta, es la aplicación en el campo de este equipo que diferencia un canal auxiliar de una canaleta.

Una canaleta es un sistema de canalización, de acuerdo con lo indicado en el artículo 100 del NEC. Una canaleta auxiliar se instala para complementar el espacio de conexión de un cuadro de equipo de servicio no es una canaleta y por lo tanto no está sujeto al artículo 230,7 del NEC.

Se utilizará canales auxiliares en el desarrollo de la instalación eléctrica para el centro hospitalario, debiendo utilizar canales auxiliares individuales a cada sistema al que pertenezcan, normal, emergencia y crítico, en ningún momento se deberá realizar combinación de canalizaciones por sistemas de acuerdo con el artículo 517 del NEC.

Figura 182. **Aplicación del canal auxiliar en la instalación eléctrica**



Fuente: elaboración propia.

Canalizaciones bajo el piso: es permitida la instalación bajo el piso, debajo de la superficie de concreto u otro material en el edificio, siempre que queden a nivel con el piso de concreto y cubiertas por linóleo u otro revestimiento equivalente. No se deberá instalar canalizaciones bajo piso en los casos siguientes:

- Donde puedan estar expuestas a vapores corrosivos.
- En lugares clasificados como peligrosos.

Las tapas de las canalizaciones bajo el piso deberán cumplir con lo indicado en los siguientes apartados:

- Canalizaciones de no más de 100 mm de ancho. Las canalizaciones semicirculares y con la parte superior plana, de no más de 100 mm de ancho, deberán tener encima concreto o madera de un espesor no inferior a 20 milímetros.
- Canalizaciones de más de 100 mm pero de no más de 200 mm de ancho. Las canalizaciones con la parte superior plana, con una separación mínima entre canalizaciones de 25 mm, se deberán tapar con concreto de un espesor no inferior a 25 milímetros. Las canalizaciones con una separación inferior a 25 mm se deberán tapar con concreto de un espesor no inferior a 40 milímetros.
- Canalizaciones de tipo zanja a nivel con el concreto. Se permite que las canalizaciones de tipo zanja, con tapas removibles queden a nivel de la superficie del piso. Dichas canalizaciones aprobadas deberán estar diseñadas de modo que las láminas de tapa les proporcionen una protección mecánica y una rigidez adecuada y equivalente a las tapas de las cajas de uniones.
- Otras canalizaciones a nivel con el concreto. En edificios de oficinas se permite instalar canalizaciones aprobadas con la parte superior metálica plana, de no más de 100 mm de ancho, a nivel con la superficie de piso de concreto, siempre que estén tapadas con una capa importante de linóleo o similar, de espesor no inferior a 1,6 milímetros. Cuando se instalen a nivel con el concreto más de una canalización, pero no más de tres, deberán situarse una al lado de la otra y unirse de modo que formen un conjunto rígido.

Sección transversal de los conductores: en las canalizaciones subterráneas no se deberán instalar conductores de sección transversal mayor para la que está diseñada la canalización. El número máximo de conductores en una canalización, no deberá superar el 40% de la sección transversal interior de dicha canalización. De acuerdo a la suma de las secciones transversales de todos los conductores o cables a instalar en la canalización.

Tendidos en línea recta: las canalizaciones subterráneas deberán hacerse de modo que, si se traza una línea recta que una el centro de una caja de corte con el centro de la siguiente caja de corte, coincida con el eje central de la canalización. Las canalizaciones se deben sujetar bien para que no pierdan la alineación durante la construcción. En el centro hospitalario se utilizará en la casa de máquinas (ver figura 35).

Figura 183. **Canalización bajo piso, para conductores eléctricos**



Fuente: elaboración propia.

Bandeja porta cables: el sistema de bandeja porta cables, es una unidad o conjunto de unidades, o secciones, con sus herrajes, que forman una estructura rígida utilizada para soportar conductores de acometidas, alimentadores, circuitos ramales, circuitos de comunicación, circuitos de control y circuitos de señalización.

Las bandejas tendrán resistencia y rigidez suficientes para que ofrezcan un soporte adecuado a todos los cables instalados en ellas. No tendrán bordes afilados, rugosos o salientes que puedan dañar las cubiertas o aislamientos de los conductores eléctricos.

Serán de un material resistente a la corrosión o, si son de metal, estarán adecuadamente protegidas contra la corrosión. Tendrán barras laterales u otros elementos estructurales equivalentes.

Las bandejas de cables tendrán accesorios u otros medios adecuados para poder cambiar su recorrido, dirección y elevación.

Las bandejas de cables no metálicas, estarán construidas de material retardador de la llama.

Para el transporte de los conductores eléctricos principales se utilizará en el centro hospitalario bandeja metálica de acuerdo al artículo 392 del NEC. Y para la distribución de los sistemas especiales (señales débiles), será implementado un sistema de bandeja de cables especialmente para esta función.

El tipo de bandeja que se utilizará será del tipo metálica de acero al carbono AISI 1010 HR/CR galvanizado por inmersión en caliente según ASTM A 525. En tramos rectos y accesorios con un peralte de 3,25 pulgadas, con un ancho de 12” y una longitud de 3,048 metros (10 pies). Y sus accesorios correspondientes: curvas a 90°, derivación en “T”, derivación en “X”, uniones, tapa final, para el cambio de elevación se realizará los accesorios en el lugar.

Figura 184. **Bandeja de cables para conductores eléctricos**



Fuente: elaboración propia.

Se permitirá utilizar bandeja de cable como un sistema de apoyo para conductores de servicio, alimentadores, circuitos derivados, circuitos de comunicaciones, los circuitos de control y circuitos de señalización. Instalaciones de bandejas portacables no se limitarán a los establecimientos industriales. Donde se exponga a los rayos directos del sol, conductores aislados y cables encamisados serán identificados como resistentes a la luz solar. Las bandejas de cables y sus accesorios correspondientes deberán ser identificados para el uso previsto.

El uso e instalación de bandeja de cables deberá cumplir con lo indicado en el artículo 392 del NEC 2011.

Método para calcular el número de conductores y cables dentro de una bandeja:

- Número de cables de varios conductores, clasificados 2 000 voltios o menos, en las bandejas de cables. El número de cables multiconductores, que se permite instalar en una bandeja de cables, no será superior a los requisitos de la sección indicada en el artículo 392, los calibres de conductores se aplican tanto a los conductores de aluminio y de cobre.
- Bandejas o canaletas tipo escalera o ventilada que contiene cualquier mezcla de los cables. En caso de bandejas de cables mínimas de escalera o ventiladas que contienen múltiples cables de alimentación del conductor, de alumbrado, o cualquier mezcla de conductor de energía a varios niveles, iluminación, control, y cables de señal, el número máximo de cables debe cumplir con las condiciones siguientes:
- Cuando todos los cables son del calibre 4/0 AWG o mayor, la suma de los diámetros de todos los cables no deberá sobrepasar el ancho de la bandeja de cable y los cables se deben instalar en una sola capa. Cuando la capacidad de corriente del cable se determina de acuerdo con el artículo 392,80 (A) (1) (c), la anchura de la bandeja de cable no deberá ser inferior a la suma de los diámetros de los cables y la suma de las anchuras de separación requerida entre los cables.

De acuerdo con el artículo 392,22 (a) (1) aclara que los cables 1 000 kcmil y más grandes se deben instalar en una sola capa, excepto cuando estos cables grandes se encuentran agrupados de acuerdo al circuito.

- Cuando todos los cables son más pequeños que 4/0 AWG, la suma de las áreas de sección transversal de todos los cables no podrá superar la superficie máxima permitida de relleno de cable en la columna 1 de la tabla CLXXIII para la bandeja de cable adecuado a la anchura.
- Cuando se instalan conductores del calibre 4/0 AWG o más grandes en la misma bandeja de cables con cables más pequeños que 4/0 AWG, la suma de las áreas de sección transversal de todos los cables de menor calibre de 4/0 AWG no excederá el máximo permitido área resultante del cálculo en la columna 2 de la tabla CLXXIV para llenar la anchura de la bandeja de cable adecuado. El calibre del conductor 4/0 AWG y cables más grandes deben ser instalados en una sola capa, y no se deberá colocar otros cables sobre ellos.
- Bandeja ventilada tipo escalera que contienen cables de control con conductores múltiples / o cables de señalización. Cuando se utilice una bandeja de cables tipo escalera ventilada que tiene una profundidad interior útil de 150 mm (6 pulgadas) o menos que contienen conductores múltiples de control y/o cables de señal solamente.

La suma de las áreas de sección transversal de todos los cables en cualquier sección transversal no excederá de 50 por ciento del área de la sección transversal interior de la bandeja de cable. Una profundidad de 150 mm (6 pulgadas) se utiliza para calcular el área de sección transversal interior permisible de cualquier bandeja de cable que tiene una profundidad interior utilizable de más de 150 mm (6 pulgadas).

- Bandejas de cable de fondo sólido que contienen cualquier mezcla de los cables. En caso de bandejas portacables de fondo sólido que contienen cables de conductores múltiples de red, de alumbrado, o cualquier mezcla de conductores múltiples de potencia, iluminación, control, y cables de señal, el número máximo de cables deberá cumplir con lo siguiente:
- Cuando todos los cables conductores son del calibre 4/0 AWG o mayor, la suma de los diámetros de todos los cables no excederá del 90 por ciento de la anchura de la bandeja de cable y los cables se deben instalar en una sola capa.
- Cuando todos los cables conductores son más pequeños que el calibre 4/0 AWG, la suma de las áreas de sección transversal de todos los cables no podrá superar la superficie máxima permitida de relleno de cable indicado en la columna 3 de la tabla CLXXIV para la anchura de la bandeja de cable.
- Bandeja de cable inferior sólida que contiene cables de control de conductores múltiples y/o cables de señalización. Cuando una bandeja de cable inferior sólida que tiene una profundidad interior útil de 150 mm (6 pulgadas) o menos contiene conductores múltiples de control y/o cables de control solamente, la suma de las áreas de las secciones transversales de todos los cables en cualquier sección transversal no excederá de 40 por ciento de la superficie de sección transversal interior de bandeja de cable.

Una profundidad de 150 mm (6 pulgadas) se utiliza para calcular el área de sección transversal interior permisible de cualquier bandeja de cable que tiene una profundidad interior utilizable de más de 150 mm (6 pulgadas).

- Bandeja de cable con canal ventilado que contiene varios cables conductores de cualquier tipo. En caso de bandeja de cable de canal ventilado que contienen cables multiconductores de cualquier tipo, se aplicará lo siguiente:
- Cuando se instale un solo cable de conductor múltiple, el área de sección transversal no excederá el valor especificado en la columna 1 de la tabla CLIV.
- Cuando se instala más de un cable de conductor múltiple, la suma del área de sección transversal de todos los cables no deberá exceder el valor especificado en la columna 2 de la tabla CLV.

Tabla CLIV. **Área permitida de relleno por cable para cables de varios conductores en bandeja de cable de canal ventilado para cables clasificados 2 000 voltios o menos**

Ancho interior de la bandeja de cables		Superficie máxima admisible de ocupación para cables conductores múltiples			
		Columna 1 un solo cable		Columna 2 más de un cable	
mm	pulgada	mm <sup>2</sup>	pulgadas <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	pulgadas <sup>2</sup>
75,00	3,00	1 500	2,30	850	1,30
100,00	4,00	2 900	4,50	1 600	2,50
150,00	6,00	4 500	7,00	2 450	3,80

Fuente: NEC 2011. Artículo 392. Bandeja portacables. p. 487.

Consulta: 09 de septiembre de 2016.

Tabla CLV. **Área de relleno permitida para cables multiconductores en bandejas portacables de tipo escalera, batea ventilada o fondo sólido para cables clasificados de 2 000 voltios o menos**

Ancho interior de la bandeja portacables		Área de relleno máxima permisible para cables multiconductores							
		Bandejas portacables tipo: Escalera, canal ventilado, malla de alambre 392.22(A)(1)				Bandejas portacables tipo fondo sólido 392.22(A)(3)			
		Columna 1 Aplicable sólo para 392.22(A)(1)		Columna 2 <sup>a</sup> Aplicable sólo para 392.22(A)(1)(c)		Columna 3 Aplicable sólo para 392.22(A)(3)(b)		Columna 4 <sup>a</sup> Aplicable sólo para 392.22(A)(3)(c)	
mm	in.	mm <sup>2</sup>	in. <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	in. <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	in. <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	in. <sup>2</sup>
50	2,0	1,500	2,5	1,500-(30 Sd) <sup>b</sup>	2,5-(1,2 Sd) <sup>b</sup>	1,200	2,0	1,200 – (25 Sd) <sup>b</sup>	2,0-Sd <sup>b</sup>
100	4,0	3,000	4,5	3,000-(30 Sd) <sup>b</sup>	4,5-(1,2 Sd)	2,300	3,5	2,300 – (25 Sd)	3,5-Sd
150	6,0	4,500	7,0	4,500-(30 Sd) <sup>b</sup>	7-(1,2 Sd)	3,500	5,5	3,500 – (25 Sd) <sup>b</sup>	5,5-Sd
200	8,0	6,000	9,5	6,000-(30 Sd) <sup>b</sup>	9,5-(1,2 Sd)	4,500	7,0	4,500 – (25 Sd)	7,0-Sd
225	9,0	6,800	10,5	6,800-(30 Sd)	10,5-(1,2 Sd)	5,100	8,0	5,100 – (25 Sd)	8,0-Sd
300	12,0	9,000	14,0	9,000-(30 Sd)	14-(1,2 Sd)	7,100	11,0	7,100 – (25 Sd)	11,0-Sd
400	16,0	12,000	18,5	12,000-(30 Sd)	18,5-(1,2 Sd)	9,400	14,5	9,400 – (25 Sd)	14,5-Sd
450	18,0	13,500	21,0	13,500-(30 Sd)	21-(1,2 Sd)	10,600	16,5	10,600 – (25 Sd)	16,5-Sd
500	20,0	15,000	23,5	15,000-(30 Sd)	23,5-(1,2 Sd)	11,800	18,5	11,800 – (25 Sd)	18,5-Sd
600	24,0	18,000	28,0	18,000-(30 Sd)	28-(1,2 Sd)	14,200	22,0	14,200 – (25 Sd)	22,0-Sd
750	30,0	22,500	35,0	22,500-(30 Sd)	35-(1,2 Sd)	17,700	27,5	17,700 – (25 Sd)	27,5-Sd
900	36,0	27,000	42,0	27,000-(30 Sd)	42-(1,2 Sd)	21,300	33,0	21,300 – (25 Sd)	33,0-Sd

<sup>a</sup> Las áreas de relleno máximas permitidas en las columnas 2 y 4 deberán ser calculadas. Por ejemplo, el máximo relleno permisible en mm<sup>2</sup> para una bandeja de cables de ancho 150 mm en la columna 2 será 4,500 menos (30 multiplicado por Sd). El llenado máximo permisible, en pulgadas cuadradas para la bandeja de cable con un ancho de 6" en la columna 2 será de 7 menos (1,2 multiplicado por Sd).

<sup>b</sup> El termino Sd indicado en las columnas 2 y 4 es igual a la suma de los diámetros, en mm de todos los cables de 107,2 mm (en pulgadas, de todos 4/0 AWG) y cables multiconductores más grandes en la misma bandeja de cable con cables más pequeños.

Fuente: NEC 2011. Artículo 392. Bandeja portacables. p. 487.

Consulta: 08 de septiembre de 2016.

En el artículo 392,22 del NEC 2011 se indican los requisitos para el espacio de relleno permitido en bandejas de los tipos: escalera, canal ventilado y de fondo sólido, de acuerdo con las tablas CLIV, CLVI y CLVII, lista en el llenado máximo permitido para varios anchos. La profundidad de una bandeja de cables de canal (hasta 6 pulgadas) se relaciona con llenar solo cuando la bandeja de cable contiene, cables de señal y de control, o cuando la bandeja de cable contiene grandes empalmes de cables.

La disipación de calor en general no es un problema para los cables de señal y de control.

- Bandeja de cables de canal sólido que contienen cables multiconductores de cualquier tipo se aplicará lo siguiente:
- Cuando se instala un solo cable multiconductor, el área de la sección transversal del cable no debe exceder el valor especificado en la columna 1 de la tabla CLVI.
- Cuando se instala más de un cable multiconductor, la suma del área de la sección transversal de todo el cable no deberá exceder el valor especificado en la columna 2 de la tabla CLVI.

Tabla CLVI. **Área de relleno permitida por cable para cables de varios conductores en bandeja de cable de canal sólido para cables clasificados 2 000 voltios o menos**

Ancho interior de la bandeja de cables		Superficie máxima admisible de ocupación para cables conductores múltiples			
		Columna 1 Un solo cable		Columna 2 Más de un cable	
mm	pulgada	mm <sup>2</sup>	Pulgadas <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	Pulgadas <sup>2</sup>
50,00	2,00	850	1,30	500	0,80
75,00	3,00	1 300	2,00	700	1,10
100,00	4,00	2 400	3,70	1 400	2,10
150,00	6,00	3 600	5,50	2 100	3,20

Fuente: NEC 2011. Artículo 392. Bandeja portacables. p. 488.

Consulta: 09 de septiembre de 2016.

Número de cables de un solo conductor, de 2 000 voltios nominal o menos, en las bandejas de cables. El número permitido en una sola sección de la bandeja de cable no deberá exceder los requisitos del artículo 392 del NEC. Los conductores individuales o conjuntos de conductores, se distribuirán uniformemente a través de la bandeja de cables. Los calibres de conductores se aplican tanto a aluminio y conductores de cobre.

- Bandeja de cable tipo escalera ventilada. Contienen los cables de un solo conductor. El número máximo de conductores individuales se ajustará a lo siguiente:
- Cuando todos los cables son 1 000 kcmil o más grande, la suma de los diámetros de todos los cables de un solo conductor no deberá exceder el ancho de la bandeja de cable, y serán instalados los cables en una sola capa. Se permitirá conductores que están enlazados juntos para comprender cada grupo de circuitos para ser instalado en otra de una sola capa.

- Cuando todos los cables son de 250 kcmil a 900 kcmil, la suma de las áreas de sección transversal de todos los cables de un solo conductor no deberá sobrepasar el área de relleno de cable máxima admisible en la columna 1 de la tabla CLXXVI para el ancho de la bandeja de cable adecuada.
- En caso de 1 000 kcmil o cables de un solo conductor más grandes se instalan en la misma bandeja de cables con los cables de un solo conductor de calibre menor a 1 000 kcmil, la suma de las áreas de las secciones transversales de todos los cables más pequeños de 1 000 kcmil no será superior a la de llenado máximo permisible del área resultante del cálculo en la columna 2 de la tabla CLXXVI para la anchura de la bandeja de cable adecuada.
- Bandeja de cable de canal ventilado, donde 50 mm (2 pulgadas), 75 mm (3 pulgadas), 100 mm (4 pulgadas) o 150 mm (6 pulgadas) de ancho para bandejas de cable de canal ventilado que contienen los cables de un solo conductor, la suma de los diámetros de todos los conductores individuales, no deberán exceder el ancho interior del canal.
- Número de tipo de MT y de tipo MC y cables (2 001 voltios o más) en las bandejas de cables. No será superior a los requisitos indicados en el artículo 392.

**Tabla CLVII. Área de relleno permitida por cable para los cables de un solo conductor en bandeja de cable tipo escalerilla ventilada o malla de alambre para cables clasificados como 2 000 voltios o menos**

Ancho interior de la bandeja de cables		Superficie máxima admisible de ocupación para los cables de un solo conductor en bandeja de cable tipo escalerilla ventilada o malla de alambre			
		Columna 1 Sólo aplicable para 392.22 (B)(1)(b)		Columna 2 <sup>a</sup> Sólo aplicable para 392.22 (B)(1)(c)	
mm	Pulgadas	mm <sup>2</sup>	Pulgadas <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	Pulgadas <sup>2</sup>
50,00	2,00	1,400	2,00	1,400 – (28 Sd) <sup>b</sup>	2,0 – (1,1 Sd) <sup>b</sup>
100,00	4,00	2,800	4,50	2,800 – (28 Sd)	4,5 – (1,1 Sd)
150,00	6,00	4,200	6,50	4,200 – (28 Sd) <sup>b</sup>	6,5 – (1,1 Sd) <sup>b</sup>
200,00	8,00	5,600	8,50	5,600 – (28 Sd)	8,5 – (1,1 Sd)
225,00	9,00	6,100	9,50	6,100 – (28 Sd)	9,5 – (1,1 Sd)
300,00	12,00	8,400	13,00	8,400 – (28 Sd)	13,0 – (1,1 Sd)
400,00	16,00	11,200	17,50	11,200 – (28 Sd)	17,5 – (1,1 Sd)
450,00	18,00	12,600	19,50	12,600 – (28 Sd)	19,5 – (1,1 Sd)
500,00	20,00	14,000	21,50	14,000 – (28 Sd)	21,5 – (1,1 Sd)
600,00	24,00	16,800	26,00	16,800 – (28 Sd)	26,0 – (1,1 Sd)
750,00	30,00	21,000	32,50	21,000 – (28 Sd)	32,5 – (1,1 Sd)
900,00	36,00	25,200	39,00	25,200 – (28 Sd)	39,0 – (1,1 Sd)

<sup>a</sup>Las áreas de relleno máximos permitidos en la columna 2 se calcularán. Por ejemplo, el máximo permitido a llenar, en mm<sup>2</sup>, para una bandeja de cable de 150 mm de ancho en la Columna 2 será de 4200 menos (28 multiplicado por Sd) [el máximo permisible a llenar, en pulgadas cuadradas, para 6". La bandeja de cable de ancho en la Columna 2 será de 6,5 menos (1,1 multiplicado por Sd)].

<sup>b</sup>El término Sd en la Columna 2 es igual a la suma de los diámetros, en mm, de todos los cables 507 mm<sup>2</sup> (en pulgadas, de todos 1 000 kcmil) y los cables de un solo conductor más grandes en la misma bandeja de cables con cables cortos.

Fuente: NEC 2011. Artículo 392. Bandeja portacables. Página 489.

Consulta: 09 de septiembre de 2016.

La suma de los diámetros de conductor simple y cables multiconductores no será superior a la anchura de la bandeja de cable y los cables se instalan en una sola capa. Donde el área de los cables de un solo conductor triple, cuádruple, o unidos en grupos de circuitos, la suma de los diámetros de los conductores individuales no será superior a la anchura de la bandeja de cable.

Seguridad y soporte en instalaciones para bandeja de cables:

- Bandejas de cable. Las bandejas de cables deben ser apoyados en intervalos de acuerdo con las instrucciones de instalación.
- Los cables y conductores. Deberán estar sujetos al y apoyados por el sistema de bandeja de cables de acuerdo con (1), (2) y (3) según sea el caso:
  - En la parte de los tramos horizontales, los cables estarán debidamente fijados a los miembros transversales de los tendidos de cable.
  - Se colocarán unos soportes para evitar la tensión en los cables y se integran en los sistemas de bandeja portacables.
  - El sistema deberá prever el apoyo de los cables y los métodos de cableado pista de rodadura de acuerdo con sus artículos correspondientes. Cuando las bandejas de cable de soporte de conductores individuales y donde los conductores pasan de una bandeja de cable a otro, o de una bandeja de cables a la pista de rodadura (s) o de una bandeja de cables a los equipos en los que se terminan los conductores, la distancia entre las bandejas de cables, o entre la bandeja de cable y la pista de rodadura (s) o el equipo no podrán superar 1,8 m (6 pies).

Los conductores deberán estar asegurados a la bandeja (s) de cable en la transición, y serán protegidos, mediante la protección o por la localización, de cualquier daño físico.

#### **4.4.3. Conductos para distribución en media tensión**

Las canalizaciones subterráneas para la acometida primaria, serán construidas con tuberías tipo IMC y dB 120 de alto impacto y deberán ser instaladas utilizando accesorios de fábrica y recubiertos por una capa de concreto de 10 centímetros de espesor en la parte superior e inferior según la norma de la empresa eléctrica suministradora del servicio. Todos los conductos tendrán declive hacia los pozos de registro del tipo "H" y la parte inferior de dichos ductos no quedarán a menos de 80 cm. bajo del nivel de piso terminado, de acuerdo con lo indicado en el capítulo 2.

Cada tramo de canalización deberá quedar en línea recta tanto en su proyección horizontal como vertical, todas las juntas serán herméticas.

Una vez instalados los conductores dentro de cada conducto subterráneo, se procederá a sellar estos para evitar la entrada de agua, usando para tal fin Scotchcast 3M o un compuesto de igual o mejor calidad.

#### **4.4.4. Canalizaciones secundarias**

Estarán constituidas por la instalación dentro del centro hospitalario de tuberías del tipo EMT. Son tuberías flexibles metálicas tipo FMC, LFMC, que sean necesarias para efectuar la completa canalización eléctrica del edificio.

Para los tramos en los que la instalación sea del tipo subterránea se utilizará tubería del tipo PVC eléctrico, HDPE, y para las aplicaciones en donde sea necesaria, la tubería ENT.

En general, toda la canalización del hospital será construida utilizando tuberías y accesorios EMT. En lugares en donde existan juntas de dilatación y se tenga paso de tubería, se utilizará conducto flexible del tipo FMC o LFMC, de acuerdo con lo indicado en la sección 4.1, canalizaciones.

#### **4.4.5. Cajas de salida y cajas de paso**

Las cajas de salida para trabajos ocultos y para salidas en cielo raso en trabajos expuestos, serán de acero galvanizado estampado, del tipo pesado y de acuerdo a los calibres exigidos por el reglamento de obras e instalaciones eléctricas y el NEC.

Las cajas de salida para luminarias tendrán tapaderas, las cuales serán colocadas después del alambrado. Las cajas de salida para tomas de corriente de piso y tomas de teléfonos para servicios auxiliares, serán de hierro fundido con empaque a prueba de agua y cubierta de bronce, debiendo quedar a nivel de piso terminado.

Para las cajas de salida de interruptores, tomas de corriente de pared y tomas de teléfonos, serán del tamaño adecuado para el calibre de los conductores utilizados.

Las cajas de salida y de paso deberán cumplir con el artículo 314 del NEC 2011, cajas de conexiones y cuerpos de conducto.

Las cajas de salida donde no se instalen dispositivos serán cubiertas con tapaderas metálicas ciegas. En el caso de las cajas de empalme y de paso serán de acero galvanizado y de los calibres exigidos por el reglamento de obras e instalaciones eléctricas, o el NEC, con cubierta atornillada, y de las dimensiones adecuadas para acomodar la tubería eléctrica y los conductores.

Todas las cajas deberán permanecer herméticamente cerradas durante el proceso de construcción, a fin de prevenir la entrada de agua y humedad. En el caso de presentar signos de oxidación durante el proceso, se deberá dar un tratamiento a fin de eliminarla y pintarlas con pintura galvánica.

En la figura 200 se presentan las cajas para salida de tomas de corriente, interruptores, datos, telefonía, cajas octogonales para salida de luminarias y cajas de registro.

Las cajas de paso se utilizarán como un dispositivo de tracción o de unión entre tuberías eléctricas:

- Tamaño mínimo: en las tuberías que contengan conductores eléctricos del calibre 4 AWG o más grandes que se requieren para ser aislados, y para los cables que contienen conductores dentro de tuberías deberán de cumplir las condiciones siguientes:

Tabla CLVIII. Cajas metálicas

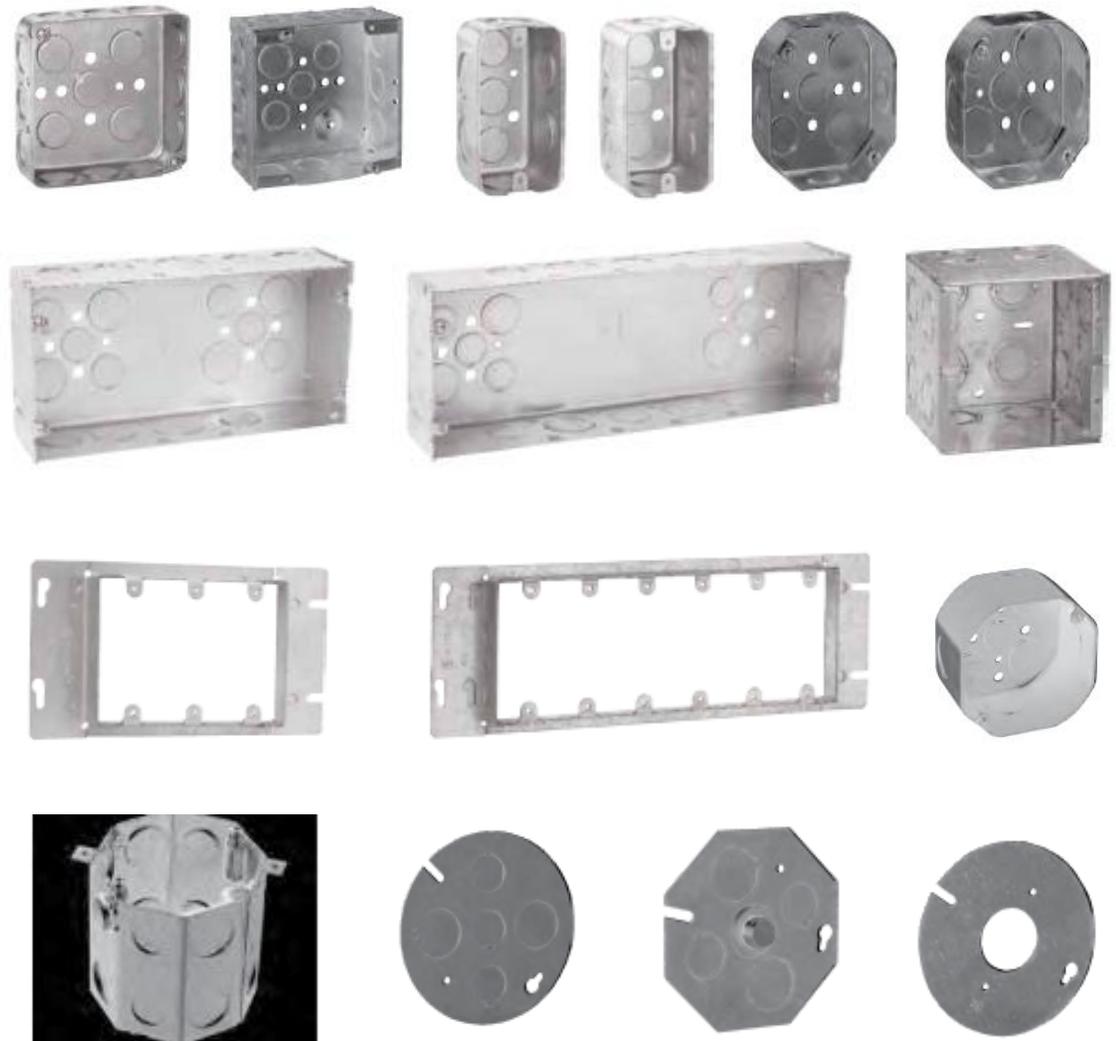
Tamaño comercial de la caja			Volumen mínimo		Máximo número de conductores* Ordenados por calibre AWG						
Milímetros	Pulgadas		cm³	in³	18	16	14	12	10	8	6
100 X 32	(4 X 1 ¼)	Redonda / octogonal	205	12,5	8	7	6	5	5	5	2
100 X 38	(4 X 1 ½)	Redonda / octogonal	254	15,5	10	8	7	6	6	5	3
100 X 54	(4 X 2 1/8)	Redonda / octogonal	533	21,5	14	12	10	9	8	7	4
100 X 32	(4 X 1 ¼)	Cuadrada	295	18,0	12	10	9	8	7	6	3
100 X 38	(4 X 1 ½)	Cuadrada	344	21,0	14	12	10	9	8	7	4
100 X 54	(4 X 2 1/8)	Cuadrada	497	30,3	20	17	15	13	12	10	6
120 X 32	(4 11/16 X 1 ¼)	Cuadrada	418	25,5	17	14	12	11	10	8	5
120 X 38	(4 11/16 X 1 ½)	Cuadrada	484	29,5	19	16	14	13	11	9	5
120 X 54	(4 11/16 X 2 1/8)	Cuadrada	689	42,0	28	24	21	18	16	14	8
75 X 50 X 38	3 X 2 X 1 1/2	Dispositivo	123	7,5	5	4	3	3	3	2	1
75 X 50 X 50	3 X 2 X 2	Dispositivo	164	10,0	6	5	5	4	4	3	2
75 X 50 X 57	3 X 2 X 2 1/4	Dispositivo	172	10,5	7	6	5	4	4	3	2
75 X 50 X 65	3 X 2 X 2 1/2	Dispositivo	205	12,5	8	7	6	5	5	4	2
75 X 50 X 70	3 X 2 X 2 3/4	Dispositivo	230	14,0	9	8	7	6	5	4	2
75 X 50 X 90	3 X 2 X 3 1/2	Dispositivo	295	18,0	12	10	9	8	7	6	3
100 X 54 X 38	4 X 2 1/8 X 1 1/2	Dispositivo	169	10,3	6	5	5	4	4	3	2
100 X 54 X 48	4 X 2 1/8 X 1 7/8	Dispositivo	213	13,0	8	7	6	5	5	4	2
100 X 54 X 54	4 X 2 1/8 X 2 1/8	Dispositivo	238	14,5	9	8	7	6	5	4	2
95 X 50 X 65	3 ¼ X 2 X 2 1/2	Caja de mampostería / salida múltiple	230	14,0	9	8	7	6	5	4	2
95 X 50 X 90	3 ¼ X 2 X 3 1/2	Caja de mampostería / salida múltiple	344	21,0	14	12	10	9	8	7	4
Profundidad mínima 44,5	FS: Tapa de salida simple con profundidad interna mínima de (1 ¾)		221	13,5	9	7	6	6	5	4	2
Profundidad mínima 60,3	FD: Tapa de salida simple con profundidad interna mínima de (2 3/8)		295	18,0	12	10	9	8	7	6	3
Profundidad mínima 44,5	FS: Tapa de salida múltiple con profundidad interna mínima de (1 ¾)		295	18,0	12	10	9	8	7	6	3
Profundidad mínima 60,3	FD: Tapa de salida múltiple con profundidad interna mínima de (2 3/8)		395	24,0	16	13	12	10	9	8	4

\* Cuando no hay asignaciones de volumen son requeridos por 314.16 (B) (2) a (B) (5).

Fuente: NEC 2011. Artículo 314. Caja de conexiones. Página 367.

Consulta: 10 de septiembre de 2016.

Figura 185. **Cajas de salida, de registro y tapaderas**



Fuente: [www.crouse-hinds.com](http://www.crouse-hinds.com). Cajas de acero reforzadas.

Consulta: 10 de septiembre de 2016.

- Tamaño mínimo: en las tuberías que contengan conductores eléctricos del calibre 4 AWG o más grandes que se requieren para ser aislados, y para los cables que contienen conductores dentro de tuberías deberán de cumplir las condiciones siguientes:

- Tramos rectos: en tramos rectos, la longitud del cuerpo de la caja o conducto no debe ser menor de ocho veces el tamaño designado métricamente (tamaño comercial) de las tuberías más grandes.

Es aplicable las dimensiones mínimas de tracción y cajas de conexiones o los órganos de conducción utilizados con canalizaciones o cables que contienen conductores del calibre 4 AWG o mayores. Para tramos rectos, por ejemplo, el tamaño comercial para una caja de paso con 2 tuberías de diámetro 2" que contienen cables 4/0 AWG tipo THHN requiere 16" en la caja de acceso, con un largo de (8 X 2 = 16"). Sin embargo, a pesar de que 16" es la longitud mínima requerida, una caja de acceso más grande puede ser deseable para una máxima facilidad en el manejo de este tamaño de conductor.

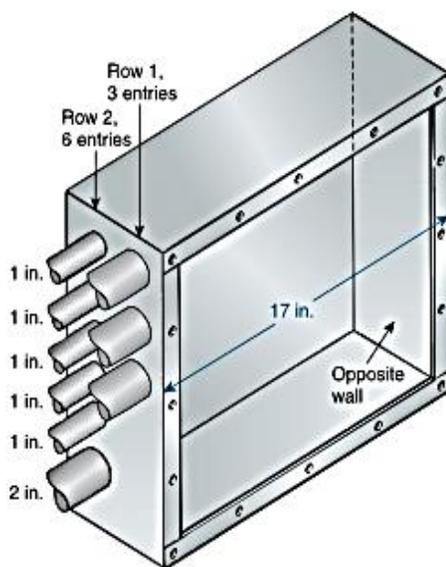
- El ángulo o U tirones, o empalmes. En caso de empalmes o cuando se hacen ángulo o U tirones, la distancia entre cada entrada de tubería interior de la caja o conducto del cuerpo y la pared opuesta de la caja o conducto del cuerpo no debe ser menor de seis veces la designación métrica (tamaño comercial) de la mayor tubería en una fila. Esta distancia se incrementa para entradas adicionales por la cantidad de la suma de los diámetros de todas las demás entradas de canales de conducción en la misma fila en la misma pared de la caja. Cada fila se calculará de forma individual, y la hilera que proporciona la distancia máxima que deberá usarse.

Excepción: cuando una entrada de tubería o el cable está en una pared enfrente de una cubierta removible, la distancia desde la pared de la cubierta se le permitirá cumplir con la separación necesaria para un cable por terminal, de acuerdo con la tabla 312.6(A) del NEC 2011.

La distancia entre las entradas de tuberías que contienen el mismo conductor no debe ser menor de seis veces el tamaño comercial del conducto o tubería requerido para el número y tamaño de los cables conductores que deberá utilizarse.

Ejemplo de los cálculos requeridos se observan en las figuras 186 y 187, como se ilustra. Los empalmes en U o ángulo para tirones, se hacen de acuerdo a la distancia entre cada entrada de la tubería interior de la caja, y la pared opuesta de la caja no deberá ser inferior a seis veces el diámetro del ducto de mayor diámetro de tubería. Además, la distancia se calcula mediante la adición de los diámetros de las otras tuberías en una fila en el mismo lado de la caja. La intención es proporcionar un espacio adecuado para que el conductor pueda realizar la curva.

Figura 186. **Cálculo para dimensionamiento de una caja de paso**

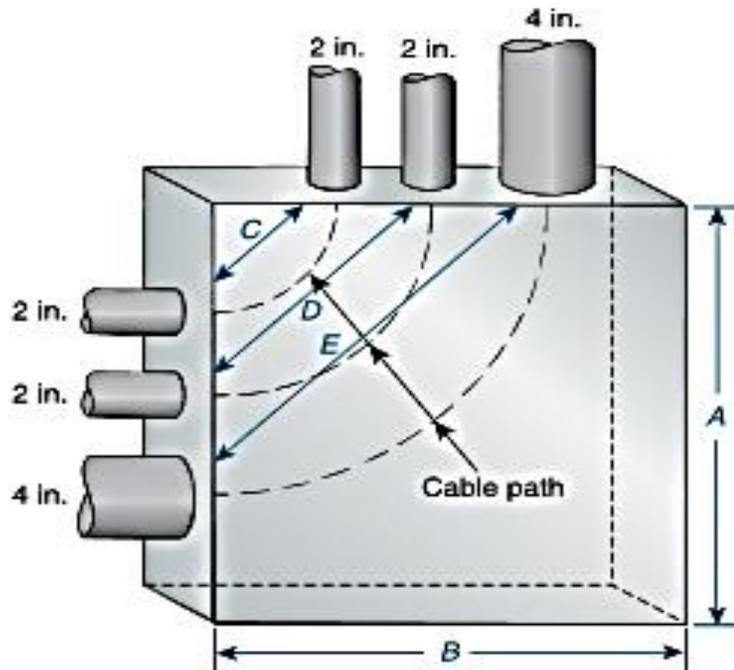


$$\begin{aligned}
 &6 \times 2 \text{ in. (trade diameter of largest raceway)} = 12 \text{ in.} \\
 &12 \text{ in.} + 5 \text{ in. (sum of diameters of other entries, row 2 only)} \\
 &= 17 \text{ in. (min. required from each entry to opposite wall)}
 \end{aligned}$$

Fuente: NEC 2011. Artículo 314.28. Cajas de paso. Página 379.

Consulta: 10 de septiembre de 2016.

Figura 187. Cálculo para dimensionamiento de una caja de paso



$$\begin{aligned}
 A &= (6 \times 4 \text{ in.}) + 2 \text{ in.} + 2 \text{ in.} = 28 \text{ in. min.} \\
 B &= (6 \times 4 \text{ in.}) + 2 \text{ in.} + 2 \text{ in.} = 28 \text{ in. min.} \\
 C &= 6 \times 2 \text{ in.} = 12 \text{ in. min. required between raceways} \\
 &\quad \text{enclosing the same conductor} \\
 D &= 6 \times 2 \text{ in.} = 12 \text{ in. min. required between raceways} \\
 &\quad \text{enclosing the same conductor} \\
 E &= 6 \times 4 \text{ in.} = 24 \text{ in. min. required between raceways} \\
 &\quad \text{enclosing the same conductor}
 \end{aligned}$$

Fuente: NEC 2011. Artículo 314.28. Cajas de paso. Página 379.

Consulta: 10 de septiembre de 2016.

- Dimensiones más pequeñas: Las cajas o cuerpos de conducto de dimensiones menores que lo indicado en las secciones 1 y 2, estará autorizado para instalaciones de combinaciones de conductores que son menores que el máximo de llenado del conducto o tubería que se utiliza, permitido en la tabla CLXVIII. Siempre que el cuerpo de la caja o conducto ha sido clasificado para, y está permanentemente marcado con el número máximo y el tamaño máximo de los conductores autorizados.

- Los conductores de guía en cajas de conexiones. En cajas de paso o cajas de conexiones que tienen cualquier dimensión de más de 1,80 metros (6 pies), todos los conductores deberán estar cableados o acondicionados de manera aprobada.
- Cubiertas. Todas cajas de tirar, cajas de conexiones, y los cuerpos de conductos estarán provistos de tapaderas compatibles con la caja o construcción del cuerpo del conducto y adecuadas para las condiciones de uso. Cuando se usa, cubiertas metálicas deberán cumplir con los requisitos de puesta a tierra indicados en el artículo 250,110 del NEC.
- Las barreras permanentes. Donde las barreras permanentes se instalen en una caja, cada sección será considerada como una caja separada.
- Bloques de distribución de alimentación. Se permitirá energizar bloques de distribución en sala de cajas de paso y de unión para más de 1 650 cm<sup>3</sup> (100 pulgadas<sup>3</sup>). Para las conexiones de conductores si están instalados en cajas y donde la instalación cumple con lo indicado de (1) a (5).

Excepción: equipo de puesta a tierra barras de terminales se autorizará en pequeños recintos.

- Instalación. Bloques de distribución de energía instalados en cajas deben estar certificados.
- El bloque de distribución de energía deberá estar instalado en una caja cuyas dimensiones no sean menores a lo especificado en las instrucciones de instalación del bloque de distribución de energía.

- Espacio de doblez del alambre. Alambre de espacio de flexión en los bornes de los bloques de distribución eléctrica deberá cumplir con lo indicado en el artículo 312,6 del NEC 2011.
- Las piezas activas. Bloques de distribución de energía no deberán tener partes vivas sin aislar expuestos dentro de una caja, si no se instala la tapa de la caja.
- A través de conductores. Cuando se utiliza las cajas de paso o de las uniones de conductores que no terminan en el bloque (s) de distribución de energía, a través de la los conductores estarán arreglados por lo que los terminales del bloque de distribución de energía, estén limpios después de la instalación.

**Figura 188. Instalación de conductores eléctricos en cajas de paso**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 188 se observa la instalación de conductores eléctricos dentro de cajas de paso metálicas, así como la aplicación del criterio para el dimensionamiento de las mismas.

Figura 189. **Cajas de paso para la distribución de conductores eléctricos**



Fuente: elaboración propia.

#### **4.4.6. Pozos de visita**

Los pozos de visita en la acometida primaria y en las secundarias deberán construirse de acuerdo con lo indicado en las normas de la empresa eléctrica que suministrará el servicio.

Todos los pozos deberán ser tratados con compuestos que aseguren su impermeabilidad, se dejará en el fondo de cada pozo, un sumidero de desagüe que deberá ser a base de graba o piedrín.

Con el objeto de inspeccionar los pozos, la tapadera que los cubre será fácilmente desmontable y liviana.

Figura 190. **Pozos de visita para acometidas tipo primaria y secundaria**

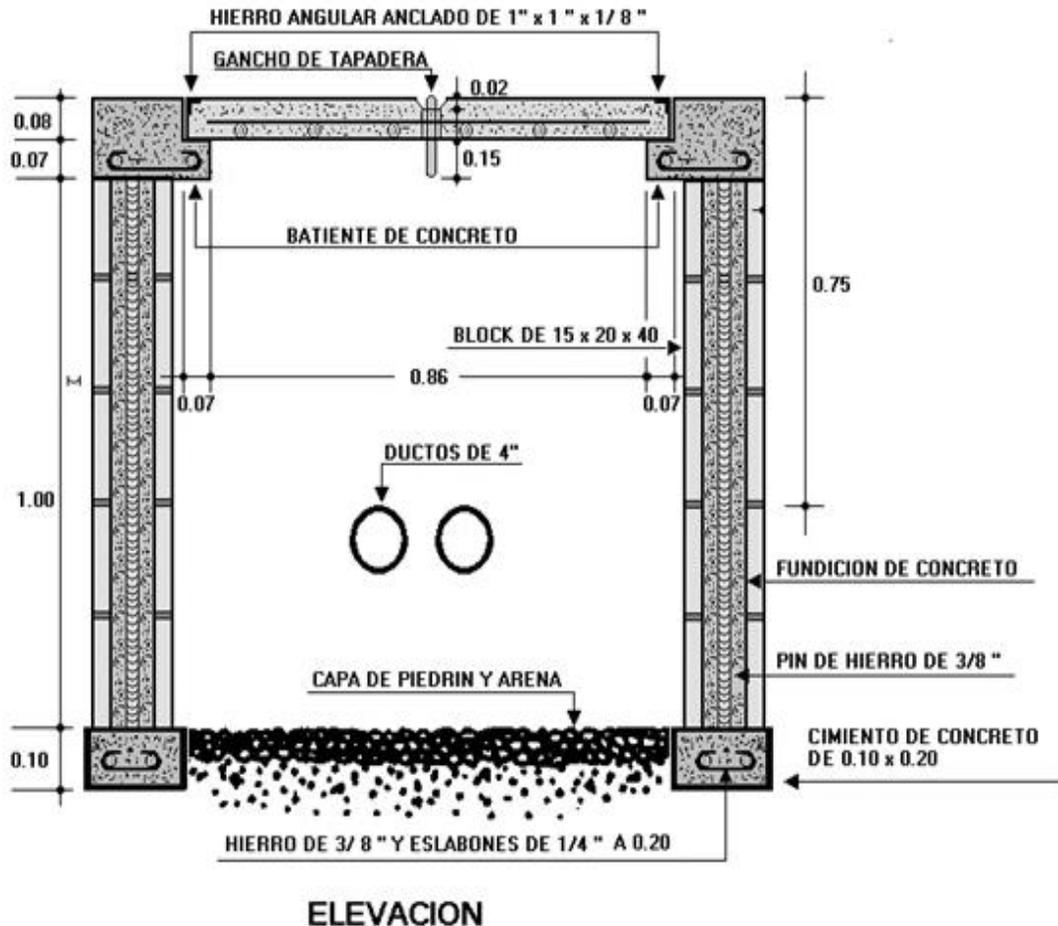


Fuente: elaboración propia.

En el caso de los pozos de visita para la acometida primaria en media tensión, se utilizará pozos de tipo “H” de acuerdo a normas de EEGSA.

Las características de construcción que deberá cumplir un pozo del tipo “H” son proporcionadas por la Empresa Eléctrica de Guatemala Sociedad Anónima, cuyas normas son aplicadas por la empresa suministradora del servicio hacia el centro hospitalario.

Figura 191. Características de construcción para un pozo tipo "H"

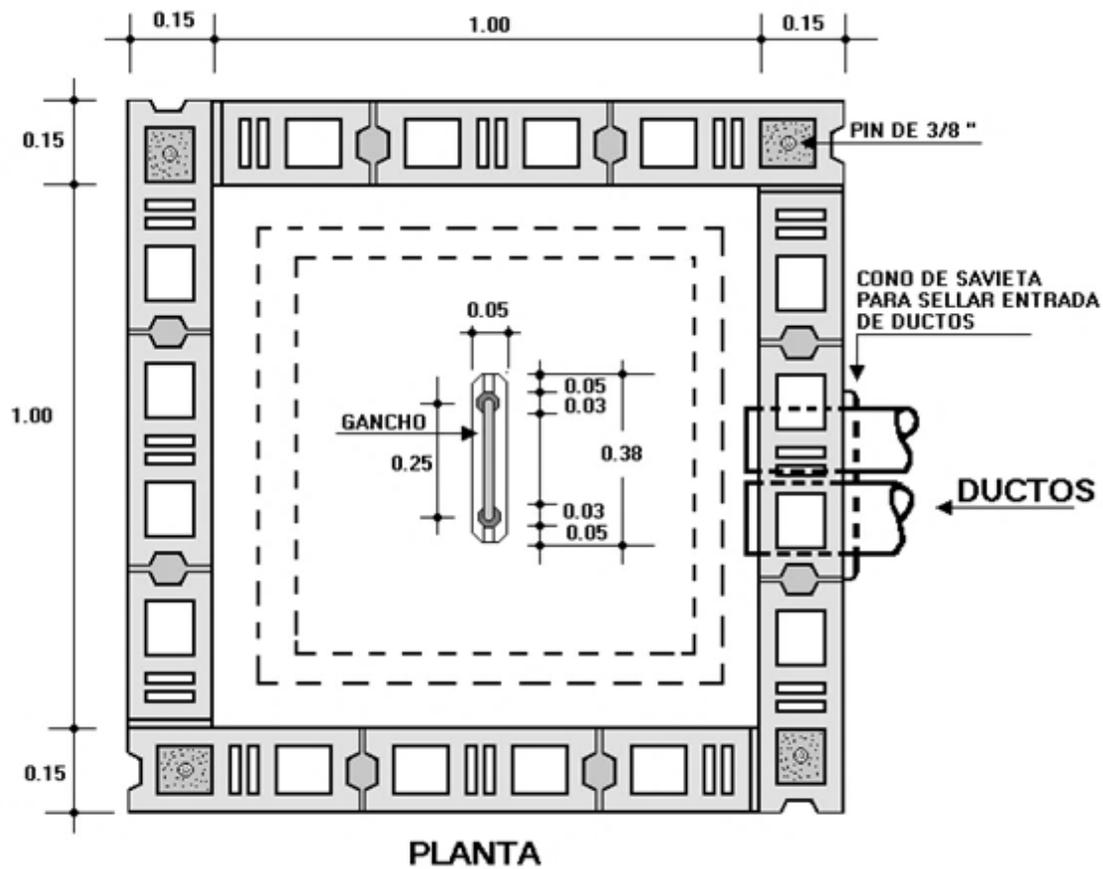


Fuente: Normas EEGSA. Consulta: 12 de septiembre de 2016.

Para el caso de los pozos de visita tipo secundarios, serán construidos de paredes de ladrillo recosido colocado en forma de sogá, las paredes repelladas, afinadas y pulidas, con las siguientes características: serán de concreto de 175 kg/cm<sup>2</sup> (2 500 psi), (mezcla 1:2:4); el fondo estará construido sobre una capa de suelo cemento previamente compactada. En el piso de las cajas se instalará una capa de grava de 10 centímetros para el drenaje natural o conectado al sistema de drenaje.

Brocal y tapaderas de 8 centímetros de espesor, fabricadas de concreto de resistencia a la compresión de 4 000 Psi y varillas de acero corrugado original.

Figura 192. **Vista en planta detalle para la construcción de un pozo tipo "H"**



Fuente: Normas EEGSA. Consulta: 13 de septiembre de 2016.

## **5. DISEÑO EN BAJA Y MEDIA TENSIÓN**

### **5.1. Diseño en baja tensión**

En los capítulos 3 y 4 se ha indicado el procedimiento para realizar la metodología a implementar en el diseño para el sistema en baja tensión que alimentará los sistemas de iluminación interior y exterior, así como los sistemas para tomas de corriente y los sistemas de fuerza.

Para el sistema de iluminación interior se ha analizado las características para cada uno de los ambientes en donde se diseñará la iluminación, tomando en cuenta los materiales constructivos en cada ambiente así como los colores del techo, paredes y piso, de acuerdo a la necesidad requerida en el nivel de iluminación dimensionado en LUX según su aplicación y según el nivel de iluminación recomendada en las normas IESNA, para locales de asistencia médica, se deberá clasificar el tipo de iluminación a utilizar en el diseño: directo, semidirecto, indirecto y semi-indirecto.

La iluminación exterior deberá cumplir los índices de iluminación recomendados en las normas IESNA, de manera tal que el diseño cumpla con las características para la seguridad del centro médico.

En el sistema de iluminación, tanto interior como exterior, se deberá considerar las cargas eléctricas, la potencia consumida de cada una de las luminarias que integrarán los circuitos eléctricos de alumbrado según la capacidad de consumo en amperios, de acuerdo con lo indicado en los artículos de la norma NFPA 70 (NEC) y el tipo de voltaje de operación en el sistema monofásico. Se integran de esta manera los circuitos de iluminación que serán asignados a cada uno de los tableros de distribución en baja tensión, que se constituyen en centros de carga, ubicados estratégicamente, para reducir el costo económico de inversión para los diferentes materiales a utilizar.

Las características en cada ambiente, clasifican el tipo de materiales a utilizar para crear los circuitos derivados de iluminación, definiendo el tipo de tubería, diámetro, sistema de soporte o anclaje, tipo de conductor eléctrico, así como el aislante, rutas, tipo de instalación, sobre puesta o empotrada, aérea o subterránea, cumpliendo con los artículos indicados en la norma NFPA 70 (NEC). Los receptáculos o interruptores, sensores de presencia, o sistemas de control para las luminarias, deberán también cumplir con los requerimientos adecuados para el tipo de instalación que corresponde al grado hospitalario, completando de esta manera el sistema de iluminación.

En la definición del sistema para tomas de corriente, el diseño debe considerar el tipo de ambiente en donde será instalado el sistema, y clasificación de lugares peligrosos. Debido a que habrá lugares en donde se producen diferentes tipos de gases medicinales, los cuales pueden ser explosivos, definiendo el grado de protección tipo hospitalario para cada receptáculo, y de acuerdo con la norma NFPA 70 (NEC) en la actualización del año 2014, se requiere que todo receptáculo para toma de corriente sea con protección de falla a tierra y protección de falla de arco.

En el capítulo 3 se indica la metodología para el diseño de este sistema, cumpliendo con lo indicado en los artículos de la norma NFPA 70 (NEC). Las características de cada uno de los equipos médicos por instalar en el hospital, definirá la capacidad para el diseño de los conductores eléctricos, su protección por cada ramal o circuito derivado, tipo de conductores, aislamiento, diámetro de tubería, sistema de soporte, tipo de instalación (aérea o subterránea). El voltaje de operación, la capacidad en amperios, definirá la cantidad de unidades por instalar en cada uno de los circuitos, de acuerdo con las normas y según el voltaje de operación para el sistema monofásico.

El sistema de fuerza será constituido por componentes del tipo mecánico. Es la principal fuente para la alimentación de los motores eléctricos que accionarán los sistemas para elevadores, bombas para distribución de agua potable, sistema de aire acondicionado, bombas para el sistema contra incendio, equipos de lavandería, equipos para cocina, sistema de energía ininterrumpida UPS. En la protección para cada circuito ramal, en el punto más cercano al equipo se instalará cajas del tipo nema 1 o 3R, de manera tal que sea accesible y fácil de realizar el proceso de instalación y mantenimiento futuro.

Las características del tipo de cajas por utilizar corresponderán a la clasificación del tipo de ambiente, según el grupo o grupos particulares de locales peligrosos, de acuerdo con lo indicado en el Código Eléctrico Nacional, Norma NFPA 70 (NEC) para el diseño de la envolvente en cuestión.

En la formulación del diseño se deberá tener en cuenta la capacidad de consumo en corriente, el tipo de voltaje para operación de cada equipo, sistema al cual será alimentado, monofásico o trifásico.

De acuerdo con estas características, se procederá calcular, según las ecuaciones indicadas en los capítulos anteriores para la capacidad de los conductores eléctricos, el tipo de aislamiento, clasificación del sistema de canalización, diámetro de tuberías o bandejas porta cables, sistema de soporte, tipo de instalación aérea o subterránea, capacidad de protección.

De acuerdo con la ubicación de los equipos se diseñará el centro de control de motores, el cual será definido según la norma NFPA 70 (NEC) en sus características mecánicas como eléctricas, el sistema de protecciones de acuerdo con las capacidades de consumo de potencia y tipo de voltaje.

Como los motores eléctricos generan potencia reactiva al sistema, se diseñará el banco de capacitores de acuerdo con la metodología indicada en el capítulo 3. Se hará de manera tal que se mantenga con un valor mayor al 90% del factor de potencia en el sistema, para evitar sanciones de la empresa suministradora del servicio eléctrico.

Definido cada uno de los sistemas: iluminación, tomas de corriente y fuerza, tipo de voltaje de operación, sistema monofásico o trifásico, se realiza el diseño para cada uno de los subtableros de distribución o tableros secundarios. Se toman en cuenta sus características mecánicas y eléctricas, ubicación, tipo de ambiente en el cual será instalado, según su clasificación de acuerdo a los lugares peligrosos según la norma NFPA 70 (NEC).

El diseño se basa en el sistema de distribución radial expandido, de acuerdo con el diagrama unifilar. Se distribuye en baja tensión con un voltaje de operación de 480 voltios desde cada uno de los tableros generales. Para un sistema trifásico se utiliza para la distribución en baja tensión subestaciones secundarias del tipo (transformadores secos) en voltajes de operación de 208/120 voltios, sistema trifásico, voltaje requerido para la operación de equipos médicos, equipos de oficina, laboratorio y otros, que se utilizará en un mayor porcentaje dentro del hospital.

La capacidad de consumo en potencia y el tipo de voltaje de operación define el diseño para los circuitos derivados que suministrarán la energía eléctrica a cada uno de los tableros secundarios. Estos son alimentados por los transformadores del tipo seco. Con esta característica se calcula los conductores eléctricos, tipo de canalización, clasificación del tipo de protecciones, capacidades para estas protecciones, así como el método de instalación, tipo aérea o subterránea.

De acuerdo con la información obtenida de la especificación u hoja técnica de los transformadores del tipo seco, se deberá diseñar cada una de las bases de soporte de acuerdo al peso (obra civil), y la distancia de separación según lo indicado en la norma NFPA 70 (NEC).

Para el sistema de distribución en baja tensión en voltaje de operación de 480 voltios, se diseña, según la capacidad de consumo en amperios, cada uno de los ramales o circuitos derivados que alimentarán los transformadores del tipo seco. Además, los equipos que operan en este sistema trifásico, utilizando la metodología indicada en el capítulo 3.

El circuito derivado que operará en 480 voltios, ya que es un sistema trifásico en baja tensión, estará diseñado para poder suministrar energía eléctrica a cada equipo médico de acuerdo a sus características técnicas, consumo en potencia real y factor de potencia. En el caso de los motores eléctricos se analiza su eficiencia, capacidad en caballos de fuerza (HP), caída de tensión de acuerdo a la longitud del circuito.

Para los tableros de distribución secundarios, así como los transformadores del tipo seco, será la máxima corriente de diseño, con la cual se evalúa la capacidad de los conductores eléctricos, diámetro de tubería a utilizar, tipo de canalización (ya sea en tubería o bandeja porta cables) y sistema de soporte. Se tendrá énfasis en el tipo de ambiente clasificado como peligroso por utilizar, cumpliendo con los requerimientos de la norma NFPA 70 (NEC).

De acuerdo con las características de la instalación hospitalaria, se ha diseñado para operar con un sistema trifásico alimentado en media tensión hacia cada una de las subestaciones de potencia. Estas, por el espacio restringido, han sido diseñadas con frente muerto, del tipo pedestal. Cumpliendo con lo indicado en el artículo 517 del NEC, se ha creado dos circuitos eléctricos de distribución, el sistema normal y el sistema de emergencia, dentro del cual se incluye el sistema crítico.

Desde cada una de las subestaciones se diseñan los tableros generales, los cuales, debido a la capacidad de corriente a distribuir, serán del tipo gabinete normado "UL" con las características para una instalación industrial. Se calculará la corriente de diseño, con base en la demanda máxima estimada.

Acerca de la capacidad de las barras, deberán ser con un factor de 125% mayor a la capacidad máxima a instalar, cumpliendo con lo indicado en la norma NFPA 70 (NEC).

Se dimensiona las barras, la cuales serán de cobre, tendrán la capacidad necesaria y la distribución será estándar, de forma tal que permitan una fácil distribución dentro del tablero por la parte inferior y superior. En el diseño se deberá incluir la parte mecánica como la eléctrica, de acuerdo con lo indicado en el capítulo 3.

De acuerdo con los cuadros de carga, se observa el diseño para cada una de las protecciones o *breakers* según la capacidad de corriente a transportar. Se define el número de polos para cada protección. El sistema de protección se comportará en forma escalonada, desde la capacidad mayor hacia la capacidad inferior aguas abajo, para el control y la protección de cada uno de los circuitos derivados.

Estos tableros generales, además del diseño mecánico y eléctrico, contarán con un sistema de medición automático para indicar los valores de potencia, factor de potencia, amperios, voltios, balance entre fases. También cumplirá con lo indicado en la norma NFPA 780 al implementar la utilización de los TVSS para la protección adicional de cada uno de los tableros eléctricos y un banco de capacitores, para mejorar el factor de potencia y evitar sanciones por la empresa suministradora del servicio.

Los tableros generales, por sus características, utilizarán interruptores de potencia del tipo motorizado para los *breakers* principales. Según la capacidad indicada en amperios, cumplirán además de lo indicado en la norma NFPA 70 (NEC), con las normas IEC. Con la información proporcionada por los constructores, a través de la hoja técnica de cada una de las protecciones, se seleccionará el más idóneo.

Se utilizará dos grupos electrógenos para suministrar la potencia adecuada al centro médico, que operarán en forma sincronizada, de manera tal que cuando exista una falla en el sistema de distribución por parte de la empresa suministradora del servicio eléctrico, se mantendrá energizada para la seguridad eléctrica de la instalación hospitalaria, cumpliendo con lo indicado en el artículo 517 y el artículo 700 del NEC.

El diseño deberá contemplar la corriente máxima de diseño para el sistema de emergencia, de acuerdo con lo indicado en el cuadro de cargas del tablero general de emergencia. Se considerará los factores que intervienen en un motor mecánico, potencia nominal que no será superior al 80%, pérdidas por ventilación, filtros, lubricantes, combustibles, mantenimiento, etc. que constituye otro 10% y pérdidas con turbo compresor 5% adicional, y se calculará la capacidad real para el grupo electrógeno.

Para realizar el sincronismo entre ambos grupos electrógenos, se deberá utilizar una celda de sincronismo, la cual es suministrada por el fabricante de los grupos, de acuerdo con las características de funcionamiento definidas en el diseño.

## 5.2. Diseño en media tensión

En relación al diseño en media tensión, se realizará con la información obtenida en el diseño en baja tensión. De esta información se conoce la capacidad total instalada que tendrá el hospital indicada en kVA. En la norma NFPA 70 (NEC), se indica que el calibre mínimo del conductor en media tensión corresponde a un número 2 AWG. De acuerdo con lo indicado en el capítulo 2, se ha seleccionado el calibre número 1/0 para realizar la acometida eléctrica en media tensión.

Este conductor eléctrico será del tipo monopolar, con características de aislamiento del tipo XLPE, para un voltaje de operación de 15 kV en cada una de las fases y un conductor con aislamiento tipo THHN # 1/0 para la línea neutral. De acuerdo con esta información y cumpliendo con los requerimientos en las normas de la compañía suministradora, se utilizará tubería del tipo IMC roscada con un diámetro de  $\varnothing 4''$ , que viene desde el poste de recibo, el cual constituye una estructura suspendida del tipo VI de acuerdo con las Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución (NTDROID).

También, de acuerdo a las Normas Técnicas de Servicio de Distribución (NTSD), se incluye las libranzas correspondientes para el diseño de las líneas de distribución en media tensión, indicando las distancias horizontales y verticales mínimas que deberá tener de separación entre conductores eléctricos, circuitos, estructuras y otro tipo de instalaciones por transportar dentro de la misma línea.

La empresa suministradora del servicio eléctrico define el punto de inicio o arranque de donde realizaremos la conexión para la acometida eléctrica en media tensión. Por ser un servicio de distribución en media tensión en forma aérea, la estructura por diseñar, que en nuestro diseño corresponde a fin de línea, deberá contemplar los esfuerzos mecánicos para soporte, así como las normas que deberá cumplir los accesorios o herrajes y los aisladores de diferentes tipos.

Todos los herrajes deberán ser galvanizados, por inmersión en caliente, de acuerdo con la norma ASTM A-153 98 clase C. Los aisladores serán seleccionados de acuerdo con las normas aisladores de suspensión tipo poliméricos norma ANSI C29.13 clase DS-15 para 15kV; aislador tipo pin perno rígido norma ANSI C29.5 clase 55-4. Contará también con grapas de acero galvanizado de 12,000 libras. Estos elementos serán utilizados para el aislamiento de la tensión eléctricas y la tensión mecánica que se ejercerá en el tendido eléctrico.

Los materiales descritos estarán suspendidos en la estructura del tipo VI, la cual será instalada en un poste de concreto centrifugado norma caribe, del tipo autosoportado, con una base hormigonada para resistir los esfuerzos mecánicos y no utilizará retenida, según lo indicado en el capítulo 2.

En el caso de la Empresa Eléctrica Municipal de Quetzaltenango (EEMQ), los requerimientos para este tipo de acometida eléctrica en media tensión corresponden a transformadores de corriente (CT's) y transformadores de potencia (PT's), los cuales son dimensionados de acuerdo a características técnicas, para el tipo de rango de precisión, y la utilización de un medidor eléctrico clase 20.

En el capítulo 2 se indica el proceso para el cálculo de este sistema de medición en media tensión, así como el diagrama de conexión para el medidor y tipo de caja a utilizar.

Dentro de la instalación. La casa de máquinas es el lugar en donde se ubican los reguladores de voltaje, que servirán para mantener estable el voltaje de operación del sistema trifásico, y evitar daños a los equipos dentro del hospital instalados, desde el primer pozo de registro del tipo "H", hacia la casa de máquinas eléctricas, se ha diseñado la utilización de tubería del tipo dB120 PVC, la cual consiste en una tubería que resiste el alto impacto, diseñada para su utilización en forma subterránea, lo que reduce costos de materiales y tiempo de trabajo en el proceso de instalación.

Luego de los reguladores de voltaje, se ha diseñado una celda de distribución o derivación en media tensión, cuya función es la de distribuir la energía eléctrica hacia cada una de las subestaciones: la de 1 500 kVA, que alimentará el sistema de emergencia y la de 750 kVA que alimentará al sistema normal, de acuerdo con los artículos 517 y 700 del NEC.

Para la protección de los equipos de medición instalados en la estructura tipo VI se realizará un sistema de puesta a tierra, de forma tal que al momento de recibir un impacto por descarga atmosférica o por maniobras en la red de distribución en media tensión, estén protegidos. Se hará por medio de una bajante constituida por un conductor de cobre # 2 desnudo, y un sistema de 3 electrodos o varillas de acero recubierto de cobre con un diámetro de  $\varnothing$  5/8" por 8 pies de longitud, enterrados en pozos para tierra física tratados químicamente.

### **5.3. Diseño del sistema de puesta a tierra y protección con pararrayos**

El sistema de puesta a tierra protegerá la vida humana y los equipos instalados en el hospital, cumpliendo con lo indicado en los artículos 250, 430 y 517 de la norma NFPA 70 (NEC). Se utilizará un sistema de malla construido con 24 electrodos de cobre, los cuales son varillas de acero recubiertas de cobre de 5/8" por 10 pies certificadas "UL" unidas por medio de soldadura del tipo exotérmica con conductor eléctrico de cobre desnudo calibre # 4/0. De acuerdo al cálculo, este sistema tendrá una resistencia menor a 1 ohmio; se utilizará como reactivo químico GEM, para garantizar el valor requerido en ohmios.

El GEM es un enriquecedor de tierras y puede aplicarse a los conductores de un sistema de puesta a tierra para reducir la resistencia del suelo local y la baja impedancia de tierra.

Adicional a esta malla, se realizará una red de tierras físicas para la interconexión con el piso conductivo de los quirófanos, de manera tal que el valor del sistema sea menor a 1 ohmio y evite las corrientes parásitas que puedan generarse en el momento de realizar un procedimiento quirúrgico. Este sistema será interconectado a la malla para mantener el valor de la equipotencialidad del sistema de puesta a tierra.

Un factor importante que determina la elección de un sistema de puesta a tierra son las normas y códigos aplicables:

Europeos: IEC/EN 62305-3, EN 50164 series, EN 60364-54, NFC 17-102

Estadounidenses: NFPA 780, IEEE, STD80, IEEE 837, NFPA 70

Australianos: AS1768

Entre otros factores a considerar se incluyen:

- Las necesidades y el diseño de las instalaciones (ubicación y cuestiones de espacios confinados)
- El entorno del suelo de la propia instalación (Por ejemplo, la resistencia característica del suelo)
- Sistemas de puesta a tierra existentes
- Susceptibilidad a las variaciones estacionales en el contenido de la humedad y temperatura del suelo
- Exposición al tráfico de peatones
- Tensiones de paso y de contacto

En nuestro caso estará unido al sistema de puesta a tierra del pararrayos por medio de un Conector de Ecuilización de Potencial (CEP) el cual, al momento de un impacto de una descarga electro atmosférica, actúa como un circuito abierto.

No obstante, una vez que la diferencia de potencial excede la tensión de ruptura del CEP (en condiciones de corrientes transitorias), el circuito se cierra automáticamente y el potencial de tierra queda ecualizado, para proteger a personas y equipos.

Para la interconexión entre cada uno de los sistemas de puesta a tierra se utilizará barras de cobre con aisladores y montura para la suspensión en paredes, denominadas placa equipotencial. Para los sistemas especiales o señales débiles, se utilizará placas equipotenciales denominadas: Barra Principal de Puesta a Tierra para Telecomunicaciones (TMGB) y Barra de Puesta a Tierra para Telecomunicaciones (TGB), que serán interconectadas también al sistema de puesta a tierra. Habrá un sistema equipotencial dentro de la instalación del hospital.

Por medio de la TMGB se interconectará el sistema de distribución para puesta a tierra de las tomas de corriente de uso en el sistema crítico, alimentado por el UPS, cuyos receptáculos están diseñados para operar como una toma de corriente grado industrial tierra aislada, para el equipo de computación.

En el caso del sistema de puesta a tierra del pararrayos, se deberá cumplir con los lineamientos indicados en las normas NFPA 780, IEC 62305 y UL-96A. En ellas se define cada uno de los componentes que deberá llevar el sistema para el pararrayos, de acuerdo al tipo o clase, distancia de protección, análisis del riesgo para el tipo de estructura que corresponde a un hospital, selección de los materiales para realizar las bajantes, así como las características para poder librar obstáculos durante el recorrido hacia el sistema de puesta a tierra.

Al evaluar el análisis de riesgo se ha considerado el nivel de protección por utilizar en el centro hospitalario, el cual corresponde al nivel I con una protección del 99% para estructuras de muy alto riesgo, ya que todas las descargas eléctricas atmosféricas son un fenómeno estadístico que hace prácticamente imposible conseguir una protección del 100%.

## CONCLUSIONES

1. Se realizó una metodología aplicable para el diseño de un sistema eléctrico en media tensión de un centro hospitalario, con una capacidad de 2 250 kVA aplicando las normas y estándares del Código Nacional Eléctrico (NEC) y Asociación Nacional para la Protección contra el Fuego (NFPA).
2. Se definió los procedimientos para ejecutar una metodología en media tensión mediante la implementación de códigos y estándares, así como el cálculo para la clasificación y selección de los materiales y equipos que constituyen la acometida eléctrica en (MT) de acuerdo con la capacidad de carga eléctrica en kVA. Se seleccionó los conductores eléctricos para un voltaje de operación de 15 kV así como el tipo de canalización eléctrica.
3. Con la información obtenida de los cálculos realizados para determinar la carga total a instalar, se diseñó los equipos de regulación de voltaje, celda de distribución en media tensión (MT) y las características técnicas para la selección de los transformadores de potencia a ubicar dentro de la casa de máquinas eléctricas.
4. Se definió los procedimientos para realizar la metodología de diseño en baja tensión, en un voltaje de operación de 480/277 voltios, sistema trifásico. Se seleccionó las características mecánicas y eléctricas para los tableros generales que alimentarán el sistema eléctrico del hospital.

5. Se desarrolló un sistema de distribución en baja tensión para un voltaje de operación de 208/120 voltios, sistema trifásico, con características eléctricas para las subestaciones secundarias (transformadores del tipo seco) que alimentarán los subtableros de distribución que energizarán los sistemas de iluminación, tomas de corriente y circuitos derivados, con base en los lineamientos del Código Nacional Eléctrico (NEC).
6. Se definió el procedimiento para el diseño del sistema de puesta a tierra del centro hospitalario y la selección del diámetro de conductores eléctricos de acuerdo al cálculo realizado. Se clasificó todos los materiales normados por utilizar en la construcción de este sistema, cumpliendo con lo indicado en el NEC para la protección de la vida humana y de los equipos médicos, mecánicos e hidráulicos.
7. Se seleccionó el Sistema de Protección Contra el Rayo (SPCR) del edificio hospitalario, el cual cumple con las siguientes condiciones: capturar el rayo, conducir la corriente del rayo en forma segura a tierra, dispersar la corriente del rayo en la tierra y proteger los efectos secundarios del rayo. Además se observó que el uso de dispositivos de cebado es contemplado por la norma IEC-62305 y son rechazados por la norma NFPA 780.
8. Con la implementación del procedimiento y metodología, cumpliendo con las normas y estándares establecidos en el NEC, se diseñó y seleccionó el sistema de canalizaciones eléctricas, conductores eléctricos, selección del tipo de aislamiento según el nivel de clasificación para los lugares a utilizar, cajas de registro y paso, tipo de soportes a utilizar y la selección de los receptáculos a instalar en el hospital.

## RECOMENDACIONES

1. Contar con los conocimientos necesarios en relación a los sistemas de fijación, debido a que es importante conocer las propiedades mecánicas de los accesorios por utilizar para determinar los pesos de soporte para equipos, características de los mismos para su utilización dentro de losas y estructuras metálicas.
2. Durante el proceso de diseño, conocer las cargas puntuales de los equipos por instalar, hojas técnicas, características eléctricas y mecánicas, a fin de establecer los cálculos correspondientes para los alimentadores eléctricos y los tipos de tubería con sus diámetros a utilizar.
3. En relación al diseño de iluminación, también es importante contar con las hojas técnicas correspondientes a cada una de las luminarias para verificar las curvas fotométricas, si el tipo de iluminación es el adecuado, funcionamiento de las mismas, revisión del ángulo de abertura, temperatura de la luminaria, así como el tipo de soporte o sujeción de acuerdo a las dimensiones y pesos determinados.
4. Para el diseño de tomas de corriente, es importante contar con los catálogos correspondientes para definir el tipo de receptáculo por utilizar, así como lo indicado en las normas del NEC para el diseño de circuitos y cálculo de unidades por circuito.

También se debe conocer la información técnica de los equipos médicos a los cuales se conectarán los receptáculos de manera que las espigas de conexión sean las adecuadas.

5. La clasificación de las cajas NEMA para interior e intemperie, en su caso tipo NEMA 1 y NEMA 3R, es importante de acuerdo a la ubicación. Para la definición de los conductores eléctricos, diámetros de tubería, protecciones termomagnéticas de los equipos para extracción de aire, bombas de agua, *chillers*, calderas, unidades manejadoras de aire, cuartos fríos, unidades de precisión para aire, elevadores, montacargas, transformadores de distribución del tipo seco.
6. De acuerdo a esta clasificación se deberá realizar el diseño eléctrico para sus alimentadores, rutas adecuadas para los circuitos, sistema de fijación, rutas críticas que puedan causar obstáculos en el recorrido de tuberías de otras especialidades.
7. En el proceso de diseño se debe tener la información en relación a las rutas de distribución de las tuberías que comprenden los sistemas de aire acondicionado, gases medicinales, agua potable, venteo, aguas pluviales, de manera que al momento de realizar la construcción no se produzca interferencias que generen obra suplementaria para la modificación de rutas.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Cooper industries. *Reguladores de voltaje*, de EATON [en línea].  
〈<http://www.cooperindustries.com/content/public/en.html>〉. [Consulta: 29 de mayo de 2016].
2. EATON. *Supresor de picos para transientes*, de EATON [en línea].  
〈<http://www.eaton.com/Eaton/index.htm>〉. [Consulta: 16 de julio de 2016].
3. EEGSA. *Normas de la Empresa Eléctrica de Guatemala*. Guatemala:  
Comisión Nacional de Energía Eléctrica CNEE. 134 p.
4. Epcos. *Factor de corrección de potencia*, de Epcos [en línea].  
〈<https://en.tdk.eu/>〉. [Consulta: 15 de julio de 2016].
5. Erico. *Protección eléctrica de instalaciones*, de Erico [en línea].  
〈<http://www.ericocom.com/default.asp>〉. [Consulta: 18 de agosto de 2016].

6. Federal Pacific. *Transformadores tipo seco*, de Federal Pacific [en línea].  
〈<http://federalpacific.com/>〉. [Consulta: 30 de junio de 2016].
  
7. HELITA. *Catálogo protección contra el rayo*, de HELITA [en línea].  
〈<http://penangkalpetir.biz/download/brosur-penangal-petir-helita-pulsar.pdf>〉. [Consulta: 26 de agosto de 2016].
  
8. Hubbel. *Guía para la selección de productos para iluminación*, de  
Hubbell lighting, [en línea]. 〈<http://www.hubbel.com/>〉. [Consulta: 30 de agosto de 2015].
  
9. Ingesco. *Compuesto mineral quibacsol*, de Ingesco [en línea].  
〈<http://www.ingesco.com/es/productos/compuesto-mineral-quibacsol>〉  
[Consulta: 17 de agosto de 2016].
  
10. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. *Normas Técnicas Colombianas (NTC)*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. Bogotá, Colombia. 2000. 847 p.

11. Laszlo. Carlos. *Manual de Luminotecnia para interiores*. [en línea].  
〈[http://www.laszlo.com.ar/Items/ManLumi/issue/Manual de Luminotecnia.PDF](http://www.laszlo.com.ar/Items/ManLumi/issue/Manual%20de%20Luminotecnia.PDF)〉. [consulta: 16 de agosto de 2015].
12. 3M productos. *Terminal de potencia*, de 3m productos [en línea].  
〈[http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en\\_US/Electronics\\_NA/Electronics/Products/](http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/Electronics_NA/Electronics/Products/)〉 [Consulta: 22 de mayo de 2016].
13. Siemens. *Celda de derivación en media tensión*, de Siemens [en línea].  
〈<http://www.siemens.com/entry/mx/es/>〉. [Consulta: 6 de enero de 2016].
14. STMEU. *Celda de sincronismo*, de STMEU [en línea].  
〈<http://www.stmeu.com/>〉. [Consulta: 29 de mayo de 2016].
15. S&C Electric Canada LTD. (1986). *Fusibles tipo K*, de S&C Electric Canadá LTD [en línea].  
〈[http://www.cva.itesm.mx/biblioteca/pagina\\_con\\_formato\\_version\\_oct/apaweb.html](http://www.cva.itesm.mx/biblioteca/pagina_con_formato_version_oct/apaweb.html)〉 [Consulta: 16 de mayo de 2016].

16. Viakon. *Conductor eléctrico de cobre*, de Viakon [en línea].  
⟨<http://www.viakon.com/>⟩. [Consulta: 15 de febrero de 2016].

## APÉNDICE

En la siguiente figura se observa la maqueta para el diseño estructural del centro hospitalario.

Apéndice 1. **Maqueta centro hospitalario**



Fuente: elaboración propia, empleando fotografía en plano inclinado.



## ANEXOS

Anexo 1. Clasificación por grados de protección para instalaciones eléctricas. Dentro de la descripción de la metodología para el diseño del sistema de distribución en media tensión y baja tensión, se ha indicado las características de los equipos de acuerdo al grado de protección. A continuación, se describe la clasificación de la norma NEMA (*National Electrical Manufacturers Association*) la cual proporciona los grados de protección para envolventes de equipo eléctrico (para un voltaje máximo de operación de 1 000 voltios) similar a los del estándar IEC 529.

Las letras que siguen al número NEMA indican el grupo o grupos particulares de locales peligrosos, según se define en el Código Eléctrico Nacional (NEC), para el que se diseñó la envolvente en cuestión. La designación de este tipo de NEMA está incompleta sin una o varias letras de sufijo. La publicación de las normas NEMA prueba los productos bajo condiciones del ambiente tales como corrosión, oxidación, hielo, aceite y fluidos refrigerantes. La norma IEC 529 no lo hace, y no especifica el grado de protección contra los daños mecánicos al equipo. Por esta razón, y porque las pruebas y evaluaciones para otras características no son idénticas, las designaciones IEC para la clasificación de envolventes no pueden igualarse exactamente con los números NEMA de tipo de protección.

## Anexo 2. Definición de la protección NEMA

NEMA	Definición
1	Propósito general: protege contra el polvo, luz y salpicaduras indirectas, pero no es hermético al polvo; fundamentalmente previene contacto contra partes energizadas; usado en interiores y bajo condiciones atmosféricas normales.
2	Estanco al goteo. Similar al tipo 1 pero con tapa de goteo; usado cuando la condensación puede ser severa (salas de enfriamiento, lavanderías).
3 y 3S	Resistente al agua. Protege contra condiciones climáticas riesgosas como lluvia y agua nieve. Usado en exteriores.
3R	Para uso exterior. Proporciona grado de protección contra lluvia y formación de hielo.
4 y 4X	Debe excluir por lo menos 65 GPM de agua desde una boquilla de 1 pulgada a una distancia no menor de 3 metros por 5 minutos. Usado en exteriores.
5	A prueba de polvo fino. Suministrado en empaquetaduras o equivalentes para excluir polvo.
6 y 6P	Sumergible. Diseño depende de condiciones especificadas de presión y tiempo. Sumergible en agua.
7	Lugares peligrosos. Para uso en ambientes interiores clase I, grupos A, B y C según NEC.
8	Lugares peligrosos. Para ambientes interiores y exteriores, uso en lugares clasificados como Clase I, grupos A, B, C y D según NEC.
9	Lugares peligrosos. Para ambientes interiores y exteriores, uso en lugares clasificados como Clase II, Grupos E, F o G según NEC.
10	Cumple con requisitos de seguridad en minería y salud.
11	Propósito general. Protege contra efectos corrosivos de líquidos y gases.
12 y 12K	Propósito general. Para uso interior, proporciona protección contra polvo suciedad y goteo de líquidos no corrosivos. Cumple con los test de resistencia a goteo, polvo y óxido.
13	Propósito general. Proporciona protección contra polvo, rocío, aceite y refrigerantes no corrosivos. Cumple con test para diseño con resistencia la aceite y óxido.

Fuente: [www.fermaelec.net](http://www.fermaelec.net). Consulta: 18 de octubre de 2016.

### Anexo 3. **Clasificación por zonas peligrosas**

La clasificación de áreas con atmosferas explosivas es un método de análisis que se aplica en donde pueden existir gases, nieblas, o vapores inflamables, fibras o polvos, con el fin de establecer las precauciones especiales que se deben considerar para la construcción, instalación y uso de materiales y equipos eléctricos.

Por tal razón, es necesario, como paso previo a la selección del material eléctrico, clasificar las diferentes áreas o zonas. La misma se lleva a cabo considerando tanto las sustancias presentes como su probabilidad de presencia.

La reglamentación internacional CEI distingue las siguientes categorías de zonas peligrosas en las atmósferas (con gases, vapores o nieblas) con riesgo de explosión.

Fuente: [www.delga.com](http://www.delga.com). Consulta: 18 de octubre de 2016.

#### Anexo 4. Clasificación de zonas peligrosas

Zona	Descripción
0	Zona en la cual una mezcla explosiva de gases, vapor o niebla, está presente permanentemente (la fase gaseosa en el interior de un recipiente o de un depósito cerrado constituye una zona "0").
1	Zona en la cual una mezcla explosiva de gases, vapor o niebla, es susceptible de formarse en servicio normal de la instalación.
2	Zona en la cual una mezcla explosiva puede aparecer con menor frecuencia o en casos (fugas o negligencia de utilización).
20	Esta es una zona en donde existen una atmósfera explosiva, en forma de una nube de polvo combustible mezclado con aire, todo el tiempo o durante largos periodos o frecuentemente.
21	Esta zona es aquella en la que la atmósfera explosiva en forma de nube de polvo combustible, mezclado con aire ocurre ocasionalmente durante la operación normal.
22	En esta zona la atmósfera explosiva en forma de una nube de polvo mezclado con aire no está presente durante la operación normal del equipo. Sin embargo, puede estar presente durante periodos breves. Las áreas peligrosas se clasifican en zonas según la frecuencia de aparición y el tiempo de presencia de una atmósfera explosiva de acuerdo a la definición de la norma IRAM-IEC-60079-10. Por su parte, el NEC clasifica estas áreas como:
Clase I	Son aquellos locales en los que en su atmósfera están o pueden estar presentes gases o vapores inflamables en cantidad suficiente como para producir una mezcla inflamable o explosiva. Los gases y vapores están organizados en cuatro grupos: A, B, C y D.
Clase II	Son aquellos lugares que son peligrosos debido a la presencia de polvos combustibles. Para los polvos las categorías están agrupadas en: Grupo E, F y G.
Clase III	Son aquellas áreas donde existen condiciones de peligrosidad debido a la presencia de fibras o materiales que produzcan pelusas inflamables. Esta clase de áreas no tienen grupos específicos que las identifiquen.

Fuente: [www.delga.com](http://www.delga.com). Consulta: 18 de octubre de 2016.

**Anexo 5. Dentro de las clases mencionadas el NEC considera:**

División 1: son locales en donde existen concentraciones peligrosas de líquidos, gases, vapores, polvos o fibras inflamables en forma continua o periódica, bajo condiciones normales de operación; o lugares en donde puede existir frecuentemente concentraciones peligrosas de tales sustancias debido a operaciones de mantenimiento o reparación, o debido a fugas; o áreas donde la interrupción de servicio u operaciones defectuosas de los equipos o procesos que pueden liberar concentraciones peligrosas de las sustancias inflamables, pueden también causar fallas simultáneas del equipo eléctrico.

División 2: son locales en los que líquidos, vapores o gases, polvos o fibras inflamables son manejados, procesados o usados. Estas sustancias inflamables pueden normalmente ser confinadas dentro de depósitos o sistemas cerrados desde donde pueden escapar solo en caso de ruptura accidental o falla de tales depósitos o sistemas, o en caso de operación normal de los equipos; o lugares en donde las concentraciones peligrosas de gases o vapores son normalmente prevenidas por ventilación artificial pero que pueden llegar a ser peligrosas debido a fallas u operación anormal del equipo de ventilación.

También pueden ser áreas adyacentes a la División 1, desde donde pueden ocasionalmente ser comunicadas concentraciones peligrosas de gases o vapores, a menos que tal comunicación sea prevenida, primero por adecuada ventilación de presión positiva desde una fuente de aire limpio, y segundo por precauciones efectivas contra fallas de ventilación.

Fuente: [www.delga.com](http://www.delga.com). Consulta: 18 de octubre de 2016.

En la actualidad, el código NEC y las normas UL están multando con la finalidad de acercarse más a la estructura de CENELEC e IEC (artículo NEC 505).

### Anexo 6. Equivalencia entre distintas zonas o divisiones según la normativa aplicada

Presencia de atmósfera explosiva	Normativa	Continua		Intermitente		En condiciones anormales	
		Gases	Polvos	Gases	Polvos	Gases	Polvos
Argentina	IEC	Zona 0	Zona 21	Zona 1	Zona 21	Zona 2	Zona 22
Europa	CENELEC		Zona Z (10)		Zona Z (10)		Zona Z (11)
Norte América	NEC	División 1				División 2	
	NEC 505	Zona 0		Zona 1		Zona 2	

Fuente: www.delga.com. Consulta: 18 de octubre de 2016.

### Anexo 7. Clasificación de gases en grupos según su energía mínima de ignición

Gas representativo	Argentina IRAM IEC 60079-0	Europa EN 50 014 IEC 60079-0	EE.UU. NEC art. 500 (Clase I)	Energía mínima de ignición (microjoules)
Acetileno	IIC	IIC	A	20
Hidrogeno	IIC	IIC	B	20
Etileno	IIB	IIB	C	60
Propano	IIA	IIA	D	180

Un material clasificado como IIC puede ser utilizado en IIA y IIB, un IIB en IIA mientras que un IIA no puede utilizarse en IIB o IIC.

Fuente: www.delga.com.\_Consulta: 18 de octubre de 2016.

## Anexo 8. Grado de protección de ingreso (*IP Rating*)

El código IP clasifica y evalúa los grados de protección proporcionada contra la intrusión de objetos sólidos (incluidas partes del cuerpo como manos y dedos), polvo, contacto accidental y agua en carcasas mecánicas.

### Protección contra partículas sólidas

El primer dígito indica el nivel de protección que ofrece la carcasa contra el acceso a piezas peligrosas (por ejemplo, conductores de electricidad, piezas en movimiento) y el ingreso de objetos extraños sólidos.

Fuente: [www.rittal.com](http://www.rittal.com). Consulta: 19 de octubre de 2016.

## Anexo 9. Significado del grado de protección IP

Nivel	Protección contra un objeto de tamaño	Efectivo frente a
0	-	Sin protección frente al contacto e ingreso de objetos
1	> 50 mm	Cualquier superficie amplia del cuerpo como el dorso de la mano, pero sin protección frente a contactos deliberados con una parte del cuerpo.
2	> 12,5 mm	Dedos u objetos similares
3	> 2,5 mm	Herramientas, cables gruesos, etc.
4	> 1 mm	La mayoría de cables, tornillos, etc.
5	Protección frente al polvo	La entrada de polvo no puede evitarse completamente, pero no debe entrar en cantidad suficiente como para que interfiera en el funcionamiento satisfactorio del equipo; protección completa contra el contacto
6	Hermético al polvo	Sin entrada de polvo; protección total contra el contacto

Fuente: [www.rittal.com](http://www.rittal.com). Consulta: 19 de octubre de 2016.

## Anexo 10. Protección contra el ingreso de líquido

Nivel	Protegido frente a	Probado para	Detalles
0	Sin protección	-	-
1	Goteras	Las goteras (gotas que caen verticalmente) no tendrán efecto nocivo.	Duración del test: 10 minutos. Agua equivalente a una precipitación de 1 mm por minuto
2	Goteras de agua con una inclinación de hasta 15°	El goteo vertical del agua no provocará daños si el cerramiento se inclina hasta un máximo de 15° de ángulo a partir de su posición normal.	Duración del test: 10 minutos. Agua equivalente a una precipitación de 3 mm por minuto
3	Agua pulverizada	Todo tipo de agua que caiga pulverizada con un ángulo de hasta 60° con respecto a la vertical no tendrá ningún efecto nocivo.	Duración del test: 5 minutos. Volumen de agua: 0,7 litros por minuto. Presión: 80 – 100 KPa.
4	Salpicaduras de agua	El agua que salpique la carcasa desde cualquier dirección no tendrá un efecto nocivo.	Duración del test: 5 minutos. Volumen de agua: 10 litros por minuto. Presión: 80 – 100 KPa
5	Chorros de agua	El agua proyectada desde una boquilla (6,3 mm) contra la carcasa desde cualquier dirección no tendrá efectos nocivos.	Duración del test: al menos 3 minutos. Volumen de agua: 12,5 litros por minuto. Presión: 30 kPa a una distancia de 3 metros
6	Chorros de agua potentes	El agua arrojada mediante chorros potentes (boquilla de 12,5 mm) contra la carcasa desde cualquier dirección no tendrá efectos nocivos.	Duración del test: al menos 3 minutos. Volumen de agua: 100 litros por minuto. Presión: 100 KPa a una distancia de 3 metros
7	Inmersión de hasta 1 metro	Se impedirá la entrada de agua en cantidades dañinas siempre que la carcasa esté sumergida bajo el agua en condiciones definidas de presión y tiempo (hasta 1 m de inmersión).	Duración del test: 30 minutos. Inmersión a una profundidad de 1 metro
8	Inmersión más allá de 1 metro	El equipo es apto para inmersión continua en agua bajo condiciones especificadas por el fabricante. Por norma general, esto significará que el equipo está herméticamente sellado. No obstante, en ciertos tipos de equipos es posible que pueda entrar agua, pero de tal manera que no produzca efectos dañinos.	Duración del test: inmersión continua en el agua. Profundidad especificada por el fabricante.

Fuente: [www.rittal.com](http://www.rittal.com). Consulta: 19 de octubre de 2016.