

PARÁMETROS Y CRITERIOS TÉCNICOS DE SEGURIDAD PARA LA INSTALACIÓN Y ADECUACIÓN DE SISTEMAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO

FRANCISCO JAVIER CORDERO LÓPEZ



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2013

PARÁMETROS Y CRITERIOS TÉCNICOS DE SEGURIDAD PARA LA
INSTALACIÓN Y ADECUACIÓN DE SISTEMAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO

FRANCISCO JAVIER CORDERO LÓPEZ

Trabajo de Grado para optar al título de:

Ingeniero Electricista

Director:

WILSON GIRALDO PICON

Magister en Potencia Eléctrica

Codirector:

GABRIEL ORDOÑEZ PLATA

Dr. Ingeniero Industrial

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA

2013

“Knowledge is of two kinds. We know a subject ourselves or we know where we can find information on it”

Dr Samuel Johnson

An eighteenth century

Writer and Critic

DEDICATORIA

Al creador de todas las cosas, el que me ha dado fortaleza para continuar cuando a punto de caer he estado; por ello, con toda la humildad que de mi corazón puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a Dios.

De igual forma, dedico este logro a: mi madre, mi hermana Mary y a mi novia Diana quienes son las luces de mi vida y mis más preciados tesoros, por darlo todo sin recibir nada, por querer con todo su corazón y por mantener su confianza en mis capacidades, aún cuando los demás la hubiesen perdido.

A mi padre, que siempre lo he sentido presente en mi vida, cuidándome y guiándome desde el cielo. Espero desde lo más profundo de mí ser, corresponder a ese sentimiento de orgulloso por su hijo, profesado por él hasta el momento de su partida.

A mi familia y en general a los demás seres queridos, que sienten como propios mis triunfos y fracasos.

AGRADECIMIENTOS

A la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER, por permitirme acceder a lo más fascinante que la vida misma puede ofrecer, *el conocimiento*.

Al MPE Ing. WILSON GIRALDO PICÓN por comprender desde un inicio la importancia y necesidad de brindar solución a una problemática del sector eléctrico nacional, valiéndose de su agudeza intuitiva y de este modo respaldar como director el presente trabajo de grado.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	50
PARTE 1. PARÁMETROS Y CRITERIOS TÉCNICOS DE SEGURIDAD ESENCIALES DE LAS INSTALACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO	54
1. GENERALIDADES DE LOS PARÁMETROS Y CRITERIOS TÉCNICOS DE SEGURIDAD ESENCIALES DE LAS INSTALACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO	58
1.1 VISIÓN GENERAL	58
1.2 DISEÑO	58
1.2.1 Condiciones básicas en el diseño de toda instalación eléctrica	60
1.2.2 Criterios básicos de selección de los productos usados en instalaciones de suministro eléctrico	65
1.2.3 Criterios Básicos de diseño para mitigar situaciones particulares de riesgo eléctrico	68
1.3 CONSTRUCCIÓN (INSTALACIÓN Y ADECUACIÓN)	75
1.3.1 Cerramientos de equipos	75
1.3.2 Materiales usados para la construcción en lugares con tensión eléctrica	75
1.3.3 Conexiones eléctricas	75
1.3.4 Montaje	76
1.3.5 Ventilación	76
1.3.6 Protección física de partes energizadas	77
1.3.7 Identificación de los medios de desconexión	77

1.3.8 Señalización de seguridad	78
1.3.9 Rotulado de equipos eléctricos	82
2. DISTANCIAS Y ESPACIAMIENTOS DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO	83
2.1 VISIÓN GENERAL	83
2.2 GENERALIDADES	83
2.2.1 Aplicación	83
2.2.2 Medición de distancias de seguridad y espaciamientos	85
2.2.3 Cables de suministro	85
2.2.4 Conductores cubiertos o protegidos	86
2.2.5 Conductores neutros	87
2.2.6 Cable de fibra óptica	87
2.2.7 Circuitos de corriente alterna y continua	88
2.2.8 Circuitos de corriente constante	88
2.2.9 Mantenimiento de distancias de seguridad y espaciamientos	89
2.3 DISTANCIAS DE SEGURIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE SOPORTE A OTROS OBJETOS	89
2.3.1 A los hidrantes	89
2.3.2 A calles, caminos y carreteras	89
2.3.3 A vías férreas	90
2.4 DISTANCIAS VERTICALES DE SEGURIDAD PARA CABLES, CONDUCTORES Y EQUIPOS POR ENCIMA DEL SUELO, CARRETERAS, VÍAS FÉRREAS O SUPERFICIES DE AGUA	91
2.4.1 Aplicación	91

2.4.2 Distancias verticales de seguridad a alambres, conductores, cables, equipos y brazos de apoyo montados en estructuras de soporte	91
2.4.3 Distancias verticales de seguridad adicionales para alambres, conductores, cables y partes rígidas de equipos energizados sin protección	93
2.4.4 Distancias verticales de seguridad alternativas para las tensiones que exceden los 98 kV AC a tierra o 139 kV DC a tierra	94
2.5 DISTANCIAS DE SEGURIDAD ENTRE ALAMBRES, CONDUCTORES Y CABLES TRANSPORTADOS EN DIFERENTES ESTRUCTURAS DE SOPORTE	104
2.5.1 Generalidades	104
2.5.2 Distancia horizontal de seguridad	109
2.5.3 Distancia vertical de seguridad	110
2.6 DISTANCIA DE SEGURIDAD DE ALAMBRES, CONDUCTORES, CABLES Y EQUIPOS A EDIFICIOS O CONSTRUCCIONES, PUENTES, VAGONES FERROCARRIL, PISCINAS Y OTRAS INSTALACIONES	116
2.6.1 Aplicación	116
2.6.2 Distancias de seguridad de los alambres, conductores y cables a otras estructuras de soporte	118
2.6.3 Distancias de seguridad de alambres, conductores, cables y partes rígidas energizadas a edificios, señales, vallas, chimeneas, antenas de radio y/o televisión, tanques y otras instalaciones (exceptuando puentes vehiculares)	121
2.6.4 Distancia de seguridad de alambres, conductores, cables y partes rígidas energizadas no protegidas a puentes vehiculares	130
2.6.5 Distancia de seguridad de alambres, conductores, cables o partes rígidas energizadas y no protegidas sobre o cerca de áreas de piscina, sin el desplazamiento por viento	132
2.6.6 Distancias de seguridad de alambres, conductores, cables y partes rígidas energizadas a depósitos de grano	139

2.6.7 Distancias adicionales de seguridad para alambres, conductores, cables y partes de equipos rígidas energizadas sin protección, con tensiones que exceden los 22 kV	141
2.6.8 Distancias de seguridad alternativas para tensiones que excedan los 98 kV AC a tierra o 139 kV DC a tierra	142
2.6.9 Distancia de seguridad de alambres, conductores y cables a los vagones de ferrocarril	144
2.6.10 Distancia de seguridad de equipos montados sobre estructuras de soporte	145
2.7 DISTANCIAS DE SEGURIDAD ENTRE ALAMBRES, CONDUCTORES O CABLES INSTALADOS EN LA MISMA ESTRUCTURA DE SOPORTE	148
2.7.1 Aplicación	148
2.7.2 Distancia de seguridad horizontal entre conductores de línea	149
2.7.3 Distancia de seguridad vertical entre conductores de línea	155
2.7.4 Distancias diagonales de seguridad entre alambres, conductores y cables de línea situados en diferentes niveles en la misma estructura de soporte	162
2.7.5 Distancias de seguridad en cualquier dirección desde los conductores de línea a los soportes, a los conductores verticales o laterales, a los alambres de suspensión o de retención unidos al mismo soporte	166
2.7.6 Distancias de seguridad entre circuitos de suministro a diferente clasificación de tensión y ubicados en el mismo brazo de apoyo	168
2.7.7 Espaciamiento de conductores	170
2.7.8 Distancias de seguridad y espaciamientos entre conductores, cables y equipos de comunicación	171
2.7.9 Distancias de seguridad en cualquier dirección desde los conductores de línea de suministro a antenas de comunicación en el espacio de suministro y dispuestas en la misma estructura de soporte	171
2.8 ESPACIO DE ESCALAMIENTO	172
2.8.1 Ubicación y dimensiones	172

2.8.2 Partes de las estructuras de soporte en el espacio de escalamiento	173
2.8.3 Ubicación del brazo de soporte o cruceta con relación al espacio de escalamiento	173
2.8.4 Ubicación del equipo con relación al espacio de escalamiento	173
2.8.5 Espacio de escalamiento entre conductores	174
2.8.6 Espacio de escalamiento en la construcción de una cruceta de derivación o “Buckarm”	177
2.8.7 Espacio de escalamiento en paso de conductores no apoyados en el soporte escalable	177
2.8.8 Espacio de escalamiento de paso de conductores verticales	179
2.8.9 Espacio de escalamiento cerca de la zona de fijación del conductor	179
2.9 ESPACIO DE TRABAJO	180
2.9.1 Ubicación de los espacios de trabajo	180
2.9.2 Dimensiones de los espacios de trabajo	180
2.9.3 Ubicación de los conductores verticales y laterales con relación a los espacios de trabajo	180
2.9.4 Ubicación de las crucetas de derivación con relación a los espacios de trabajo	181
2.9.5 Protección del equipo energizado	182
2.9.6 Distancias de seguridad de trabajo desde equipos energizados	182
2.10 DISTANCIA DE SEGURIDAD VERTICAL ENTRE INSTALACIONES DE COMUNICACIÓN Y SUMINISTRO UBICADAS EN LA MISMA ESTRUCTURA	183
2.10.1 Equipo	183
2.10.2 Distancias de seguridad en general	183
2.10.3 Distancias de seguridad para los alambres de suspensión	183

2.10.4	Distancia de seguridad para lazos de goteo “Drip loops” en luminarias o ménsulas “Brackets” de señales de tránsito	183
2.10.5	Zona de seguridad para trabajadores de comunicaciones	184
2.11	DISTANCIAS DE SEGURIDAD DE INSTALACIONES VERTICALES Y LATERALES DESDE OTRAS INSTALACIONES Y SUPERFICIES EN LA MISMA ESTRUCTURA DE SOPORTE	186
2.11.1	Generalidades	186
2.11.2	Ubicación de los conductores verticales o laterales con relación a los espacios de escalamiento, espacios de trabajo y peldaños para escalar	187
2.11.3	Conductores no contenidos en conductos	187
2.11.4	Guarda y protección cerca del suelo	187
2.11.5	Requerimientos para los conductores verticales y laterales de suministro en las estructuras de la línea de suministro o dentro del espacio de suministro en las estructuras utilizadas de manera conjunta	188
2.11.6	Requerimientos para los conductores de comunicación vertical y lateral en las estructuras de la línea de comunicación o dentro del espacio de comunicación en las estructuras utilizadas de manera conjunta	189
2.11.7	Requerimiento para los conductores de suministro verticales y los cables que pasan a través del espacio de comunicación en las estructuras de línea utilizadas de manera conjunta	190
2.11.8	Requerimientos para los conductores de comunicación vertical que pasan a través del espacio de suministro en las estructuras utilizadas de manera conjunta	192
2.11.9	Palanca de maniobra	193
2.11.10	Reglas adicionales para ménsulas separadoras o “Standoff Bracket”	193
3.	SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN INSTALACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO	196
3.1	VISIÓN GENERAL	196

3.2 REQUISITOS GENERALES	197
3.2.1 Diseño del sistema de puesta a tierra	198
3.2.2 Máximos valores de tensión aplicable a un ser humano	198
3.2.3 Máximos valores de resistencia de puesta a tierra	199
3.3 PARÁMETROS Y CRITERIOS FÍSICOS DE LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	200
3.3.1 Electrodo de Puesta a Tierra	200
3.3.2 Conductor de protección o de puesta a tierra de equipos	207
3.3.3 Conductor del electrodo de puesta a tierra o conductor a tierra	211
3.3.4 Capacidad de corriente y rigidez de los conductores de puesta a tierra	214
3.4 INSTALACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA	215
3.4.1 Punto de conexión de los conductores de puesta a tierra	215
3.4.2 Métodos de instalación de los conductores de puesta a tierra	221
3.4.3 Métodos de instalación de los electrodos de puesta tierra	225
PARTE 2. PARÁMETROS Y CRITERIOS TÉCNICOS DE SEGURIDAD ESPECÍFICOS DE LAS INSTALACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO	229
4. ESTACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO Y SUS EQUIPOS	230
4.1 VISIÓN GENERAL	230
4.2 REQUISITOS GENERALES DE LAS ESTACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO	230
4.3 CONDICIONES LOCATIVAS DE LAS ESTACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO	231
4.3.1 Cerramiento de equipos	231

4.3.2 Cuartos y espacios	234
4.4 INSTALACIÓN Y ADECUACIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS	242
4.4.1 Generalidades	242
4.4.2 Protección eléctrica y mecánica de partes energizadas y móviles	243
4.4.3 Espacios de trabajo respecto al equipo eléctrico	252
4.4.4 Lugares clasificados	253
4.5 EQUIPOS ELÉCTRICOS	260
4.5.1 Equipos rotativos	260
4.5.2 Acumuladores	262
4.5.3 Transformadores y reguladores	264
4.5.4 Dispositivo de protección contra sobretensiones (pararrayos fase a tierra)	266
4.5.5 Circuit breakers, reclosers, switches y fusibles	267
4.5.6 Switchgear (dispositivos de maniobra)	269
4.5.7 Recintos metálicos para barrajes	274
4.5.8 Conductores	276
5. LÍNEAS AÉREAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO	278
5.1 VISIÓN GENERAL	278
5.2 PARÁMETROS Y CRITERIOS GENERALES PARA LÍNEAS AÉREAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO	278
5.2.1 Accesibilidad	278
5.2.2 Puesta a tierra de circuitos y puesta a tierra de protección eléctrica en estructuras de soporte y equipos	279
5.2.3 Distancias de Seguridad	283

5.2.4 Estructuras de soporte de líneas aéreas de suministro eléctrico	283
5.2.5 Soportes inusuales de conductores	291
5.2.6 Protección y señalización de templete	291
5.2.7 Disposición de los Switches	291
5.2.8 Manejo de la vegetación	292
5.3 RELACIONES ENTRE LAS DIVERSAS CLASES DE LÍNEAS Y EQUIPOS	292
5.3.1 Niveles de instalación relativos a conductores de suministro y de comunicación	293
5.3.2 Niveles de instalación relativos a líneas de suministro de diferentes clasificaciones de tensión	295
5.3.3 Identificación de los conductores aéreos	296
5.3.4 Identificación de equipos en estructuras de soporte	296
5.3.5 Prevención de conflictos	296
5.3.6 Uso común de estructuras	297
5.3.7 Circuitos de comunicación localizados dentro del espacio de suministro y circuitos de suministro localizados dentro del espacio de comunicación	297
5.4 AISLAMIENTO DE LA LÍNEA	300
5.4.1 Aplicación	300
5.4.2 Material y marca	300
5.4.3 Relación de la tensión disruptiva con la tensión de perforación dieléctrica	300
5.4.4 Nivel de aislamiento	301
5.4.5 Pruebas de fábrica	301
5.4.6 Aplicaciones especiales del aislador	301

5.4.7	Protección contra la formación de arcos y otros daños	302
5.4.8	Resistencia mecánica de los aisladores	303
5.4.9	Sistemas de cable aéreos	304
5.4.10	Aisladores de retenida y vanos	304
6.	LÍNEAS SUBTERRÁNEAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO	308
6.1	VISIÓN GENERAL	308
6.2	REQUISITOS GENERALES PARA LÍNEAS SUBTERRÁNEAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO	308
6.2.1	Puesta a tierra de los circuitos y de los equipos	308
6.2.2	Accesibilidad	309
6.3	SISTEMAS DE CONDUCTOS	310
6.3.1	Ubicación de los sistemas de conductos	310
6.3.2	Excavación y relleno	313
6.3.3	Ductos y uniones	314
6.4	CABLE DE SUMINISTRO	322
6.4.1	Generalidades	322
6.4.2	Aislamientos y cubiertas	323
6.4.3	Apantallamiento	323
6.4.4	Accesorios y empalmes del cable	323
6.5	EL CABLE EN ESTRUCTURAS SUBTERRÁNEAS	324
6.5.1	Generalidades	324
6.5.2	Instalación	324
6.5.3	Puesta a tierra y conexión equipotencial	327

6.5.4 A prueba de fuego	328
6.5.5 Cables de comunicación que contienen circuitos de suministro especiales	328
6.6 CABLE DIRECTAMENTE ENTERRADO	329
6.6.1 Generalidades	329
6.6.2 Ubicación y ruta	330
6.6.3 Instalación	332
6.6.4 Separaciones deliberadas - Iguales o mayores a 300 mm de estructuras subterráneas u otros cables	334
6.6.5 Separación aleatoria – separación menor a 300 mm de estructuras subterráneas u otros cables	335
6.7 SUBIDA DE CABLES	340
6.7.1 Generalidades	340
6.7.2 Instalación	341
6.7.3 Subida de tuberías en poste - requerimientos adicionales	341
6.7.4 Instalaciones en plataforma o “Pad-Mounted”	341
6.8 TERMINALES DEL CABLE DE SUMINISTRO	342
6.8.1 Generalidades	342
6.8.2 Soporte de los terminales	342
6.8.3 Identificación	343
6.8.4 Distancias de seguridad en recintos de protección o cámaras subterráneas	343
6.8.5 Puesta a tierra	343
6.9 EQUIPOS	343
6.9.1 Generalidades	343

6.9.2	Diseño	344
6.9.3	Ubicación en estructuras subterráneas	346
6.9.4	Instalación	347
6.9.5	Puesta a tierra	347
6.9.6	Identificación	347
6.10	INSTALACIÓN EN TÚNELES	348
6.10.1	Generalidades	348
6.10.2	Condiciones del entorno	348
7.	OBSERVACIONES	350
8.	CONCLUSIONES	353
9.	RECOMENDACIONES	358
	BIBLIOGRAFÍA	360
	ANEXOS	361

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. El “Diseño eléctrico” visto como un sistema que cumple -RETIE-	56
Figura 2. Símbolos y dimensiones del riesgo eléctrico	82
Figura 3. Utilización de la envolvente de la distancia de seguridad y las envolventes de movimiento del conductor	107
Figura 4. Recubrimiento del movimiento del conductor	107
Figura 5. Recubrimiento de la distancia de seguridad	109
Figura 6. Diagrama de las distancias de seguridad para una edificación	118
Figura 7. Diagrama de la distancia de seguridad para otras estructuras	119
Figura 8. Distancia de seguridad transicional cuando “H” es mayor que “V”	120
Figura 9. Distancias de seguridad de acometidas que usan un mástil como soporte	129
Figura 10. Distancias de seguridad en piscinas	133
Figura 11. Distancias de seguridad a depósitos de grano	139
Figura 12. Distancias de seguridad para depósitos de grano cargados o llenados por sistemas de ascensores o transportadores móviles	141
Figura 13. Distancias de seguridad para vagón estándar de ferrocarril	146
Figura 14. Diagrama de distancia para un conductor energizado	162
Figura 15. Espacio de escalamiento en paso de conductores no apoyados en el soporte escalable	179
Figura 16. Obstrucción del espacio de trabajo por un "Buckarm" o cruceta transversal de derivación	181
Figura 17. Distancias de seguridad para los cercos de la planta de suministro eléctrico	233

Figura 18. Distancias de seguridad a partes energizadas	247
Figura 19. Enrejado utilizado como guarda	251
Figura 20. Aislador usado para aislamiento BIL	306
Figura 21. Carga del vehículo	317
Figura 22. Área de carga de las ruedas	318

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Simbología de magnitudes y unidades utilizadas en electrotecnia	61
Tabla 2. Principales símbolos gráficos	63
Tabla 3. Código de colores para conductores	64
Tabla 4. Productos objeto del -RETIE-	67
Tabla 5. Valores límites de exposición a campos electromagnéticos	69
Tabla 6. Características de los terminales de captación y bajantes	72
Tabla 7. Clasificación y colores para las señales de seguridad	79
Tabla 8. Principales señales de seguridad	80
Tabla 10. Distancias verticales de seguridad por encima del suelo, carreteras o superficies de agua a carcasas de equipos, brazos de apoyo (cruceas), plataformas y partes energizadas sin protección	101
Tabla 11. Alturas de referencia	103
Tabla 12. Componentes eléctricos (Valores D)	104
Tabla 13. Posición más próxima permitida, de acuerdo al movimiento del conductor	108
Tabla 14. Distancia de seguridad vertical entre los alambres, conductores y cables tendidos en diferentes estructuras de apoyo (soporte)	113
Tabla 15. Distancia de seguridad entre cables de suministro, conductores y cables	115
Tabla 16. Altura de referencia	116
Tabla 17. Distancia horizontal de seguridad requerida cuando hay desplazamiento por viento	120
Tabla 18. Distancia horizontal de seguridad requerida cuando hay desplazamiento por viento según numeral 2.6.3	122

Tabla 19. Distancias de seguridad de los alambres, conductores, cables y partes rígidas energizadas adyacentes no protegidas pero no fijadas a edificios y otras instalaciones a excepción de puentes (vehiculares)	125
Tabla 20. Distancia horizontal de seguridad requerida cuando hay desplazamiento por viento según numeral 2.6.4	131
Tabla 21. Distancia de Seguridad de alambres, conductores, cables y partes rígidas bajo tensión no protegidas de puentes vehiculares	134
Tabla 22. Distancias de seguridad de alambres, conductores, cables o partes rígidas con tensión no resguardadas sobre o cerca de piscinas	137
Tabla 23. Componente eléctrico (D) de la distancia de seguridad en edificios, puentes y otras instalaciones	147
Tabla 24. Distancias de referencia	148
Tabla 25. Distancias horizontales de seguridad entre los alambres, conductores o cables en los soportes	151
Tabla 26. Distancias horizontales de seguridad entre líneas con conductores menores a AWG No. 2, (basadas en las flechas)	152
Tabla 27. Distancia de seguridad Horizontal entre conductores de línea AWG No. 2 o superiores, (basadas en las flechas)	153
Tabla 28. Distancia de seguridad eléctrica o componente eléctrico (D) de la distancia de seguridad, según numeral 2.7.2.3	158
Tabla 29. Distancias verticales de seguridad entre los conductores en los soportes	159
Tabla 30. Distancias de seguridad en cualquier dirección desde los conductores de línea a los soportes, hacia los conductores laterales o verticales, a los alambres de suspensión o de retención unidos al mismo soporte	163
Tabla 31. Distancia de seguridad en cualquier dirección desde los conductores de línea hacia los soportes	169
Tabla 32. Espaciamiento vertical entre los conductores, de acuerdo a la longitud del vano	171

Tabla 33. Distancia de seguridad horizontal entre conductores que limitan con el espacio de escalamiento	175
Tabla 34. Distancia vertical de seguridad entre los conductores de suministro y equipos de comunicaciones, entre los conductores de comunicación y equipos de suministro, entre los equipos de suministro y de comunicaciones	184
Tabla 35. Distancias de seguridad verticales de los alambres de suspensión y las ménsulas a las instalaciones de comunicación	185
Tabla 36. Distancia de seguridad vertical y lateral de conductores expuestos (desnudos)	194
Tabla 37. Distancia de seguridad entre los conductores verticales expuestos y la superficie del poste	195
Tabla 38. Máxima tensión aplicable a un ser humano	199
Tabla 39. Valores de referencia para resistencia de puesta a tierra	199
Tabla 40. Requisitos para electrodos de puesta a tierra	200
Tabla 41. Calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos	208
Tabla 42. Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas en AC	212
Tabla 43. Constantes de materiales	213
Tabla 44. Valores usados en la Figura 17	234
Tabla 45. Niveles de Iluminación	237
Tabla 46. Distancias de seguridad a partes con tensión	247
Tabla 47. Espacio de trabajo	253
Tabla 48. Requerimientos del nivel de aislamiento	302
Tabla 49. Distancia de seguridad entre las instalaciones de suministro y de comunicaciones en buzones de inspección y cámaras subterráneas de uso común	326
Tabla 50. Profundidad de instalación del cable o conductor de suministro eléctrico	334

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Sistema uniforme de distancias de seguridad adoptado de la NESC 1990	362

GLOSARIO

A continuación, se precisan a través de definiciones, las expresiones usadas en el presente documento para facilitar la adecuada interpretación y aplicación de los mismos en el actual texto. Las definiciones de algunas expresiones que no figuren en este apartado y que se requieran consultar, se pueden buscar en: American Standard Definitions of Electrical Terms, The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms (IEEE 100), National Electrical Safety Code (NESC), Código Eléctrico Colombiano NTC 2050, entre otros.

ACCESIBLE: *aplicado a equipos.* Que tiene fácil acceso por no estar protegido por puertas cerradas, elevación, etc. (Véase también “fácilmente accesible”).

Aplicado a método de instalación. No enterrado de un modo permanente en la estructura del edificio; capaz de ser desmontado sin alterar el acabado o la estructura de esté.

ACCESIBLE, FÁCILMENTE: capaz de ser alcanzado rápidamente para manipulación, recambio o inspección, sin necesidad de trepar, quitar obstáculos, utilizar escaleras, sillas, etc.

ACOMETIDA: conjunto de conductores y componentes utilizados para transportar la energía del sistema de suministro de electricidad a la instalación eléctrica de uso final.

ACOMETIDA, BAJADA DE: la parte de conductores de acometida aérea entre el último poste o soporte aéreo y el primer punto de amarre al edificio.

ACOMETIDA, CABLE: conductores de acometida dispuestos en forma de cable*.

ACOMETIDA, CANALIZACIÓN: el conducto metálico rígido, tubo eléctrico metálico u otro tipo de canalización que contenga los conductores de entrada de acometida.

ACOMETIDA, CONDUCTORES: la porción de conductores de suministro de energía que va desde la línea o canalización de la calle o desde los transformadores al equipo de entrada de las construcciones de uso final. En el caso de conductores aéreos se incluyen en esta definición los que van del último poste o soporte aéreo, al equipo de entrada**.

ACOMETIDA, CONDUCTORES DE ENTRADA DE: la parte de conductores de acometida entre los terminales del equipo de acometida y un punto en el exterior del edificio separado de los muros de éste, donde se une por empalme o derivación a los conductores de bajada, a la línea de la calle o a cualquier otra fuente de alimentación.

ADECUACIÓN: en instalaciones eléctricas el término “*adecuación*”, es usado indistintamente para referirse al acondicionamiento de las mismas a situaciones particulares del entorno.

* La expresión cable de acometida se utiliza para expresar una forma especial de cable de conductores múltiples, que tiene algunas veces armadura metálica y siempre una cubierta trenzada exterior fuerte, impregnada de un compuesto adecuado y destinado para utilizar sus conductores como conductores de entrada de acometida sin emplear tubería o conducto que lo cubra.

** Cuando la alimentación se hace por un sistema de distribución aéreo secundario con corriente alterna con corriente continua, los conductores de acometida empiezan en el poste de la línea donde se hace la conexión al sistema de distribución. Si va una línea primaria a transformadores instalados en el exterior en propiedades privadas, los conductores de acometida empiezan en los terminales secundarios de los transformadores.

Cuando el suministro se hace por medio de un sistema de distribución subterránea, los conductores de acometida empiezan en el punto de conexión a la línea subterránea.

En todos los casos los conductores de acometida terminan en el equipo de entrada. En el caso Excepcional de que los fusibles de acometida estén situados en el extremo exterior de una canalización de acometida, los conductores que van de estos fusibles al interruptor de acometida son conductores de acometida.

AISLADO: no fácilmente accesible a las personas, a menos que utilicen medios especiales para el acceso.

AISLADO, ELECTRICAMENTE: separado de otras superficies conductivas por un dieléctrico (incluyendo el aire) que ofrece una alta resistencia al paso de la corriente*.

AISLADO, POR ELEVACIÓN: suficientemente elevado de manera que las personas puedan caminar por debajo de manera segura.

AISLADOR: material aislante de una forma diseñada para soportar físicamente un conductor y separarlo eléctricamente de otros conductores u objetos.

AISLAMIENTO: es el conjunto de aislantes aplicados alrededor de los conductores y destinados a aislarlos eléctricamente.

AISLANTE: es un material cuya conductividad eléctrica es nula o muy pequeña.

ALAMBRE: es el producto de cualquier sección maciza, obtenido a partir del alambcón por traficación, laminación en frío o ambos procesos combinados, resultando un cuerpo de metal estirado, generalmente de forma cilíndrica y sección circular.

ALAMBRE, AISLADO: es el alambre recubierto con material que desempeña una función básicamente aislante.

* Cuando se dice que un objeto está aislado se entiende que está aislado para las condiciones a las cuales está normalmente sujeto. De lo contrario, para fines de las recomendaciones dadas en el presente documento, se le designan como no aislado eléctricamente.

ALAMBRE, DE SUSPENSIÓN: un alambre, a manera de auxiliar en suspensión que permite soportar uno o más conductores del trolebús, de contacto o aparatos luminosos así como los conductores que los conectan a una fuente de alimentación.

ALAMBRE, PROTEGIDO: es el alambre recubierto con material que desempeña una función básicamente protectora.

ANCLAJE: punto seguro de fijación, al cual se está asegurando como protección contra caídas o volcamientos de estructuras.

APARATO, PORTATIL: un aparato capaz de ser fácilmente movido a donde sea preciso o lo haga necesario las condiciones de uso, pudiendo ser desenchufado de su fuente de alimentación por medio de un cordón flexible terminado en una clavija de enchufe.

APARATOS: son todos aquellos equipos, fijos o portátiles, que consumen corriente, por ejemplo, equipos de calefacción, utensilios accionados por motores pequeños etc.

ARMADURA: es la protección mecánica contra efectos mecánicos, constituida por alambres de sección circular o rectangular de flejes (bandas) o trenzas colocadas sobre un cable.

AUTOMÁTICO: que opera por sí mismo o por su propio mecanismo cuando actúa por alguna influencia no personal, como por ejemplo un cabio de corriente sin la intervención de una persona. El control remoto que requiera intervención por personas no es automático sino manual.

AVISOS, DE SEGURIDAD: advertencia de prevención de accidentes (peligro, gente trabajando, etc.) de una apariencia distintiva, utilizada con el propósito de proteger al personal indicando que se restringe, el acceso o la operación de un dispositivo en particular.

BUZÓN, DE INSPECCIÓN: un recinto subterráneo en el cual el personal puede entrar y que es utilizado con el propósito de instalar, operar y mantener equipos y cables subterráneos.

BUZÓN, DE REGISTRO: una abertura de acceso, prevista en un equipo o en un recinto subterráneo relacionado con líneas subterráneas, en el cual el personal puede tener acceso sin poder entrar, con el propósito de instalar, operar o mantener equipos o cables o ambos.

CABLE: un conductor con aislamiento, un conductor con varios hilos trenzados con o sin aislamiento (cable monopolar o unipolar), una combinación de conductores aislados entre sí (cable de múltiples conductores o multipolar).

CABLES, A PRUEBA DE FUEGO: son todos aquellos cables que tienen una cubierta resistente al fuego.

CABLE, CON SEPARADORES: un tipo de construcción de líneas de suministro eléctrico que consiste de un conjunto de uno o más conductores cubiertos, separados entre ellos y soportados de un cable mensajero por separadores aislantes.

CABLE, DE GUARDA: conductor de protección de conductores aéreos contra descargas atmosféricas.

CABLE, DE FIBRA ÓPTICA – COMUNICACIONES: un cable de fibra óptica que cumpla con los requerimientos de una línea de comunicaciones y que esté ubicado en un área de comunicaciones para instalaciones aéreas o subterráneas.

CABLE, DE FIBRA ÓPTICA – SUMINISTRO: un cable de fibra óptica ubicado en el área de suministro de instalaciones aéreas o subterráneas.

CABLE, MENSAJERO: alambre o conjunto de alambres, desnudos, cubiertos o aislados, que soportan los esfuerzos mecánicos aplicados a él por acción de: los conductores aislados que van adosados alrededor o sujetos por él, las acciones del medio ambiente y de la persona calificada que da mantenimiento. Los cables mensajeros pueden ir fijados a soportes o anclajes y también pueden estar diseñados para transportar energía eléctrica.

CABLE SUBTERRÁNEO: conjunto de conductores aislados entre sí, con una o más cubiertas que puede ir directamente enterrado.

CALZADA: la porción de una calle o autopista incluyendo los carriles de parada de emergencia para uso vehicular*.

CÁMARA: un recinto estructuralmente sólido situado encima o debajo del suelo con acceso restringido a personal calificado para instalación, mantenimiento, operación e inspección del equipo o cables alojados en el recinto. El recinto puede tener aberturas para ventilación, acceso del personal, entrada de cables y otras aberturas necesarias para la operación de los equipos alojados en la cámara.

* Una autopista dividida tiene dos o más calzadas.

CÁMARA, PARA TRANSFORMADOR: un recinto cerrado encima o debajo del suelo con paredes, piso y techo resistentes al fuego en el cual los transformadores y su equipo asociado son instalados.

CANALIZACIÓN: cualquier canal diseñado expresamente para ser utilizado con el único propósito de alojar conductores.

CAPACIDAD, DE CORRIENTE: es la capacidad de conducir corriente de un conductor eléctrico bajo condiciones térmicas establecidas, expresada en amperes.

CINTA, SEÑALIZADORA: cinta de material resistente y duradero a los agentes ambientales, llama la atención y señala el peligro y cuidados a tener con el material o producto que está después de ella y que podría ocasionar riesgo o accidente sino se tiene en cuenta su leyenda.

CIRCUITO: un conductor o sistema de conductores concebido para que a través de ellos, pueda circular una corriente eléctrica.

CIRCUITO, DERIVADO O DERIVACIÓN: es la parte de instalación eléctrica que se extiende detrás del mecanismo protector de sobrecarga del circuito.

CONDUCTO: estructura que contiene uno o más ductos*.

CONDUCTOR: son todos aquellos materiales conductivos, usualmente en forma de alambre o cable, los cuales son adecuados para transportar una corriente eléctrica.

* Un conducto puede indicar una tubería metálica, un ducto a nivel de una superficie, etc. Si un conducto contiene solamente un ducto es llamado "conducto simple", si contiene más de un ducto se denomina "conducto múltiple", usualmente precisando el número de ductos, por ejemplo conducto de dos ductos.

CONDUCTOR, AISLADO: un conductor cubierto con un dieléctrico diferente al aire y que tenga un nivel de aislamiento igual o superior a la tensión de utilización del circuito.

CONDUCTOR, NEUTRO: conductor del sistema distinto que el conductor de fase, que proporciona un camino del retorno de la corriente hacia la fuente. No todos los sistemas tienen un conductor neutro.

CONDUCTORES, CON MENSAJERO: *conductores aislados auto-soportados.* Conjunto de conductores aislados entre sí debidamente identificados, cada uno de estos van sujetos helicoidalmente alrededor de un conductor mensajero protegido o desnudo.

CONDUCTOR, CUBIERTO O PROTEGIDO: un conductor cubierto por un dieléctrico que no posea un nivel de aislamiento o que tenga un nivel de aislamiento inferior a la tensión del circuito en el cual es utilizado el conductor.

CONDUCTOR, DE PUESTA A TIERRA: conductor el cual es usado para conectar el equipo o el sistema de alambrado con un electrodo o electrodos de puesta a tierra.

CONDUCTOR, DE LÍNEA: (líneas aéreas de suministro eléctrico o de comunicaciones). Un alambre o cable diseñado para transmitir la corriente eléctrica, extendiéndose a lo largo de la ruta de la línea y soportado por postes, torres u otras estructuras pero que no incluye conductores verticales o laterales.

CONDUCTOR, EXPUESTO: un tipo de línea de suministro eléctrico o comunicaciones en la cual los conductores son desnudos, cubiertos (protegidos) o aislados sin que su pantalla esté puesta a tierra de manera efectiva, soportados directamente en estructuras o con aisladores. *Sinónimo: conductor abierto.*

CONDUCTOR, LATERAL: un alambre o cable extendido generalmente en una dirección horizontal, formando un ángulo con la dirección general de los conductores de línea y que es enteramente soportado en una estructura.

CONDUCTOR, MÚLTIPLE: un conjunto de dos o más conductores utilizados como un sólo conductor y con separadores para mantener una configuración predeterminada. Los conductores individuales de este conjunto son llamados subconductores.

CONECTORES, TERMINALES: accesorios instalados en los extremos de los conductores que permiten su conexión eléctrica segura a los demás elementos del circuito eléctrico.

CONEXIÓN, EQUIPOTENCIAL: conexión permanente de baja impedancia de las partes metálicas normalmente no energizadas, para formar una vía eléctricamente conductiva que asegure continuidad eléctrica y la capacidad para conducir con seguridad cualquier corriente impuesta.

CONFLICTO, ENTRE ESTRUCTURAS: línea situada con respecto a otra línea, de tal manera que la volcadura de la primera línea resultará en contacto entre las estructuras de soporte o los conductores y los conductores de la otra línea, asumiendo que no hay rotura de conductores en ninguna de las líneas.

CUADRO, DE DISTRIBUCIÓN: es un conjunto de barras y conexiones, dispositivos de conexión y desconexión que consiste de uno o más paneles con dispositivos eléctricos montados en él.

CUBIERTA, DEL CONDUCTOR O DEL CABLE: es una envoltura continua y ajustada, destinada a proteger el aislamiento del cable o conductor.

CUBIERTA, PROTECTORA EXTERIOR DEL CABLE: cubierta polimérica que protege el interior del cable contra los agentes externos.

DESCONEXIÓN, MEDIO DE: un dispositivo o grupo de dispositivos mediante los cuales se pueden desconectar de la fuente de alimentación los conductores de un circuito.

DESCUBIERTO: *Aplicado a partes activas.* Descubierto significa que una parte activa puede ser tocada inadvertidamente o que cualquiera puede aproximarse más cerca de la distancia de seguridad. Se aplica a aquellas partes que no se hallan debidamente aisladas ni protegidas.

DESENERGIZADO: cuando ha sido desconectado de todas las fuentes de suministro por la operación del interruptor, apertura de tomas de carga, apertura de puentes u otra manera de suministro eléctrico; quedando el circuito al potencial de tierra. *Sinónimo: muerto o desconectado*.*

DISPOSITIVO: una unidad de un sistema eléctrico destinada a transportar energía, pero que no la consume.

DUCTO: una sola canalización cerrada que sirve como vía a conductores o cables.

EFFECTIVAMENTE PUESTO A TIERRA O PUESTO A TIERRA DE UNA MANERA EFECTIVA: intencionalmente conectado a tierra a través de una conexión directa a tierra o de una conexión con una impedancia suficientemente

* El circuito podría ser cargado eléctricamente por inducción de circuitos energizados en sus proximidades si los circuitos son paralelos. Razón por la que en situaciones de tener aseguramiento de circuito totalmente desenergizado se deberá decir: desenergizado y puesto a tierra de manera efectiva.

baja, de suficiente capacidad para limitar la elevación de tensiones por debajo de la que podría ocasionar daños a las personas o a los equipos conectados.

EMPRESA, DE SERVICIO PÚBLICO: una organización responsable de la instalación, operación y mantenimiento de sistemas de suministro eléctrico o de comunicaciones.

ENCERRADO: rodeado por un armario, carcasa, cerca o paredes que evitan que las personas entren accidentalmente en contacto con las partes energizadas.

ENERGIZADO: eléctricamente conectado a una diferencia de potencial o eléctricamente cargado de modo que tenga un potencial contra tierra. *Sinónimo: vivo.*

EN SERVICIO: las líneas y equipos son considerados en servicio, cuando están conectados al sistema y son capaces de suministrar energía o señales de comunicación.

ENVOLVENTE: envoltura o carcasa de un aparato, cerca o paredes que rodean una instalación para evitar que las personas puedan entrar en contacto accidental con partes energizadas o para proteger al equipo contra daños físicos. *Sinónimo: cerrado.*

EQUIPO: término general en el que quedan incluidos materiales, dispositivos, aparatos y todo lo que se emplea como parte de una instalación eléctrica o que tiene relación con ella.

EQUIPO, DE SUMINISTRO ELÉCTRICO: equipo que alimenta, modifica, regula, controla o protege un suministro eléctrico. *Sinónimo: equipo de suministro.*

ESTACIÓN, DE SUMINISTRO ELÉCTRICO: cualquier edificación, habitación o área separada en la cual está ubicado el equipo de suministro eléctrico y cuyo acceso es permitido por regla general solamente a personal calificado. Esto incluye estaciones de generación y subestaciones, considerando su generador asociado, baterías, transformador y equipos de maniobra, pero no incluye elementos tales como equipos tipo pedestal, instalaciones en buzones de inspección y cámaras.

ESTRUCTURAS, DE CONCRETO PRETENSADO: estructuras de concreto que incluyen varillas metálicas que son tensadas y ancladas antes o después de vaciar el concreto.

ESTRUCTURA, DE SOPORTE: la unidad principal de soporte, usualmente un poste, una torre o un pedestal.

ESTRUCTURA, DE SOPORTE DE FÁCIL ESCALAMIENTO: una estructura de soporte que tiene suficientes asideros para las manos y los pies y que permite subir fácilmente la estructura por una persona promedio, sin usar una escalera de mano, herramientas, dispositivos especiales o esfuerzo físico extraordinario.

EXPUESTO: que pueden ser tocadas en forma inadvertida o aproximarse al mismo a una distancia menor que la de seguridad. Se aplica a las partes que no están adecuadamente cubiertas, separadas o aisladas. *Sinónimo: parte expuesta.*

FÁCIL DE TREPAR: que posee suficientes lugares de donde asirse y puntos de apoyo para los pies, que permitan a una persona adulta de estatura promedio trepar fácilmente sin utilizar una escalera u otro equipo especial.

FLECHA APARENTE, DE UN VANO: la distancia máxima entre el conductor en un vano dado y la línea recta que une los dos puntos de soporte del conductor, la cual es medida perpendicularmente desde la línea recta.

FLECHA APARENTE, EN CUALQUIER PUNTO DEL VANO: la distancia, en un punto específico del vano, entre el conductor y la línea recta que une los dos puntos de soporte del conductor, medida perpendicularmente desde la línea recta.

FLECHA, DE UN CONDUCTOR: la distancia vertical máxima en un vano de una línea aérea, medida del conductor a la línea recta que une sus puntos de apoyo.

FLECHA, DE UN CONDUCTOR A UN PUNTO CUALQUIERA DEL VANO: la distancia medida verticalmente desde un punto cualquiera del conductor a la línea recta entre sus dos puntos de soporte.

FLECHA, FINAL: la flecha de un conductor bajo condiciones específicas de carga y temperatura, después que ha sido sometido por un periodo de tiempo apreciable a las cargas prescritas correspondientes a la zona geográfica en la cual está instalado o a una carga equivalente y luego la carga es removida. La flecha final debe incluir el efecto de la deformación no elástica.

FLECHA, FINAL SIN CARGA: la flecha de un conductor después que ha sido sometido por un periodo de tiempo apreciable a la carga prescrita para la zona geográfica en la cual está instalada o a la carga equivalente y luego la carga es removida. La flecha final sin carga debe incluir el efecto de la deformación no elástica.

FLECHA, INICIAL SIN CARGA: La flecha de un conductor antes de la aplicación de cualquier carga.

FLECHA, TOTAL: la distancia medida verticalmente entre el conductor y la línea recta que une sus dos puntos de soporte, bajo condiciones de carga de hielo, si la hubiere o el equivalente a la carga total resultante para la zona geográfica en la cual está instalado.

FLECHA, TOTAL MÁXIMA: la flecha total en el punto medio de la línea recta que une los dos puntos de soporte del conductor.

FUERA DE SERVICIO: las líneas y equipos son considerados fuera de servicio cuando están desconectados del sistema y no son capaces de suministrar energía ni señales de comunicaciones.

INSTALACIÓN, A LA INTEMPERIE: es una instalación eléctrica o de comunicaciones al aire libre, expuesta directamente a la radiación solar.

INSTALACIÓN, AL EXTERIOR: es una instalación eléctrica o de comunicaciones, protegida contra la radiación solar directa y precipitaciones atmosféricas, se incluye el viento en casos especiales. Por lo demás, equivale al aire libre.

INSTALACIÓN, AL INTERIOR: es una instalación eléctrica o de comunicaciones, dentro de un edificio o una envolvente, cuyos medios de servicio están protegidos contra las influencias atmosféricas.

INTEMPERIE, A PRUEBA DE: construido o protegido de tal forma que el estar expuesto a la intemperie no afecte su correcto funcionamiento.

INTERRUPTOR, AUTOMÁTICO: un dispositivo de conexión y desconexión, capaz de transportar e interrumpir corrientes bajo condiciones normales de circuito y corrientes bajo condiciones anormales de una duración especificada tales como las corrientes bajo condiciones de falla.

LÍMITE DE EDIFICACIÓN: es la línea que define hasta dónde puede llegar el área techada de la edificación.

LÍMITE DE PROPIEDAD: es cada uno de los linderos que definen la poligonal que encierra el área del terreno urbano o rústico.

LÍNEA: es una disposición de conductores, materiales aislantes y accesorios para transmitir electricidad entre dos puntos de un sistema.

LÍNEAS, DE COMUNICACIONES: conductores y sus estructuras de soporte o de alojamiento que son utilizados para el servicio de comunicaciones o señales públicas o privadas y que operan a potenciales que no superen los 400 V a tierra o 750 V entre cualquiera de dos puntos del circuito y cuya potencia transmitida no exceda 150 [W]. Cuando se opera debajo de una tensión nominal de 90 V, no se pone límites a la potencia transmitida del sistema. Bajo condiciones específicas los cables de comunicaciones pueden incluir circuitos de comunicaciones que excedan los límites previamente fijados, en el caso que los circuitos sean utilizados solamente para alimentar a los equipos de comunicaciones*.

LÍNEAS, DE SUMINISTRO ELÉCTRICO: aquellos conductores utilizados para transmitir energía eléctrica y sus estructuras de soporte y contención. Las líneas de señales de más de 400 V son siempre líneas de suministro dentro del alcance de las reglas y aquellas de menos de 400 V pueden ser consideradas líneas de suministro si son totalmente construidas y operadas de esa manera.

* Se incluye los sistemas telefónicos, telegráficos, de señales en vías férreas, de datos, de reloj, de incendios, de alarma policiaca, de televisión por cable y otros sistemas similares a los arriba descritos. Las líneas utilizadas para señalización pero que no están incluidas en la definición previa son consideradas como líneas de suministro eléctrico y deben ser instaladas como tales.

PANTALLA, SOBRE LA AISLACIÓN: una envoltura que encierra el aislamiento de un cable y proporciona una superficie equipotencial en contacto con el aislamiento del cable.

PANTALLA, SOBRE EL CONDUCTOR: una envoltura que encierra el conductor de un cable y que proporciona una superficie equipotencial en contacto con el aislamiento del cable.

PARÁMETRO: dato o factor que se toma como necesario para analizar o valorar una situación.

PARTE CONDUCTORA, DE CORRIENTE: una parte conductora diseñada para ser conectada en un circuito eléctrico a una fuente de tensión. Las partes no conductoras de corriente son aquellas no diseñadas para ser conectadas.

PERSONA, CALIFICADA: quien ha sido entrenado y ha demostrado conocimiento adecuado de la instalación, construcción u operación de líneas y equipos y los riesgos involucrados, incluso en la identificación y exposición a las líneas o equipos de suministro eléctrico y de comunicación, dentro o cerca del espacio de trabajo. *Sinónimos: trabajador calificado, empleado calificado.*

PERSONA, DESIGNADA: una persona calificada designada para realizar tareas específicas bajo condiciones existentes. *Sinónimo: empleado designado.*

PRESIÓN LATERAL EN LA PARED DE UN CABLE: fuerza de presión ejercida sobre un cable durante la instalación.

PROTEGIDO: cubierto, blindado, resguardado o cerrado mediante tapas y carcasas de tipo adecuado; barreras, carriles, pantallas, postes o plataformas para

evitar la posibilidad de que tanto las personas como los objetos puedan ponerse en contacto con partes peligrosas.

PROTEGIDO (RESGUARDO O PROTEGIDO POR GUARDAS): cubierto, enrejado, encerrado o protegido de otra manera por medio de elementos apropiados de cobertura como tapas, carcasas, cubiertas, cajas, barreras, pantallas, pedestales o plataformas diseñados para limitar la posibilidad de aproximación o contacto de personas u objetos a un punto peligroso*.

PUESTA A TIERRA, DE PROTECCIÓN: son los tipos de puesta a tierra que se usan para conectar a tierra, las partes conductoras de los elementos de una instalación no sometidos normalmente a tensión eléctrica, pero que pueden llegar a estarlo en algún momento con ella. Algunos de los elementos que deben ser protegidos por medio de puestas a tierra de protección son:

- Armaduras de aparatos de maniobra.
- Armarios metálicos.
- Vallas y cercas metálicas. (Aplicable a subestaciones de gran tamaño).
- Blindajes metálicos de los cables.
- Tuberías y conductos metálicos.
- Carcasas de transformadores, generadores, motores y otras máquinas.

PUESTA A TIERRA, DE SERVICIO DIRECTAS: son todas aquellas puestas a tierra de servicio que poseen una conexión directa entre el sistema eléctrico y el suelo.

PUESTA A TIERRA, DE SERVICIO INDIRECTAS: son todas aquellas puestas a tierra de servicio, en las cuales se introducen resistencias o inductancias externas

* Los alambres aislados pero que no están protegidos de otra manera no son normalmente considerados como protegidos. Ver excepciones correspondientes a recomendaciones específicas.

que limitan la corriente a tierra. Entre los elementos que deben ser protegidos mediante el uso de puestas a tierra de servicio son:

- Neutros de los transformadores que lo requieran.
- Neutro de alternadores y otros aparatos que así lo necesiten.
- Circuitos de baja y media tensión en los transformadores.
- Limitadores, descargadores, pararrayos para eliminar sobretensiones o descargas atmosféricas.
- Los circuitos de corriente de corriente continua.
- Instalaciones donde el control de la estática sea fundamental.

PUESTA A TIERRA, DE SERVICIO: son los tipos de puesta a tierra que se usan para conectar a tierra las partes de las instalaciones que están normalmente bajo tensión. Hay dos tipos de puestas a tierra de servicio: directas e indirectas.

PUESTA A TIERRA, TEMPORAL: son las puestas a tierra que debido a su corta duración de funcionamiento, no presentan un sistema estable de protección. Ejemplos de este tipo de puesta a tierra son:

- De baja tensión.
- De media tensión.
- De alta tensión.
- De electricidad estática en equipos móviles.

REQUERIMIENTO: acción o efecto de Intimar, avisar o hacer saber algo con autoridad pública.

REQUISITO: circunstancia o condición necesaria para algo.

SEÑALES DE SEGURIDAD: Indicaciones, letreros, rótulos, que dan directivas a seguir para evitar riesgo eléctrico u otros peligros y que su cumplimiento ayuda a un desarrollo de actividades con mayor seguridad.

SISTEMA, CON MÚLTIPLES PUESTAS A TIERRA: sistema de conductores en el que el conductor neutro es intencional y sólidamente puesto a tierra a intervalos específicos.

SISTEMA, NO PUESTO A TIERRA: sistema de conductores en el que ningún conductor o punto es intencionalmente puesto a tierra, ya sea sólidamente o a través de un dispositivo limitador de corriente sin interrupción.

SISTEMA PUESTO A TIERRA, EN UN ÚNICO PUNTO: sistema de conductores en el que un conductor es intencional y sólidamente puesto a tierra en un lugar específico, típicamente en la fuente.

SUBESTACIÓN: conjunto de instalaciones, incluyendo las eventuales edificaciones requeridas para albergarlas, destinado a la transformación de la tensión eléctrica y al seccionamiento y protección de circuitos o sólo al seccionamiento y protección de circuitos y está bajo el control de personas calificadas.

SUMINISTRO: conjunto de instalaciones que permiten la alimentación de la energía eléctrica en forma segura y que llega hasta el punto de entrega.

SUMINISTRO, EQUIPO ELÉCTRICO DE: es usado para referirse a equipos los cuales producen, modifican, regulan, controlan o salvaguardan el suministro de energía eléctrica.

SUMINISTRO, ESTACIÓN ELÉCTRICA DE: definición usada para referirse a edificios, cuartos o espacios separados, dentro del cual el equipo de suministro eléctrico es localizado y su interior es accesible, solo por personas calificadas*.

TAPA DE BUZÓN DE INSPECCIÓN: una cubierta removible que cierra la entrada al buzón de inspección o a recintos similares bajo la superficie.

TENSIÓN: la diferencia de potencial eficaz entre dos conductores cualquiera o entre un conductor y la tierra. Las tensiones están expresadas en valores nominales a menos que se indique lo contrario. La tensión nominal de un sistema o circuito es el valor asignado al sistema o circuito para una clase dada de tensión con el fin de tener una designación adecuada. La tensión de operación del sistema puede variar por encima o por debajo de este valor.

TENSIÓN, DE UN CIRCUITO NO PUESTO A TIERRA DE MANERA EFECTIVA. La tensión nominal más alta entre cualquiera de los conductores del circuito**.

TENSIÓN, DE UN CIRCUITO DE CORRIENTE CONSTANTE: la tensión más alta para la corriente de plena carga del circuito.

TENSIÓN A TIERRA, DE UN CIRCUITO NO PUESTO A TIERRA: la tensión nominal más alta entre cualquiera de dos conductores del circuito comprometido.

TENSIÓN A TIERRA, DE UN CIRCUITO PUESTO A TIERRA: la tensión nominal más alta entre cualquier conductor de circuito y el punto o conductor conectado a tierra.

* Esto incluye estaciones de generación y subestaciones eléctricas.

** Si un circuito está directamente conectado y es alimentado desde otro circuito de mayor tensión (como es el caso de un autotransformador), ambos circuitos se consideran como de la clase de tensión más alta a menos que el circuito de menor tensión esté efectivamente puesto a tierra, en cuyo caso su tensión no está determinada por el circuito de mayor tensión. La conexión directa implica la conexión eléctrica, que se distingue de la conexión meramente por inducción electromagnética o electrostática.

TENSIÓN A TIERRA, DE UN CONDUCTOR DE UN CIRCUITO NO PUESTO A TIERRA: LA tensión nominal más alta entre dicho conductor y cualquier otro conductor del circuito comprometido.

TENSIÓN A TIERRA, DE UN CONDUCTOR DE UN CIRCUITO PUESTO A TIERRA: la tensión nominal entre dicho conductor y el punto o conductor de conexión a tierra

TENSIÓN, DE UN CIRCUITO EFECTIVAMENTE PUESTO A TIERRA: la tensión nominal más alta entre cualquier conductor del circuito y la tierra, a menos que se indique otro valor

TENSIÓN, FINAL: *Mecánica.* La tensión longitudinal en un conductor, después que ha sido sometido por un período de tiempo apreciable, a la carga prescrita en la zona geográfica donde está situado o a una carga equivalente y la carga es removida. La tensión final sin carga incluirá el efecto de la deformación no elástica.

TENSIÓN, SIN CARGA INICIAL: *Mecánica.* La tensión longitudinal en un conductor antes de la aplicación de una carga externa.

TERMINACIÓN, DEL CABLE: un accesorio del cable que restituye el aislamiento y hermeticidad del cable, permite una adecuada conexión eléctrica y es resistente al intemperismo o ambiente de su instalación.

TERMINAL, DE CAPTACIÓN O DISPOSITIVO DE INTERCEPTACIÓN DE RAYOS: elemento metálico cuya función es interceptar los rayos que podrían impactar directamente sobre la instalación a proteger. Comúnmente se ha venido denominando como pararrayos (ejemplo: pararrayos tipo Franklin).

USO COMÚN: utilización simultánea por dos o más empresas de servicio público de la misma estructura.

USO CONJUNTO: utilización simultánea por dos o más tipos de empresas de servicio público.

VENTILADO: provisto de algún medio que permita la circulación del aire en cantidad suficiente para hacer desaparecer todo exceso de calor, humo o vapor.

VÍA DE TRÁNSITO: la porción de una calzada reservada al movimiento de vehículos, excluyendo los carriles de emergencias y vías de estacionamiento permanente.

VIVO: *ver, energizado.*

RESUMEN

TITULO

PARÁMETROS Y CRITERIOS TÉCNICOS DE SEGURIDAD PARA LA INSTALACIÓN Y ADECUACIÓN DE SISTEMAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO*

AUTOR

CORDERO LÓPEZ, Francisco Javier**

PALABRAS CLAVES

Seguridad eléctrica; distancias de seguridad; construcción de líneas de suministro eléctrico; métodos de puesta a tierra para instalaciones de suministro eléctrico; estaciones de suministro eléctrico y equipos; seguridad en altas tensiones; seguridad de líneas eléctricas subterráneas.

DESCRIPCIÓN

El presente trabajo de grado da a conocer parámetros, requisitos y criterios técnicos de seguridad a modo de recomendaciones, necesarios para las etapas de diseño, instalación y adecuación de las instalaciones de suministro eléctrico. Estas recomendaciones están basadas en las consideraciones técnicas mínimas de seguridad dispuestas en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas -RETIE-, en el Código Eléctrico Colombiano -NTC 2050-, en el National Electrical Safety Code -NESC-, así como de otros estándares internacionales vigentes.

Inicialmente el documento cuenta con una introducción y un glosario, seguido de un contenido temático desarrollado en dos grandes divisiones, las cuales son: Parte I denominada *"PARÁMETROS Y CRITERIOS TÉCNICOS DE SEGURIDAD ESENCIALES DE LAS INSTALACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO"*, en donde se dan a conocer recomendaciones técnicas de seguridad de naturaleza general, necesarias para el diseño de todo proyecto de suministro eléctrico, como lo son las distancias y los espaciamientos de seguridad, la iluminación, la señalización de seguridad, los sistemas de puesta a tierra, entre otras. En la Parte II *"PARÁMETROS Y CRITERIOS TÉCNICOS DE SEGURIDAD ESPECÍFICOS DE LAS INSTALACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO"* se proporcionan recomendaciones técnicas de seguridad propias de los procesos de suministro eléctrico (Generación, Transmisión, Transformación y Distribución), tales como, disposiciones de estructuras y equipos, encerramientos, protecciones eléctricas y resguardos mecánicos de los componentes y sistemas de suministro eléctrico; así como, consideraciones técnicas de seguridad para la instalación y adecuación de los sistemas y equipos de comunicaciones asociados por disposición o ubicación a los sistemas y equipos de suministro eléctrico. Finalmente es anexado un método uniforme para la obtención de distancias de seguridad, adoptado de la NESC 1990.

* Proyecto de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Director MPE Ing. Wilson Giraldo Picón. Codirector Dr. Gabriel Ordoñez Plata.

SUMMARY

TITLE

TECHNICAL PARAMETERS AND SAFETY CRITERIA FOR INSTALLATION AND ADJUSTMENT POWER SUPPLY SYSTEMS*

AUTOR

CORDERO LÓPEZ, Francisco Javier**

KEYWORDS

Clearances; construction of electric supply lines; grounding methods for electric supply facilities; electrical safety; electric supply stations; high-voltage safety; power station equipment; underground electric line safety.

DESCRIPTION

This text offers parameters, technical requirements and safety criteria as recommendations necessary for the stages of design, installation and adjustment of power facilities. These recommendations are based on the minimum safety technical requirements set forth in the reglamento técnico de instalaciones eléctricas -RETIE-, in the código eléctrico colombiano -NTC 2050-, in the national electrical safety code -NESC- as well as other existing International Standards.

Initially the document has an introduction and a glossary, followed by a thematic content developed in two great divisions, which are: Part I entitled "TECHNICAL PARAMETERS AND SAFETY CRITERIA ESSENTIAL FOR ELECTRICAL SUPPLY FACILITIES", where in a way are given to meet technical safety recommendations necessary for the design of any project of supply system, such as clearances and security spacings, lighting, signaling security, grounding systems, among others. In Part II "TECHNICAL PARAMETERS AND SAFETY CRITERIA SPECIFIC FOR ELECTRICAL SUPPLY FACILITIES" provides technical safety recommendations specific to power processes (Generation, Transmission, Transformation and Distribution), such as, provision of structures and equipment , enclosures, mechanical guards and electrical protection components and power systems as well as technical considerations for installation safety and adequacy of systems and communications equipment or location associated with disposal systems and power equipment. Finally, annexed is a uniform method for obtaining clearances, adopted by the NESC 1990.

* Degree work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Electrical, Electronics and Telecommunications Engineering. Director MPE Ing. Wilson Giraldo Picón. Codirector Dr. Gabriel Ordoñez Plata.

INTRODUCCIÓN

Las personas o grupos de personas encargados del diseño, la construcción, la instalación, la adecuación y la inspección de instalaciones eléctricas, experimentan un universo de posibilidades para el cumplimiento de las actividades propuestas en un proyecto eléctrico. En la actualidad se considera equivocadamente que las limitaciones de los proyectos eléctricos están sujetas por las condiciones imperantes propias del mismo, como lo son: los aspectos financieros, operativos o funcionales, de seguridad eléctrica, entre otros.

En procura de garantizar los aspectos esenciales de seguridad eléctrica, es preciso aseverar que no existe una única forma estandarizada de llevar a cabo los diseños, las construcciones, las instalaciones, las adecuaciones y las inspecciones de instalaciones eléctricas seguras. En este sentido, se afirma que sólo existen criterios mínimos de seguridad que han sido plasmados en normas a razón de análisis y estudios juiciosos de incidentes eléctricos, que al ser considerados harán de las instalaciones eléctricas sitios con menor incidencia de riesgos eléctricos.

Con el nuevo orden en el comercio mundial, se ha otorgado a la Figura de los reglamentos técnicos el carácter de obligatoriedad y a las normas técnicas el carácter de voluntariedad. En Colombia se ha venido garantizando la seguridad en las instalaciones eléctricas gracias a la implementación e implantación del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE -.

El RETIE está enfocado a la seguridad de las personas, la vida animal y vegetal y del medio ambiente; previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico. Es así que, ante la exigencia de demostrar que una instalación eléctrica está conforme con lo sentenciado por el -RETIE-, todas las personas responsables de la misma, acuden al Reglamento en procura de establecer el rango de

aplicación; así como la identificación de las características básicas que deben cumplir las instalaciones eléctricas. Es importante tener en cuenta, que en la mayoría de las ocasiones se hace necesario acudir a Normas Técnicas y/o estándares nacionales e internacionales para sustentar las buenas o malas prácticas y/o los métodos de la técnica usada.

En el ámbito internacional, se reconoce al *National Electrical Safety Code -NESC-* de los Estados Unidos de América, como un código que contiene los parámetros de seguridad necesarios en las instalaciones de suministro eléctrico. La mayoría de los criterios de este código no son utilizados por los profesionales encargados del diseño, la construcción, la instalación y la inspección de las instalaciones de suministro eléctrico de nuestro país; debido a que el RETIE no los ha adoptado.

En este sentido, el compromiso de este trabajo de grado es el de proponer la mayor cantidad de parámetros y criterios técnicos de seguridad, a partir de la adaptación de las prescripciones mandatorias del -RETIE- a parámetros y criterios adoptados del -NESC- y estándares afines, con la esperanza que indudablemente aportará en la mejora (en términos de seguridad) de las futuras instalaciones de suministro eléctrico.

El presente documento contiene en sus preliminares una Justificación, un Glosario y una Visión General por capítulo; Lo anterior, permitirá al lector tener una rápida idea del documento, acudir a definiciones y conocer a grandes rasgos, lo que puede encontrar en cada Capítulo, respectivamente. Además, el contenido ha sido dividido en dos grandes partes, las cuales son: (1) “PARÁMETROS Y CRITERIOS TÉCNICOS DE SEGURIDAD ESENCIALES DE LAS INSTALACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO”; entre los temas aquí contenidos, se tienen: Simbología eléctrica, Señalización de seguridad, Campos electromagnéticos, Protección contra rayos entre otros, expuestos en (Capítulo 1), Distancias de Seguridad (capítulo 2), Puestas a tierra (capítulo 3) y (2)

“PARÁMETROS Y CRITERIOS TÉCNICOS DE SEGURIDAD ESPECÍFICOS DE LAS INSTALACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO”; en esta parte del documento se expondrán requisitos, parámetros y criterios técnicos de seguridad referentes a los sistemas de suministro eléctrico, donde dichos sistemas estarán subdivididos en: Estaciones de suministro eléctrico y sus equipos (capítulo 4), Líneas aéreas de suministro eléctrico (capítulo 5) y Líneas subterráneas de suministro eléctrico (capítulo 6).

De esta manera el lector encontrará en el actual documento, una herramienta útil para todos aquellos procesos de diseño, construcción (instalación y adecuación) e inspección de las instalaciones de suministro eléctrico en términos de seguridad; debido, a que el contenido es presentado de manera simple y clara, incluso permitiendo el uso a personas no especializadas en el tema, pero que tengan ligeras nociones de electricidad, para comprender lo que aquí se expone.

No obstante, no se ha de entender este documento como una especificación para proyectos, ni como un manual de instrucciones para personas no profesionales. Sin embargo, una instalación que siga los Lineamientos aquí planteados garantizará altos niveles de seguridad que son esenciales en todo proyecto eléctrico.

OBJETO

El presente documento “PARÁMETROS Y CRITERIOS TÉCNICOS DE SEGURIDAD PARA LA INSTALACIÓN Y ADECUACIÓN DE SISTEMAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO”, tiene como propósito brindar al sector eléctrico una herramienta que unifique y materialice en forma amplia y concreta, parámetros y criterios técnicos tendientes a garantizar la seguridad de las personas, de la vida animal y vegetal y la preservación del medio ambiente; previniendo minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico que conciernen a los procesos de

Generación, transmisión, transformación y distribución; de acuerdo con los Lineamientos del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas -RETIE-; y bajo la adopción de parámetros y criterios técnicos de seguridad presentes en normas nacionales e internacionales vigentes como lo son el NTC 2050 y el National Electrical Safety Code –NESC-.

ALCANCE

Los requisitos, parámetros y criterios técnicos aquí expuestos se aplican a las instalaciones de suministro eléctrico, de comunicaciones asociadas a las instalaciones de suministro y a los equipos más comúnmente utilizados en estos tipos de instalaciones.

Las instalaciones de suministro comprenden las instalaciones de generación, transmisión, transformación y distribución; En el caso de las instalaciones de comunicaciones no asociadas a las instalaciones de suministro deberá consultarse normas técnicas adicionales.

PARTE 1.

PARÁMETROS Y CRITERIOS TÉCNICOS DE SEGURIDAD ESENCIALES DE LAS INSTALACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO

Partiendo de la premisa que la seguridad eléctrica responde entre otros, a aspectos técnicos, infiriéndose así, que la seguridad de los sistemas eléctricos por naturaleza se argumenta en parámetros, criterios y requisitos técnicos. Es por esto, que para garantizar sistemas eléctricos seguros, se deben establecer valores mínimos fijos en todas aquellas variables propias del sistema a proteger, que en lo sucesivo se denominarán como ***“parámetros técnicos de seguridad”***. Estos parámetros están estrechamente ligados a la forma como todos los componentes de un sistema eléctrico son concebidos en la etapa de diseño, materializados en la etapa de construcción y conservados en las etapas de operación y mantenimiento bajo la óptica de la seguridad. Lo anterior conduce, a la abstracción de métodos técnicos de seguridad para garantizar un perfecto vínculo de los sistemas eléctricos con los componentes; de aquí y en lo que resta del documento se hará uso de dos definiciones propias: ***“criterios técnicos de seguridad y requerimientos técnicos de seguridad”***, para señalar los métodos y condiciones técnicas usados en los sistemas eléctricos, en pro de alcanzar sistemas eléctricos seguros.

No se debe confundir, los criterios con los requerimientos técnicos de seguridad, ya que los criterios son usados de manera más general en el diseño y la formulación de procedimientos para la consecución de cualquier sistema, mientras que los requerimientos son incorporados dentro de especificaciones y son generalmente mucho más delimitados en naturaleza que los criterios. Por ejemplo, un criterio técnico de seguridad relacionado a un sistema de puesta a tierra, puede ser: *“Todos los conductores de puesta a tierra deben tener adecuada rigidez mecánica, para las condiciones a las cuales pueden estar sometidos”*. Y un requerimiento técnico de seguridad acorde al criterio anteriormente expuesto,

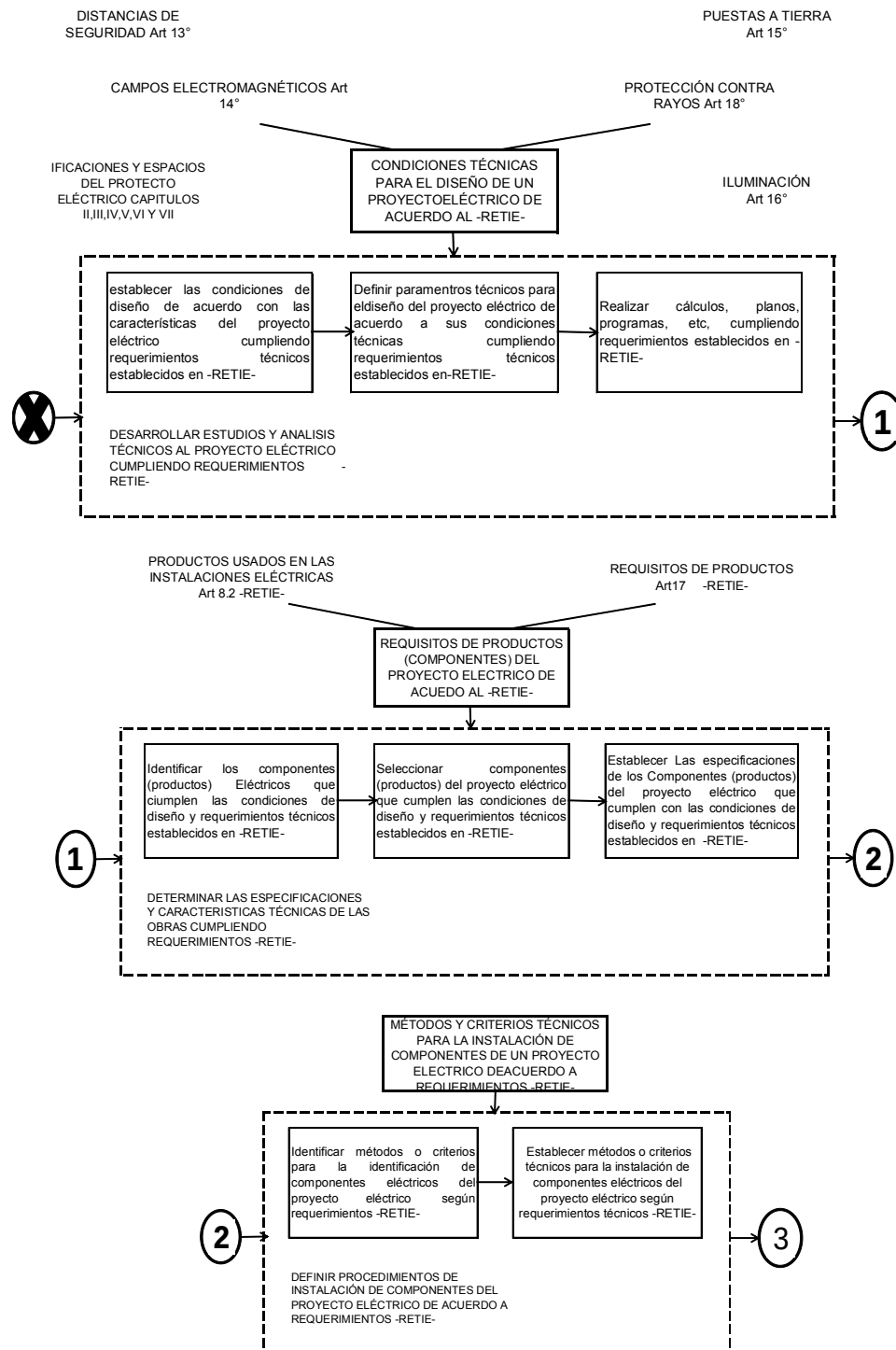
será: “los conductores de puesta a tierra sin resguardo, deben tener una resistencia a la tracción, no menor que la de AWG N° 8.”

Como se puede observar, los criterios responden a todo un conjunto de requerimientos técnicos de seguridad, pero en el presente documento sólo se establecerán parámetros y criterios técnicos de seguridad, debido a que el término “*requerimiento*” se ha dejado destinado sólo a lo que señala el -RETIE-, en torno a todas aquellas especificaciones técnicas mandatorios y de obligatorio cumplimiento en las instalaciones eléctricas; sin embargo, el lector encontrará en el presente documento, una serie de disposiciones que encajan con la definición aquí dada, para “*requerimientos técnicos de seguridad*”; estos, sólo corresponden a la base técnica que fundamenta a modo de recomendación, cada uno de los criterios que contiene el documento.

Por otra parte, considerando que el proceso para garantizar sistemas eléctricos seguros, recae directamente en el cumplimiento de condiciones técnicas propias de seguridad impuestas en la etapa de diseño del sistema eléctrico. Por lo anterior, en el presente documento se identificarán las condiciones técnicas mínimas de seguridad planteadas de manera intrínseca en el reglamento, para así clasificar y recomendar parámetros y criterios técnicos de seguridad que aporten al alcance del objetivo fundamental del -RETIE-.

El siguiente diagrama de bloques (Figura 1) ilustra la etapa del diseño eléctrico, visto como un sistema que cumple los requisitos técnicos dados por el reglamento -RETIE-:

Figura 1. El “Diseño eléctrico” visto como un sistema que cumple -RETIE-.



Fuente. Autor

Como se observa en la anterior ilustración, la etapa de diseño eléctrico propuesta, parte del cumplimiento de condiciones técnicas de seguridad mínimas, las cuales son el resultado de la búsqueda por minimizar o eliminar riesgos eléctricos, que pueden dar origen a accidentes por causas muy diversas, afectando tanto a los equipos o bienes como a los seres vivos.

Es por lo anterior, que en esta primera parte del documento denominada: “PARÁMETROS Y CRITERIOS TÉCNICOS DE SEGURIDAD ESENCIALES DE LAS INSTALACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO”, se abordarán las condiciones técnicas de seguridad mínimas y se recomendarán parámetros y criterios técnicos de seguridad esenciales, de aplicación general en el diseño de todo proyecto de suministro eléctrico.

1. GENERALIDADES DE LOS PARÁMETROS Y CRITERIOS TÉCNICOS DE SEGURIDAD ESENCIALES DE LAS INSTALACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO [1], [2], [3]

1.1 VISIÓN GENERAL

Los parámetros y criterios técnicos de seguridad esenciales son todas aquellas medidas y reglas de aplicación general, presentes en todos los niveles de tensión y en todos los procesos contenidos en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas -RETIE-. A continuación, se adoptan del reglamento los requerimientos que mantienen mayor relación con el objeto del presente documento, al igual que se adoptan y adaptan algunos parámetros y criterios técnicos de seguridad, presentes en los estándares de referencia del actual trabajo de grado.

En este capítulo se establece una clasificación de acuerdo con las etapas que deben ser seguidas por las personas o grupo de personas encargadas de un proyecto eléctrico, así: DISEÑO, CONSTRUCCION (instalación y adecuación). La mayor parte de las medidas y reglas de este capítulo serán abordadas nuevamente en posteriores capítulos, donde se precisa particularidades del contenido aquí expuesto.

1.2 DISEÑO

Las instalaciones deberán contar con un diseño, efectuado por el profesional o profesionales legalmente competentes para desarrollar esta actividad. El diseño debe cubrir los aspectos que le apliquen, según el tipo de instalación y complejidad de la misma:

- Análisis de carga
- Cálculo de transformadores.
- Análisis del nivel tensión requerido.
- Distancias de seguridad.
- Cálculos de regulación.
- Cálculos de pérdidas de energía.
- Análisis de cortocircuito y falla a tierra.
- Cálculo y coordinación de protecciones.
- Cálculo económico de conductores.
- Cálculos de ductos, (tuberías, canalizaciones, canaletas, blindobarras).
- Cálculo del sistema de puestas a tierra.
- Análisis de protección contra rayos.
- Cálculo mecánico de estructuras.
- Análisis de coordinación de aislamiento.
- Análisis de riesgos eléctricos y medidas para mitigarlos.
- Cálculo de campos eléctricos y magnéticos en áreas o espacios cercanos a elementos con altas tensiones o altas corrientes donde desarrollen actividades rutinarias las personas.
- Cálculo de iluminación.
- Especificaciones de construcción complementarias a los planos incluyendo las de tipo técnico de equipos y materiales.
- Justificación técnica de desviación de la NTC 2050 cuando sea permitido, siempre y cuando no comprometa la seguridad de las personas o de la instalación.
- Diagramas unifilares.
- Planos eléctricos de construcción.
- Los demás estudios que el tipo de instalación requiera para su correcta y segura operación.

1.2.1 Condiciones básicas en el diseño de toda instalación eléctrica. Todo diseño eléctrico debe contar con una simbología, una clasificación de parámetros y un sistema de unidades estandarizado que faciliten la interpretación y uso en posteriores etapas de cualquier proyecto eléctrico; lo anteriormente descrito, puede ser visto como un instrumento básico de comunicación entre los diferentes actores de las instalaciones eléctricas y de ahí la importancia del aprendizaje y el buen uso de la siguiente información:

1.2.1.1 Clasificación de los niveles de tensión en corriente alterna. El Reglamento Técnico ha fijado los siguientes niveles de tensión, establecidos en la norma NTC 1340, así:

- **Extra alta tensión (EAT).** Corresponde a tensiones superiores a 230 kV.
- **Alta tensión (AT).** Tensiones mayores o iguales a 57,5 kV y menores o iguales a 230 kV.
- **Media tensión (MT).** Los de tensión nominal superior a 1000 V e inferior a 57,5 kV.
- **Baja tensión (BT).** Los de tensión nominal mayor o igual a 25 V y menor o igual a 1000 V.
- **Muy baja tensión (MBT).** Tensiones menores de 25 V.

Cualquier instalación eléctrica, objeto del Reglamento, debe estar asociada a uno de los anteriores niveles. Si en la instalación existen circuitos o elementos en los que se utilicen distintas tensiones, el conjunto del sistema se clasificará para efectos prácticos, en el grupo correspondiente al valor de la tensión nominal más elevada.

1.2.1.2 Sistemas de unidades. Las instalaciones objeto de reglamento, deben aplicar el sistema internacional de unidades (SI), aprobado por Resolución N° 1823 de 1991 de la superintendencia de industria y comercio (ver Tabla 1).

Tabla 1. Simbología de magnitudes y unidades utilizadas en electrotecnia.

Nombre de la magnitud	Símbolo de la	Nombre de la unidad	Símbolo de la
Admitancia		siemens	S
Capacitancia	C	faradio	F
Carga Eléctrica	Q	culombio	C
Conductancia	G	siemens	S
Conductividad	σ	siemens por metro	S/m
Corriente eléctrica	I	amperio	A
Densidad de corriente	J	amperio por metro cuadrado	A/m ²
Densidad de flujo eléctrico	D	culombio por metro	C/m ²
Densidad de flujo magnético		tesla	T
Energía activa	W	vatio hora	W.h
Factor de potencia	FP	uno	1
Frecuencia	F	hertz	Hz
Frecuencia angular	ω	radián por segundo	rad/s
Fuerza electromotriz	E	voltio	V
Iluminancia	E _v	lux	lx
Impedancia	Z	ohmio	Ω
Inductancia	L	henrio	H
Intensidad de campo eléctrico	E	voltio por metro	V/m
Intensidad de campo magnético	H	amperio por metro	A/m
Intensidad luminosa	I _v	candela	cd
Permeabilidad relativa	μ_r	uno	1
Permitividad relativa	ϵ_r	uno	1
Potencia activa	P	vatio	W
Potencia aparente	P _s	voltamperio	V.A
Potencia reactiva	P _o	voltamperio reactivo	VA _r
Reactancia	X	ohmio	Ω
Resistencia	R	ohmio	Ω
Resistividad	ρ	ohmio metro	$\Omega \cdot m$
Tensión o potencial eléctrico	V	voltio	V

Fuente: RETIE

Se deben tener en cuenta las siguientes reglas para el uso de símbolos y unidades:

- No debe confundirse magnitud con unidad.
- El símbolo de la unidad será el mismo para el singular que para el plural.

- Cuando se va a escribir o pronunciar el plural del nombre de una unidad, se usarán las reglas de la gramática española.
- Cada unidad y cada prefijo tiene un sólo símbolo y este no debe ser cambiado. No se deben usar abreviaturas.
- Los símbolos de las unidades se denotan con letras minúsculas, con la excepción del ohmio [Ω] letra mayúscula omega del alfabeto griego. Aquellos que provienen del nombre de personas se escriben con mayúscula.
- El nombre completo de las unidades se debe escribir con letra minúscula, con la única excepción del grado Celsius, salvo en el caso de comenzar la frase o luego de un punto.
- Las unidades sólo podrán designarse por sus nombres completos o por sus símbolos correspondientes reconocidos internacionalmente.
- Entre prefijo y símbolo no se deja espacio.
- El producto de símbolos se indica por medio de un punto.
- No se colocarán signos de puntuación luego de los símbolos de las unidades, sus múltiplos o submúltiplos, salvo por regla de puntuación gramatical, dejando un espacio de separación entre el símbolo y el signo de puntuación

1.2.1.3 Símbolos eléctricos. El uso de un sistema estandarizado de símbolos eléctricos facilita la interpretación e inspección de los diseños eléctricos. Es por esto, que los símbolos eléctricos que deben ser usados en las instalaciones eléctricas son los relacionados en la (Tabla 2.), que fueron extraídos de las normas unificadas IEC 60617, ANSI Y32, CSA Z99 e IEEE 315. Si se requieren otros símbolos se pueden tomar de las normas precitadas.

Tabla 2. Principales símbolos gráficos

Caja de empalme	Corriente continua	Central hidráulica en servicio	Central térmica en servicio	Conductores de fase	Conductor neutro
Conductor de puesta a tierra	Conmutador unipolar	Contacto de corte	Contacto con disparo automático	Contacto sin disparo automático	Contacto operado manualmente
Descargador de sobretensiones	Detector automático de incendio	Dispositivo de protección contra sobretensiones -	DPS tipo varistor	Doble aislamiento	Empalme
Equipotencialidad	Extintor para equipo eléctrico	Fusible	Generador	Interruptor, símbolo general	Interruptor automático en aire
Interruptor bipolar	Interruptor con luz piloto	Interruptor unipolar con tiempo de cierre limitado	Interruptor diferencial	Interruptor unipolar de dos vías	Interruptor seccionador para AT
Interruptor termomagnético	Lámpara	Masa	Parada de emergencia	Seccionador	Subestación
Tablero general	Tablero de distribución	Tierra	Tierra de protección	Tierra aislada	Tomacorriente, símbolo general
Tomacorriente en el piso	Tomacorriente monofásico	Tomacorriente trifásico	Transformador símbolo general	Transformador de aislamiento	Transformador de seguridad

Fuente: RETIE

1.2.1.4 Código de colores para conductores. Con el objeto de evitar accidentes, por errónea interpretación de las tensiones y tipos de sistemas utilizados, se debe cumplir el código de colores para conductores aislados establecidos (en la Tabla 3). Se toma como válido, para determinar este requisito, el color propio del acabado exterior del conductor o en su defecto, la marcación debe hacerse en las partes visibles con pintura, con cinta o rótulos adhesivos del color respectivo. Este requisito es también aplicable a conductores desnudos, que actúen como barrajes en instalaciones interiores.

El código de colores establecido en la (Tabla 3), no aplica para los conductores utilizados en instalaciones a la intemperie, diferentes a la acometida, tales como las redes, líneas y subestaciones tipo poste.

Tabla 3. Código de colores para conductores^{*,,*}.**

SISTEMA	1Φ	1Φ	3ΦY	3ΦΔ	3ΦΔ-	3ΦY	3ΦY	3ΦΔ	3ΦΔ
TENSIONES NOMINALES (Voltios)	120	240/120	208/120	240	240/208/120	380/220	480/440	480 /440	Mas de 1000 V
CONDUCTORES ACTIVOS	1 fase 2 hilos	2 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 4 hilos	3 fases 3 hilos	3 fases
FASES	Negro trifásico	Negro Rojo/	Amarillo Azul Rojo	Negro Azul Rojo	Negro Naranja Azul	Café Negro Amarillo	Café Naranja Amarillo	Café Naranja Amarillo	Violeta Café Rojo
NEUTRO	Blanco	Blanco	Blanco	No aplica	Blanco	Blanco	Gris	No aplica	No aplica
TIERRA DE PROTECCIÓN	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde	Desnudo o verde
TIERRA AISLADA	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	No aplica	Verde o Verde/ amarillo	Verde o Verde/ amarillo	No aplica	No aplica	No aplica

Fuente: RETIE

* En sistemas de media o alta tensión, adicional a los colores, debe fijarse una leyenda con el aviso del nivel de tensión respectivo.

** En circuitos monofásicos derivados de sistemas trifásicos, el conductor de la fase deberá ser marcado de color amarillo, azul o rojo, conservando el color asignado a la fase en el sistema trifásico.

*** En acometidas monofásicas derivadas de sistemas trifásicos, las fases podrán identificarse con amarillo, azul, rojo o negro. En todo caso el neutro será blanco o marcado con blanco y la tierra de protección verde o marcada con verde.

1.2.2 Criterios básicos de selección de los productos usados en instalaciones de suministro eléctrico. La selección adecuada de productos eléctricos realizada en la etapa de diseño de un proyecto eléctrico, no sólo es un derrotero para proyectar la instalación como confiable en cuanto a la prestación de un servicio, sino que también aporta beneficios a la seguridad eléctrica. Un ejemplo, es el uso de conductores eléctricos con adecuado aislamiento eléctrico en lugares fácilmente accesibles a personas no calificadas para manipular electricidad. De este modo, la selección adecuada de un producto (en este caso el conductor eléctrico) contribuiría a evitar accidentes eléctricos por el contacto directo con partes energizadas de una instalación. En cuanto a la selección de los productos (materiales) eléctricos y la respectiva instalación estará en función de la seguridad, del uso, del empleo y de la influencia del entorno, por lo que se deberán tener en cuenta entre otros, los siguientes criterios básicos:

1.2.2.1 Tensión. Las tensiones consideradas deben ser aquéllas a las que funcionan los circuitos. La tensión nominal de un equipo eléctrico, no debe ser inferior a la tensión nominal del circuito al que está conectado.

1.2.2.2 Tensión de ensayo dieléctrico. Esta tensión debe ser asignada con el mayor o el mismo valor de las sobretensiones previstas de la instalación.

1.2.2.3 Corriente. Debe considerarse las corrientes nominales o de operación del equipo.

1.2.2.4 Corriente de cortocircuito. Un factor importante a la hora de seleccionar un equipo, es precisamente el valor de corriente de cortocircuito que puede llegar a soportar; donde la corriente de cortocircuito prevista de la instalación es el derrotero para la selección del producto.

1.2.2.5 Frecuencia. Se debe tomar en cuenta la frecuencia de servicio, cuando ésta influya en las características de los materiales.

1.2.2.6 Potencia. Que no supere la potencia de servicio.

1.2.2.7 Compatibilidad de materiales. No deben causar deterioro en otros materiales, en el medio ambiente ni en las instalaciones eléctricas adyacentes.

1.2.2.8 Otras características. Otros parámetros eléctricos o mecánicos que puedan influir en el comportamiento del producto, tales como el factor de potencia, tipo de corriente, conductividad eléctrica y térmica etc.

1.2.2.9 Características de los materiales en función de las influencias externas. Es preciso conocer cómo se comporta un producto ante las influencias externas, en busca de prever su comportamiento con el tiempo y ante influencias tales como el medio ambiente, condiciones climáticas, corrosión, altitud, etc.

1.2.2.10 Temperaturas normales y extremas de operación. En cuanto a la temperatura nominal asociada a la capacidad de corriente de un conductor, este se debe elegir y coordinar de modo que no supere la temperatura nominal mínima de cualquier terminación, conductor o dispositivo al que se halle conectado. Cuando la temperatura nominal de los conductores, es superior a la temperatura nominal de los terminales, estos conductores pueden ser usados, mediante el ajuste o corrección de la capacidad de corriente o ambas*.

1.2.2.11 Exigencia de los certificados de conformidad. En la (Tabla 4), se listan los productos, que por ser los de mayor utilización en las instalaciones eléctricas y estar directamente relacionados con el objeto y campo de aplicación del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas –RETIE, deben cumplir con los requisitos establecidos por el reglamento, demostrando mediante un certificado de producto que son conformes con el RETIE.

* Para mayor información, ver artículo 110-14 de NTC 2050.

Tabla 4. Productos objeto del RETIE.

PRODUCTO
Aisladores eléctricos de vidrio, cerámica y otros materiales, para uso en líneas, redes, subestaciones y barrajes eléctricos, de tensión superior a 100 V.
Alambre de cobre aislado o sin aislar, para uso eléctrico.
Alambres de aluminio aislado o sin aislar, para uso eléctrico.
Balizas plásticas utilizadas como señales de aeronavegación, en líneas de transmisión.
Balizas de aluminio utilizadas como señales de aeronavegación, en líneas de transmisión.
Bandejas portacables.
Bombillas o lámparas incandescentes de potencia mayor a 25 W y menor de 200 W. y lámparas fluorescentes- compactas de uso domestico o similar.
Cables de aluminio aislado o sin aislar, para uso eléctrico.
Cables de aluminio con alma de acero, para uso eléctrico.
Cables de cobre aislados o sin aislar, para uso eléctrico.
Cajas de conexión para tensión menor a 1000 V.
Canalizaciones y canalelas metálicas y no metálicas.
Celdas para uso en subestaciones de media tensión.
Cinta aislante eléctrica.
Clavijas eléctricas para baja tensión.
Controladores o impulsores para cercas eléctricas.
Contactores eléctricos.
Condensadores y bancos de condensadores con capacidad nominal superior a 3 kVAR.
Conector para electrodos de puesta a tierra.
Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias para menos de 1000 V.
Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias para más de 1000 V y menos de 66 kV (limitadores de tensión).
Dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias para más de 1000 V y menos de 66 kV (amortiguadores de onda).
Ductos de barras (blindobarras).
Electrodos de puesta a tierra en cobre, acero inoxidable, acero recubierto en cobre, acero con recubrimiento galvanizado o cualquier tipo de material usado como electrodo de puesta a tierra
Estructuras de líneas de transmisión y redes de distribución, incluye torrecillas y los perfiles metálicos exclusivos para ese uso
Extensiones eléctricas para tensión menor a 600 V.
Fusibles.
Generadores de corriente alterna o continua, de potencia igual a mayor de 1 kVA, incluyendo grupos electrógenos y pequeñas plantas de generación.
Herajes, para líneas de transmisión y redes de distribución eléctrica.
Interruptores o disyuntores automáticos para tensión menor a 1000 V.
Interruptores manuales o switches de baja tensión, para uso domestico o similares.
Interruptores de media tensión.
Motores eléctricos para tensiones nominales mayores a 25 V y potencias iguales o mayores a 375 W de corriente continua o alterna, monofásicos o polifásicos
Multitomas eléctricas para tensión menor a 600 V.
Portalámparas para bombilla incandescente, de usos domestico o similar.
Postes de concreto, metálicos, madera u otros materiales, para uso en redes eléctricas.
Puestas a tierra temporales.
Puertas cortafuego para uso en bóvedas de subestaciones eléctricas.
Pulsadores.
Tableros, paneles armarios para tensión inferior o igual a 1000 V.
Tableros o celdas de media tensión.
Tomacorrientes para uso general o aplicaciones en instalaciones especiales.
Transformadores de capacidad mayor o igual a 3 kVA.
Tubos de hierro o aleación de hierro, para instalaciones eléctricas.
Tubos no metálicos para instalaciones eléctricas.
Productos para instalaciones clasificadas como peligrosas.
Productos para instalaciones con alta concentración de personas.
Seccionadores de media y baja tensión.
Unidades ininterrumpidas de potencia - UPS
Unidades de tensión regulada (reguladores de tensión).
Productos utilizados en instalaciones especiales y ambientes especiales (Áreas clasificadas).

Fuente: RETIE

Hasta esta parte del documento, se han relacionado los parámetros y los criterios técnicos mínimos que deben seguirse en el diseño de toda instalación eléctrica. Siguiendo con este enfoque; A continuación, se expondrán todos aquellos criterios técnicos básicos de diseño que permiten, mitigar situaciones particulares de riesgo eléctrico.

1.2.3 Criterios básicos de diseño para mitigar situaciones particulares de riesgo eléctrico. Entre las consideraciones técnicas de mayor relevancia a tener en cuenta, cuando se diseñan instalaciones eléctricas, se tienen: las distancias de seguridad, las puestas a tierra, los campos electromagnéticos, las protecciones contra rayos, la Iluminación, entre otras, que mediante un análisis, estudio y aplicación, se consigue mitigar los efectos producidos por fenómenos físicos, tales como: descargas atmosféricas, cortocircuitos y en general situaciones que amenazan la seguridad de las instalaciones eléctricas.

1.2.3.1 Distancias de seguridad. Frente al riesgo eléctrico, la técnica más efectiva de prevención siempre será guardar una distancia respecto a las partes energizadas. El lector podrá acudir a información amplia y detallada al respecto en el capítulo 2 del presente documento.

1.2.3.2 Puestas a tierra. Las puestas a tierra son esenciales en las instalaciones eléctricas de todo nivel de tensión; debido a que estas brindan solución a dos problemas reales, los cuales son: la seguridad de las personas y la seguridad de los equipos. El propósito principal de las puestas a tierras es el evacuar corrientes provenientes de fallas en los sistemas de potencia, cargas estáticas, descargas eléctricas atmosféricas, entre otras, sin que se produzcan riesgos para las personas y/o para los equipos en el capítulo 3 del actual documento, se precisarán los parámetros y criterios técnicos de seguridad de mayor relevancia para los sistemas de suministro eléctrico.

1.2.3.3 Campos electromagnéticos. Los campos electromagnéticos producen radiaciones no-ionizantes que pueden ser perjudiciales para las personas y el medio ambiente. Estos campos son por definición, una modificación del espacio debido a la interacción de fuerzas eléctricas y magnéticas simultáneamente producidas por un campo eléctrico y uno magnético que varían en el tiempo.

Los campos electromagnéticos de baja frecuencia son cuasi-estacionarios (casi estacionarios) y pueden tratarse por separado como si fueran estáticos, tanto para la medición como para el modelamiento.

Las instalaciones del sistema eléctrico de energía producen campos electromagnéticos a 60 Hz. Este comportamiento permite medir o calcular el campo eléctrico y el campo magnético en forma independiente mediante la teoría cuasi-estática, es decir, que el campo magnético no se considera acoplado al campo eléctrico. De este modo es posible definir los siguientes parámetros mínimos de exposición a campos electromagnéticos.

- **Valores límites de exposición a campos electromagnéticos para seres humanos.** Para el caso de las instalaciones objeto del reglamento, las personas que por sus actividades están expuestas a campos electromagnéticos o el público en general, no debe ser sometido a campos que superen los valores relacionados (en la Tabla 5).

Tabla 5. Valores límites de exposición a campos electromagnéticos.

Tipo de exposición	Intensidad de campo eléctrico (kV/m)	Densidad de flujo magnético (μT)
Exposición ocupacional en un día de trabajo de 8 horas.	10	500
Exposición del público en general hasta 8 horas continuas	5	100

Fuente: RETIE.

En las instalaciones objeto del reglamento se deben evaluar los valores de campo eléctrico a la mayor tensión de la instalación y la densidad de flujo magnético a la mayor corriente de operación y si los valores calculados en sitios donde pueda estar expuesto el público o una persona durante varias horas superan los establecidos (en la Tabla 5), se deben tomar las medidas para corregir tal situación.

Por otro lado, en el caso de las líneas de transmisión los valores de exposición ocupacional no deben ser superados a 1 m de altura dentro de la zona de servidumbre y el valor de exposición al público en general en el límite exterior de la servidumbre.

En el caso de los circuitos de distribución, el valor de exposición al público debe medirse a partir de las distancias de seguridad o donde se tenga la posibilidad de permanencia prolongada (Hasta 8 horas) de personas, que no puedan tomar medidas para contrarrestar posibles efectos.

- **Medición de campos electromagnéticos.** Para el caso de las líneas de transmisión y distribución, se debe medir a un metro de altura sobre el nivel del piso y en sentido transversal al eje de la línea dentro de la zona de servidumbre. Para otros casos, se debe medir en el lugar de frecuente permanencia del trabajador para exposición ocupacional y donde pueda circular o permanecer una persona del público en general.

El equipo con el que se realicen las mediciones debe poseer un aseguramiento metrológico por medio del certificado de calibración y además, debe utilizar un método de medición normalizado.

1.2.3.4 Protección contra rayos. El rayo es un fenómeno meteorológico de origen natural, cuyos parámetros son variables espacial y temporalmente.

Colombia presenta una de las mayores actividades de rayos del planeta, de aquí la importancia de la protección contra dicho fenómeno.

- **Evaluación del nivel de riesgo frente a rayos.** Para evaluar el nivel de riesgo frente a rayos, las centrales de generación, las líneas de transmisión, las redes de distribución y las subestaciones deben basarse en procedimientos establecidos en normas técnicas internacionales como la IEC 62305-2, de reconocimiento internacional o la NTC 4552-2.

En los casos que el nivel de riesgo resultante del estudio exija la implementación de medidas para mitigarlo, estas deberán tener en cuenta los requisitos establecidos en el reglamento, los cuales son adaptados de las normas antes mencionadas.

- **Diseño e implementación de un sistema de protección contra rayos.** La protección se debe basar en la aplicación de un Sistema Integral de Protección, adecuado para mitigar los riesgos asociados con la exposición directa e indirecta a los rayos. En general, una protección contra rayos totalmente efectiva no es técnica ni económicamente viable.

El diseño debe realizarse aplicando un método reconocido por normas técnicas internacionales como la serie IEC 62305, de reconocimiento internacional o la NTC 4552, las cuales se basan en el método electrogeométrico.

La persona calificada y encargada de un proyecto, debe incluir unas buenas prácticas de ingeniería de protección contra rayos, con el fin disminuir sus efectos, que pueden ser de tipo electromagnético, mecánico o térmico.

- **Componentes del sistema de protección contra rayos.** El sistema de protección contra rayos debe tener los siguientes componentes:

- **Terminales de captación o pararrayos.** En (la Tabla 6), adaptada de las normas IEC 62305 e IEC 61024-1, se presentan las características que deben cumplir los pararrayos o terminales de captación contruidos especialmente para este fin.
- **Bajantes.** Con el propósito de reducir la probabilidad de daño, por causa de corrientes de rayo fluyendo por el sistema de protección externo de una edificación, los conductores que cumplen la función de bajantes deben ser al menos dos y con la mínima longitud para los caminos de corriente. Cada uno de las bajantes deben terminar en un electrodo de puesta a tierra, estar separados un mínimo de 10 m y siempre, se debe localizar en las partes externas de la edificación. Los bajantes del sistema de protección contra rayos debe cumplir los requisitos (de la Tabla 6). Adicionalmente, se debe cumplir que si una parte conductora que conforma el sistema de puesta a tierra está a menos de 1,8 m de un bajante de pararrayos, esta se debe unir a ella.

Tabla 6. Características de los terminales de captación y bajantes^{*, **, *}.**

MATERIAL	CONFIGURACIÓN	AREA MÍNIMA ¹⁾ mm ²	DIÁMETROS Y ESPESORES MÍNIMOS ²⁾
Cobre	Cinta sólida	50	2 mm de grosor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Cable	50	1,7 mm de diámetro por hilo
	Varilla	200	16 mm de diámetro
Aluminio o aluminio recubierto de cobre	Cinta sólida	70	3 mm de espesor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Cable	50	1,7 mm de diámetro por hilo
Acero galvanizado en caliente o acero recubierto de cobre	Cinta sólida	50	2,5 mm de grosor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Cable	50	1,7 mm de diámetro por hilo
	Varilla	200	16 mm de diámetro Espesor de la capa: 50µm

* Los terminales de captación no requieren certificación de producto, el constructor e inspector de la instalación verificarán el cumplimiento de los requisitos dimensionales.

** Cualquier elemento metálico de la estructura que se encuentre expuesto al impacto del rayo, como antenas de televisión, chimeneas, techos, torres de comunicación y cualquier tubería que sobresalga, debe ser tratado como un terminal de captación siempre que se garantice la capacidad de conducción y continuidad eléctrica.

*** Para efectos del reglamento, se considera que el comportamiento de todo terminal de captación debe tomarse como el de un terminal tipo Franklin.

Tabla 6. Continuación.

MATERIAL	CONFIGURACIÓN	AREA MÍNIMA ¹⁾ mm ²	DIÁMETROS Y ESPESORES MÍNIMOS ²⁾
Anexo inoxidable	Cinta sólida	50	2,5 mm de grosor
	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Cable	50	1,7 mm de diámetro por hilo
	Varilla	200	16 mm de diámetro
Bronce	Alambre	50	8 mm de diámetro
	Tubo	50	4 mm de grosor
	Varilla	200	16 mm de diámetro
Si aspectos térmicos y mecánicos son importantes, estas dimensiones se pueden aumentar a 60mm² para cinta sólida y a 78 mm² para alambre. En las dimensiones de grosor, ancho y diámetro se admite una tolerancia de $\pm 10\%$. No se deben utilizar terminales de captación o pararrayos con elementos radiactivos.			

Fuente: RETIE

- **Puesta a tierra para protección contra rayos.** La puesta a tierra de protección contra rayos debe cumplir con los criterios que le apliquen...en el Capítulo 3... del presente documento, especialmente en cuanto a materiales e interconexión. La configuración debe hacerse con electrodos horizontales (contrapesos), verticales o una combinación de ambos.

1.2.3.5 Iluminación. Si se tiene en cuenta que por lo menos una quinta parte de la vida del hombre transcurre bajo alumbrado artificial, se comprenderá el interés que hay en establecer los requisitos mínimos para realizar los proyectos de iluminación. La iluminación de espacios tiene alta relación con las instalaciones eléctricas, pues la mayoría de las fuentes modernas de iluminación se fundamentan en las propiedades de incandescencia y la luminiscencia de materiales sometidos al paso de corriente eléctrica. Una buena iluminación, además de ser un factor de seguridad, productividad y de rendimiento en el trabajo, mejora el confort visual y hace más agradable y acogedora la vida.

- **Diseño de Iluminación.** El diseño de una instalación eléctrica deberá tener en cuenta los requerimientos de iluminación de acuerdo con el uso y el área o espacio a iluminar que tenga la edificación objeto de la instalación eléctrica. Un diseño de iluminación debe comprender las siguientes condiciones esenciales:

- Suministrar una cantidad de luz suficiente para el tipo de actividad que se desarrolle.
- El método y los criterios de diseño y cálculo de la iluminación deben asegurar los valores de coeficiente de uniformidad adecuados a cada aplicación.
- Controlar las causas de deslumbramiento.
- Prever el tipo y cantidad de fuentes y luminarias apropiadas para cada caso particular teniendo en cuenta las eficiencias lumínicas y la vida útil.
- Utilizar fuentes luminosas con la temperatura y reproducción del color adecuado a la necesidad.
- Propiciar el uso racional y eficiente de la energía eléctrica requerida para iluminación, utilizando fuentes de alta eficacia lumínica e iluminando los espacios que efectivamente requieran de iluminación.
- Atender los Lineamientos del Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público -RETILAP-^{*}.
- Los sistemas de control de las lámparas, deben estar dispuestos de manera tal que se permita el uso racional y eficiente de la energía, para lo cual debe garantizarse alta selectividad de las áreas puntuales a iluminar y combinar con sistemas de iluminación general.

^{*} Para mayor información, acudir al reglamento de iluminación –RETILAP–

1.3 CONSTRUCCIÓN (INSTALACIÓN Y ADECUACIÓN)

1.3.1 Cerramientos de equipos. Los cuartos y espacios en los cuales los conductores o equipos de suministro eléctrico son instalados, deben ser dispuestos con mallas, pantallas, o paredes en forma de recinto, con lo que se limite la probabilidad de entrada a personas no autorizadas o la interferencia de estos con equipos en el interior. ...Véase capítulo 4, denominado “Estaciones de Suministro Eléctrico y sus Equipos”.

1.3.2 Materiales usados para la construcción en lugares con tensión eléctrica. El uso de materiales combustibles en las proximidades de canalizaciones y en máquinas o equipos bajo tensión, están prohibidos. Sólo se permite su utilización siempre y cuando estén alejados de la parte con tensión o debidamente protegidos.

1.3.3 Conexiones eléctricas. Debido a las distintas características de metales disímiles, los dispositivos como terminales a presión o conectores a presión y lengüetas soldadas, se deben identificar en cuanto al material del conductor y deben estar bien instalados y utilizados. No se deben mezclar en un terminal o en un conector de empalme, conductores de metales distintos, cuando se produzcan contactos físicos entre ellos (como por ejemplo, cobre y aluminio, cobre y aluminio revestido de cobre o aluminio y aluminio revestido de cobre), a no ser que el dispositivo esté identificado para ese fin y las condiciones de uso sean las apropiadas. Si se utilizan materiales como compuestos para soldar, fundentes, inhibidores y restringentes, deben ser adecuados para el uso y deben ser de un tipo que no deteriore a los conductores, la instalación o a los equipos*.

* En muchos terminales y equipos se debe considerar su par de ajuste o apriete.

1.3.3.1 Empalmes. Los conductores se deben empalmar o unir con medios de empalme identificados para su uso o con soldadura de bronce, de arco o blanda, con un metal o aleación fusible. Antes de soldarse, los empalmes se deben unir de modo que queden mecánica y eléctricamente seguros y después sí se deben soldar. Todos los empalmes y uniones y los extremos libres de los conductores, se deben cubrir con un aislante equivalente al de los conductores o con un dispositivo aislante identificado para ese fin. Los conectores o medios de empalme de los cables en conductores que van directamente enterrados o en instalaciones subterráneas, deben estar certificados para cada uno de estos usos.

1.3.3.2 Terminales. La conexión de los conductores a los terminales debe asegurar una buena y completa conexión sin dañar los conductores y debe hacerse por medio de conectores a presión (de los tipos tornillo o cuña de presión), lengüetas soldadas o empalmes a terminales flexibles. Se permite la conexión por medio de tornillos o pernos de sujeción de cables y tuercas que tengan lengüetas plegables o equivalentes, para conductores de sección transversal de $5,25 [mm^2]$ (No. 10 AWG) o menores. Los terminales para más de un conductor y los terminales utilizados para conectar aluminio, deben estar así identificados.

1.3.4 Montaje. Los equipos eléctricos se deben fijar firmemente a la superficie sobre la que van montados. No se deben utilizar tacos de madera en agujeros, en mampostería, hormigón, yeso o materiales similares.

1.3.5 Ventilación. El equipo eléctrico que dependa de la circulación natural del aire y de la convección para la ventilación de las superficies expuestas, se debe instalar de modo que no se impida la circulación del aire sobre dichas superficies por medio de paredes o equipos instalados a los costados. Para los equipos destinados para montaje en el suelo, se deben dejar las distancias entre las superficies superiores y las adyacentes para que se disipe el aire caliente que

circula hacia arriba. El equipo eléctrico dotado de aberturas de ventilación se debe instalar de modo que las paredes u otros obstáculos no impidan la libre circulación del aire a través del equipo.

1.3.6 Protección física de partes energizadas. Las entradas a todos los edificios, cuartos o encerramientos que contengan partes energizadas expuestas o conductores expuestos a más de 600V nominales, se deben mantener cerradas con llave, a menos que dichas entradas estén en todo momento bajo la supervisión de personal calificado.

Cuando la tensión supere los 600V nominales, debe haber señales de advertencia permanentes y bien a la vista, en los que se indique lo siguiente: “PELIGRO - ALTA TENSIÓN – PROHIBIDA LA ENTRADA”. ...Véase el numeral 1.3.8... *“señalización de seguridad”*.

1.3.7 Identificación de los medios de desconexión. Todos los medios de desconexión para motores, artefactos y todas las acometidas, circuitos principales o ramales en su punto de origen, deben estar rotulados de modo legible y que indique el objetivo, a no ser que estén situados e instalados de modo que ese objetivo sea evidente. Los rótulos deben ser suficientemente durables para que soporten las condiciones ambientales.

Cuando los interruptores automáticos o los fusibles se combinen en un equipo para utilizarse en cascada, en el(los) encerramiento(s) de estos equipos, el fabricante debe colocar rótulos legibles que indiquen ese propósito. Los rótulos deben ser fácilmente visibles e indicar “Aviso - Para utilizar como Sistema en cascada. Corriente disponible ____A. Se requiere que las piezas de repuesto estén identificadas”...Véase el numeral 1.3.8...

1.3.8 Señalización de seguridad. Las señales de seguridad tienen como objetivo transmitir mensajes de prevención, prohibición o información en forma clara, precisa y de fácil entendimiento para todos, en una zona en la que se ejecutan trabajos eléctricos o en zonas de operación de máquinas, equipos o instalaciones que entrañen un peligro potencial. Las señales de seguridad no eliminan por sí mismas el peligro, pero dan advertencias o directrices que permitan aplicar las medidas adecuadas para prevención de accidentes.

Los siguientes requisitos de señalización, tomados de las normas IEC 60617, NTC 1461 e ISO 3461, ANSI Z 535, ISO 3864-2, son de obligatoria aplicación y la entidad propietaria de la instalación será responsable de la utilización. Su escritura debe ser en idioma castellano y deberán localizarse en los sitios visibles que permitan cumplir su objetivo.

El uso de las señales de riesgo adoptadas por el reglamento será de obligatorio cumplimiento, a menos que alguna norma de mayor jerarquía legal determine algo diferente, en cuyo caso las empresas justificarán la razón de la no utilización.

1.3.8.1 Clasificación de las señales de seguridad. Las señales de seguridad se clasifican en *“informativas, de advertencia y de obligación o prohibición”*, las cuales según el tipo y significado deben aplicar las formas geométricas y los colores de la (Tabla 7), además de llevar pictogramas en el interior.

Las dimensiones de la señales deben ser aquellas que permitan verse y captar el mensaje a distancias razonables del elemento o área sujeta al riesgo. Para compensar las diferencias en área de las cuatro formas y para asegurar que todos los símbolos parezcan relativamente iguales en tamaño cuando se vean a cierta distancia, se deben manejar las siguientes proporciones:

Tabla 7. Clasificación y colores para las señales de seguridad

Tipo de señal de seguridad	Forma Geométrica	Color			
		Pictograma	Fondo	Borde	Banda
Advertencia o precaución	Triangular	Negro	Amarillo	Negro	-
Prohibición	Redonda	Negro	Blanco	Rojo	Rojo
Obligación	Redonda	Blanco	Azul	Blanco o	-
				Azul	
Información contra incendios	Rectangular o cuadrada	Blanco	Rojo	-	-
Salvamento o socorro	Rectangular o cuadrada	Blanco	Verde	Blanco o	-
				verde	

Fuente: RETIE

- Base del triángulo equilátero : 1
- Diámetro del círculo : 0,8
- Altura del cuadrado o del rectángulo: 0,75
- Ancho del rectángulo : 1,2

Las dimensiones típicas de la base del triángulo son: 25, 50, 100, 200, 400, 600 o 900 mm.

Las principales señales de seguridad relacionadas con las instalaciones se muestran en la (Tabla 8).

Tabla 8. Principales señales de seguridad.

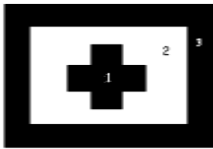
Descripción	Pictograma	Señal
Equipo de primeros auxilios	Cruz Griega	 1. Negro o Verde 2. Blanco 3. Verde Significado: Puesto de Primeros auxilios
Materiales inflamables o altas temperaturas.	Llama	
Materiales tóxicos	Calavera con tibias cruzadas	
Materiales corrosivos	Mano carcomida	
Materiales radiactivos	Un trébol convencional	
Riesgo eléctrico	Un rayo o arco	
Símbolo de protección obligatoria de los pies.	Botas con símbolo de riesgo eléctrico	
Símbolo de prohibido el paso	Peatón caminando con línea transversal sobrepuesta	
Debe utilizarse protección para la cabeza	Cabeza de persona con casco	

Tabla 8. Continuación

Debe utilizarse protección para los ojos	Cabeza de persona con gafas	
Debe utilizarse protección para los oídos	Cabeza de persona con auriculares	
Debe utilizarse protección para las manos	Guante	

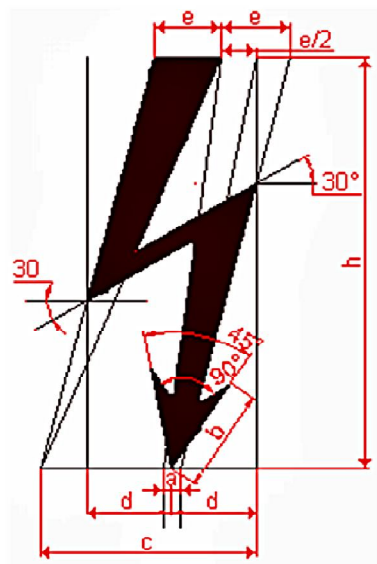
Fuente: RETIE

1.3.8.2 Señales de advertencia. Las entradas a cuartos y otros lugares protegidos que contengan partes energizadas expuestas, se deben marcar con señales de advertencia visibles que prohíban la entrada a personal no calificado. Ver símbolos y dimensiones del riesgo eléctrico, ver (Figura 2).

1.3.8.3 Características específicas del símbolo de riesgo eléctrico. Donde se precise el símbolo de riesgo eléctrico, se conservarán las siguientes dimensiones, adoptadas de la IEC 60417-1: se podrán aceptar medidas con tolerancias de $\pm 10\%$ de los valores señalados.

Figura 2. Símbolo y Dimensiones del riesgo eléctrico.

h	a	b	c	d	e
5	0,6	3,7	7,6	3	2,4
30	1,2	7,5	15,3	6	4,8
40	1,6	10	20	8	6,4
50	2	12	26	10	8
64	2,5	16	33	13	10
80	3	20	41	16	12,8
100	4	25	51	20	16
125	5	32	64	25	20
160	6	40	82	32	26
200	8	50	102	40	32



Dimensiones de símbolos de riesgo

Símbolos de riesgo eléctrico

Fuente: RETIE

1.3.9 Rotulado de equipos eléctricos. En todos los equipos eléctricos se colocará el nombre del fabricante, la marca comercial u otra descripción mediante la que se pueda identificar a la empresa responsable del producto. Debe haber otros rótulos que indiquen la tensión, capacidad de corriente, potencia u otras clasificaciones, tal como se especifica en otras secciones de este documento. Los rótulos deben ser suficientemente durables para que soporten las condiciones ambientales.

2. DISTANCIAS Y ESPACIAMIENTOS DE SEGURIDAD EN INSTALACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO [1], [3], [4]

2.1 VISIÓN GENERAL

Frente al riesgo eléctrico, la técnica más efectiva de prevención siempre será guardar una distancia respecto a las partes energizadas, debido a que el aire es un excelente aislante. En este capítulo se precisarán las distancias y los espaciamientos de seguridad mínimos que deberán guardarse entre los componentes eléctricos, elementos físicos y personas calificadas o no, en la manipulación de las líneas aéreas de suministro eléctrico y las líneas aéreas de comunicaciones asociadas con las líneas aéreas de suministro eléctrico.

En cuanto al contenido del presente capítulo, se debe precisar que el apartado 2.2 *Generalidades* ha sido concebido con el objeto de presentar información relevante, como lo es: el ámbito de aplicación en las instalaciones (ya sea de tipo permanente o temporal); algunas posibles excepciones en cuanto a distancias de seguridad de utilidad en las instalaciones de emergencia. Además este apartado sirve de referencia constante para lo expuesto en los demás apartados del actual capítulo, donde se precisan distancias y espaciamientos de seguridad en condiciones específicas (sean estas por ubicación, clasificación de tensión, condiciones ambientales y del entorno propias de las instalaciones, entre otras).

2.2 GENERALIDADES

2.2.1 Aplicación. Las distancias, espaciamientos y espacios de seguridad planteadas en este capítulo, tienen aplicación en todas aquellas instalaciones de suministro eléctrico de tipo permanente y temporal. Sin embargo, algunas

distancias de seguridad pueden ser reducidas en instalaciones de emergencia, si cumplen las siguientes condiciones*:

2.2.1.1 Los conductores y cables de suministro expuestos con tensión no superior a 750 V, los cables de suministro eléctrico aislados (véase el numeral 2.2.3), los cables de comunicación, templete, cables mensajeros y conductores neutros conectados a tierra en toda su longitud y asociados con circuitos de 0 a 22 kV a tierra (véase el numeral 2.2.5.1), no deberían estar suspendidos por debajo de 4,8 m sobre aéreas donde circulan camiones o a 2,70 m sobre áreas limitadas para circulación de peatones o tráfico restringido^{*,**}.

2.2.1.2 Las distancias verticales de seguridad para conductores expuestos de suministro a tensiones superiores a los 750 V deben ser incrementadas por encima del valor aplicado y citado para aquellos con tensiones de 0 a 750 V, según corresponda para la tensión implicada y las condiciones locales dadas.

2.2.1.3 Las reducciones en distancias de seguridad horizontales, deberán estar en conformidad con las buenas prácticas para las condiciones locales dadas, durante la vigencia de la instalación de emergencia.

2.2.1.4 Los cables de suministro y de comunicación pueden estar tendidos directamente sobre cruces si están protegidos o de lo contrario, ubicados de modo que no obstaculicen indebidamente al peatón o el tráfico vehicular cumpliendo con la señalización apropiada. Los cables de suministro eléctrico que operan por encima de 600 V deberán cumplir ya sea con lo establecido en el numeral 2.2.3 o

* No deberían ser reducidas las distancias horizontales en instalaciones de emergencia.

* Los camiones son definidos como cualquier vehículo que excede los 2,5 m en altura; las zonas no sujetas a tráfico de camiones son áreas donde el tráfico de camiones no es ni normal, ni razonable y se encuentran previstas o constan de algún medio limitante para el tráfico de los mismos.

** Espacios y caminos sujetos al paso de peatones o de tráfico restringido, sólo son esas áreas donde son prohibidos los paseos a caballo, vehículos o cualquier otra unidad móvil que exceda los 2,5 m en altura.

lo tratado en el Capítulo 6 numeral 6.6.1.2, para líneas aéreas y subterráneas respectivamente.

2.2.1.5 No se especifica distancias de seguridad para áreas donde el acceso es limitado sólo a personal calificado, pero no implica que no se respeten las distancias y espaciamientos mínimos de seguridad para los trabajadores.

2.2.2 Medición de distancias de seguridad y espaciamientos. A menos que se indique lo contrario, todas las distancias de seguridad deben ser medidas de superficie a superficie y todos los espaciamientos deben ser medidos de centro a centro. Para efectos de medición de las distancias de seguridad, los accesorios metálicos normalmente energizados serán considerados como parte de los conductores de línea. Las bases metálicas de los terminales del cable, los pararrayos y dispositivos similares deberán ser considerados como parte de la estructura de soporte.

2.2.3 Cables de suministro^{*} . Para propósitos de las distancias de seguridad, los cables de suministro aislados (incluyendo empalmes y derivaciones), podrán guardar distancias de seguridad menores que a conductores expuestos de la misma tensión; si cumple, con cualquiera de las siguientes recomendaciones:

2.2.3.1 Cables que son apoyados o trenzados en un cable mensajero o neutro expuesto (desnudo) puesto a tierra de manera efectiva o con neutro concéntrico formado por múltiples conductores, cuando el conductor neutro asociado cumpla con los criterios dado en el numeral 2.2.5.1 y cuando los cables también cumplan con lo siguiente:

^{*} Los cables deben ser capaces de resistir pruebas aplicadas en conformidad con los estándares que les apliquen.

- Cables de cualquier tensión que tienen una cubierta o pantalla metálica continua puesta a tierra de manera efectiva.
- Cables diseñados para operar en un sistema multi-tierras a 22 kV o menos y que tienen una pantalla aislante semiconductora, en combinación con un adecuado drenaje metálico.

2.2.3.2 Cables de cualquier tensión, no incluidos en el numeral 2.2.3.1, cubiertos con una pantalla semiconductora auxiliar continúa, en combinación con una adecuada cubierta metálica; donde, los mismos estén suspendidos y trenzados en un cable mensajero desnudo efectivamente conectado a tierra.

2.2.3.3 Cable aislado no apantallado, que opera a no más de 5 kV fase a fase o 2,9 kV fase a tierra, suspendido y trenzado en un cable mensajero o neutro desnudo puesto a tierra de manera efectiva.

2.2.4 Conductores cubiertos o protegidos. Los conductores cubiertos o protegidos, deben ser considerados conductores expuestos (desnudos) para todas las distancias de seguridad requeridas, excepto para la distancia de seguridad entre conductores del mismo o de diferentes circuitos, incluyendo los conductores puestos a tierra, que pueden tener una distancia por debajo de los valores establecidos para conductores expuestos, si y solo si, estos conductores son tenidos, operados o mantenidos por los mismos operarios y cuando la cubierta del conductor proporciona suficiente resistencia dieléctrica, para limitar la posibilidad de un cortocircuito en caso de contacto momentáneo entre los conductores o entre los conductores y el conductor puesto a tierra. Se recomienda usar espaciadores intermedios para mantener la distancia de seguridad del conductor y proporcionar apoyo.

2.2.5 Conductores neutros.

2.2.5.1 Los conductores neutros que son conectados a tierra efectivamente en toda su longitud y asociados con circuitos de 0 a 22 kV a tierra, pueden tener las mismas distancias de seguridad, listadas y determinadas a lo largo del presente capítulo, para los templetes y los cables mensajeros.

2.2.5.2 Cualquier otro conductor neutro de un circuito de suministro eléctrico, debe tener las mismas distancias de seguridad, que la de los conductores de fase del circuito al cual esté asociado.

2.2.6 Cable de fibra óptica.

2.2.6.1 Cable de fibra óptica-suministro.

- El cable definido como “cable de fibra óptica-suministro” soportado en un cable mensajero que está puesto a tierra de manera efectiva en toda su longitud, podrá tener la misma distancia de seguridad, de las instalaciones de comunicaciones, exigida para el conductor neutro que cumple el numeral 2.2.5.1.
- El cable definido como “cable de fibra óptica-suministro” que es totalmente dieléctrico o que está soportado en un cable mensajero totalmente dieléctrico, deberá tener la misma distancia de seguridad, de las instalaciones de comunicaciones exigidas para el conductor neutro que cumple el numeral 2.2.5.1.
- Los cables de “fibra óptica-suministro”, apoyados en o entre cables mensajeros no citados anteriormente, deberán tener las mismas distancias de seguridad de

las instalaciones de comunicaciones requeridas para dichos cables mensajeros.

- Los cables de “fibra óptica-suministro”, apoyados con o dentro de un conductor(es) o que contengan un(os) conductor(es) o cubierta(s) de cable dentro del montaje del cable de fibra óptica deberá tener las mismas distancias de seguridad de las instalaciones de comunicaciones necesarias para tales conductores. Dicha distancia de seguridad no deben ser menores a las requeridas por los 3 primeros párrafos en 2.2.6.1 según sea el caso.
- Los cables de “fibra óptica-suministro”, que cumplen con el numeral 5.3.7.1 del capítulo 5, son considerados cables de comunicación cuando se ubican en el espacio de comunicación.

2.2.6.2 Cable de fibra óptica-comunicación. El cable definido como “cable de fibra óptica-comunicación” deberá tener las mismas distancias de seguridad de las instalaciones de suministro eléctrico exigidas para el cable mensajero de comunicación.

2.2.7 Circuitos de corriente alterna y continua. Los criterios aquí planteados son aplicables a circuitos AC y DC. Para circuitos DC las distancias de seguridad requeridas deben ser las mismas que para las de AC, que tienen la misma tensión pico a tierra*.

2.2.8 Circuitos de corriente constante. Las distancias de seguridad para circuitos de corriente constante (como circuitos serie de iluminación), deben ser determinadas con base en la tensión nominal a condición de carga nominal.

* Aunque la tensión de cresta correspondiente para un circuito de AC sinusoidal común, puede ser calculado multiplicando su valor RMS por 1,414 (la raíz cuadrada de 2), esto no puede ser apropiado para circuitos de AC de otro tipo. Un ejemplo de este último es representado por el suministro de energía no-sinusoidal que es usado en algunos tipos de cables coaxiales de sistemas de comunicación.

2.2.9 Mantenimiento de distancias de seguridad y espaciamientos. Las distancias y espaciamientos necesarios, deberían ser mantenidos de acuerdo a los valores presentados por este documento y bajo los requerimientos establecidos por el -RETIE-.

2.3 DISTANCIAS DE SEGURIDAD DE LAS ESTRUCTURAS DE SOPORTE A OTROS OBJETOS*

Las estructuras de soporte, los templetes de anclaje, los brazos de apoyo (cruceas) y los equipos fijados a ellos, deben tener las siguientes distancias de seguridad a otros objetos:

2.3.1 A los hidrantes. La distancia de seguridad de las estructuras de soporte a los hidrantes no debe ser inferior a 1,2 m.

EXCEPCIÓN: Donde las condiciones no lo permitan, una distancia no menor a 0,9 m es permitida.

2.3.2 A calles, caminos y carreteras.

2.3.2.1 Donde hay sardinel, las estructuras de soporte, los templetes de anclaje, los brazos de apoyo (cruceas) o los equipos adjuntos a los mismos, deben tener una altura no menor de 4,6 m por encima de la superficie de la carretera y deberán estar ubicados a una distancia suficiente de un lado de los sardineles de la calle, para evitar el contacto con vehículos de uso común que se encuentren en la calzada. La distancia entre el borde de la Acera de la calle y la estructura de soporte no debe ser menor a 0,15 m. Para un sardinel tipo -canal de desagüe- pavimentado o en concreto, tales instalaciones deben ser ubicadas junto al borde más alto del sardinel.

* La distancia de seguridad se mide entre las partes más cercanas de los objetos (camiones, carros, vagones, hidrantes entre otros), que pudiesen estar presentes en calles, caminos, carreteras y vías férreas.

2.3.2.2 Donde no hay sardineles, las estructuras de soporte deberían ser ubicadas a una distancia suficiente de la calzada, para evitar el contacto con vehículos de uso común que se encuentren en la carretera.

2.3.2.3 La ubicación de las instalaciones aéreas, en las carreteras con limitado andén o acera son un caso especial que debe ser resuelto de una manera consistente con las limitaciones y condiciones imperantes.

2.3.2.4 Los permisos emitidos por una autoridad gubernamental competente, en donde se autorice la ubicación de las estructuras y los soportes, estos deberán regir.

2.3.3 A vías férreas. Cuando una línea aérea o cualquier parte de la estructura de soporte, templete de anclaje, brazo de apoyo (cruceta) y equipos fijados a ellos, se ubiquen en forma paralela o cruce una vía férrea, esta deberá mantener una distancia vertical no menor de 6,7 m, sobre el sendero del riel más próximo y además deberá tener una distancia de seguridad horizontal preferiblemente no menor a las listadas a continuación:

2.3.3.1 Una distancia de seguridad horizontal no menor a 3,6 m del sendero de riel más cercano.

EXCEPCIÓN 1: una distancia no menor de 2,13 m puede ser permitida, donde la estructura de soporte no presente obstrucción, proporcionando suficiente espacio para un camino de entrada donde los carros férreos son cargados o descargados.

EXCEPCIÓN 2: los soportes para los conductores aéreos del tranvía, pueden ser ubicados tan cerca del propio sendero del riel, como las condiciones lo requieran, si es muy estrecho, de todos modos las pantallas permanentes en los carros deberán ser necesarias para proteger a los pasajeros.

EXCEPCIÓN 3: donde se necesita proporcionar condiciones de operación segura, que requieran una visión ininterrumpida de señales, signos, etc., a lo largo de los senderos, las partes interesadas deben cooperar en la localización de la estructura, para proporcionar la distancia necesaria.

2.3.3.2 La distancia de seguridad horizontal planteada en el numeral 2.3.3.1 puede ser reducida mediante acuerdo con la empresa ferroviaria.

2.4 DISTANCIAS VERTICALES DE SEGURIDAD PARA CABLES, CONDUCTORES Y EQUIPOS POR ENCIMA DEL SUELO, CARRETERAS, VÍAS FÉRREAS O SUPERFICIES DE AGUA

2.4.1 Aplicación. Las siguientes distancias verticales de seguridad aplican bajo las siguientes temperaturas de los conductores y condiciones de carga. Importante considerar que aplica cualquiera que produzca la mayor flecha final.

- o 50°C sin desplazamiento por viento.
- o La máxima temperatura del conductor, para la cual la línea está diseñada para operar, si es mayor que 50°C, sin desplazamiento por viento.
- o 0°C sin desplazamiento por viento, con un espesor radial de hielo*.

EXCEPCIÓN: La condición de temperatura y carga del conductor del trole y los conductores de contacto de la vía férrea electrificada deberá ser 15°C, sin desplazamiento de viento, flecha final sin carga o flecha inicial sin carga, en los casos en que estas instalaciones se mantengan aproximadamente con las flechas iniciales sin cargas.

2.4.2 Distancias verticales de seguridad a alambres, conductores, cables, equipos y brazos de apoyo montados en estructuras de soporte.

2.4.2.1 Distancias verticales de seguridad a cables, alambres y conductores.

Las distancias verticales de seguridad de cables, alambres, conductores por encima del suelo, en lugares generalmente accesibles, vías férreas o superficies de agua, no deben ser menores a las mostradas en la (Tabla 9).

* Los conductores de fase y neutro de una línea de suministro son generalmente considerados de manera individual al momento de determinar la flecha de cada uno, debido al aumento de la temperatura.

2.4.2.2 Distancias verticales de seguridad a partes de equipos energizados sin protección. Las distancias verticales de seguridad por encima del suelo, carretera o superficies de agua a las partes energizadas sin protección, así como los terminales del cable, bujes de transformadores, pararrayos y tramos cortos de conductores de suministro conectados a los mismos que no estén sujetos a variación vertical, no deben ser menores a las listadas en la (Tabla 10). Para distancias de seguridad de circuitos colgantes de acometida, ver (Tabla 9).

2.4.2.3 Distancias verticales de seguridad a brazos de soporte (crucetas) y carcasas de equipos. La distancia vertical de seguridad de las carcasas de los equipos, brazos de apoyo (crucetas) sobre el nivel del piso o de libre circulación, no deben ser menores a las listadas en la (Tabla 10). Estas distancias no se aplican a brazos estructurales interiores de torres en celosía (reticulados o mallados), brazos en “X” entre postes y postes de apuntalamiento.

2.4.2.4 Alumbrado de áreas o ambientes exteriores, tales como; calles, caminos, carreteras entre otras.

- Las distancias verticales de seguridad de las luminarias tipo áreas, no deben ser menores a los valores listados en la (Tabla 10). Para este propósito, las carcasas de las luminarias y los soportes puestos a tierra, deben ser considerados como equipos efectivamente puestos a tierra; si las carcasas de las luminarias y los soportes de las mismas no son puestos a tierra, estos deberán ser considerados como una parte rígida energizada que se encuentra, a la tensión del sistema.

EXCEPCIÓN: Esta recomendación no aplica a las luminarias montadas en la punta superior del poste, con conexión a tierra o cubrimiento totalmente dieléctrico.

- Los aisladores, como se especifica en el numeral 5.4.10 deberán ser instalados como mínimo a 2,45 m, desde el nivel del piso en cuerdas o cadenas metálicas de suspensión que soporten unidades de alumbrado de circuitos en serie.

2.4.3 Distancias verticales de seguridad adicionales para alambres, conductores, cables y partes rígidas de equipos energizados sin protección.

2.4.3.1 Tensiones que exceden los 22 kV.

- Para tensiones entre 22 kV y 470 kV, las distancias verticales de seguridad de alambres, conductores y cables por encima del suelo, en lugares generalmente accesibles, vías férreas o superficies de agua, ver (Tabla 9) o a partes de equipos energizados sin protección, ver (Tabla 10), deben ser incrementadas a la razón de 10 mm por kV en exceso de 22 kV*.

EXCEPCIÓN: para tensiones que excedan los 98 kV AC a tierra o 139 kV DC a tierra, menores distancias de seguridad a las requeridas son permitidas para sistemas donde se conoce el máximo factor de sobretensión por maniobra.

- Para tensiones que excedan los 50 kV, la distancia de seguridad adicional, debe ser incrementada un 3% por cada 300 m, por encima de los 1000 m sobre el nivel del mar.
- Para tensiones que excedan los 98 kV AC a tierra, las distancias deben ser incrementadas o el campo eléctrico y sus efectos deben ser reducidos por otros medios según sea necesario para limitar el estado estable de la corriente, de acuerdo a los efectos electrostáticos a 5 mA RMS, si el camión más grande previsto, vehículo o equipos bajo la línea fueran cortocircuitados a tierra. El tamaño del camión previsto, vehículo o equipo usado para determinar esas distancias puede ser inferiores, pero no necesariamente muy por debajo a las limitadas por las reglamentaciones locales en el área bajo la línea. Para esta determinación, los conductores deben estar a una flecha final sin carga de 50°C.

* Todas las distancias de seguridad para líneas por encima de 50 kV, deben estar basadas en la máxima tensión de funcionamiento.

2.4.4 Distancias verticales de seguridad alternativas para las tensiones que exceden los 98 kV AC a tierra o 139 kV DC a tierra. Las distancias de seguridad especificadas en los numerales 2.4.2 y 2.4.3, pueden ser reducidas en circuitos donde se conocen los máximos factores de sobretensiones por maniobra, pero no deben ser menores a la distancia de seguridad alternativa, la cual se calcula sumando la altura de referencia al componente eléctrico de la distancia de seguridad, donde:

2.4.4.1 Alturas de referencia. La altura de referencia, debe ser seleccionada de la (Tabla 11).

2.4.2.2 Distancias de seguridad del componente eléctrico (Valor D).

- El valor (D) o componente eléctrico debe ser calculado usando la siguiente ecuación. Valores seleccionados de D están listados en la (Tabla 12).

$$D = 1,00 \left[\frac{V * (PU) * a}{500K} \right]^{1,667} bc \text{ [m]}$$

Para cuya ecuación, las variables son:

V : Máxima tensión de operación de cresta de AC a tierra o máxima tensión de operación de DC a tierra en kV,

PU : Máximo factor de sobretensión transitoria de conmutación (o maniobra) expresado por la máxima tensión en por unidad a tierra y definido como un nivel de sobretensión transitoria de conmutación para los interruptores que corresponden a un 98% de probabilidad que la máxima sobretensión transitoria de conmutación generada por la operación del interruptor no sobrepase este nivel de sobretensión o el máximo nivel esperado de sobretensión transitoria de conmutación generado por otros medios, cualquiera que sea el mayor,

a : 1,15 valor de tolerancia para tres desviaciones estándares,

b : 1,03 valor de tolerancia para las condiciones atmosféricas no estándares,

c : 1,2 el margen de seguridad

K : 1,15 el factor de configuración para la distancia entre el conductor y la superficie plana.

- El valor (D) debe ser incrementado 3% por cada 300 m, por encima de 450 m sobre el nivel del mar.
- Para tensiones que excedan los 98 kV AC a tierra, las distancias de seguridad deben ser incrementadas o el campo eléctrico y sus efectos, deben ser reducidos por otros medios según sea necesario, para limitar el estado estable de la corriente de acuerdo a los efectos electrostáticos a 5 mA RMS, si el camión más grande previsto, vehículo o equipos bajo la línea, fueran cortocircuitados a tierra. El tamaño del camión previsto, vehículo o equipo usado para determinar esas distancias puede ser inferiores, pero no necesariamente muy por debajo a las limitadas por las reglamentaciones locales en el área bajo la línea. Para esta determinación, los conductores deben estar a una flecha final sin carga de 50°C.

2.4.2.3 Limite. La distancia de seguridad alternativa no debe ser menor a la distancia dada en la (Tabla 9) y/o (Tabla 10) calculada para 98 kV AC a tierra, de acuerdo con el numeral 2.4.3

Tabla 9. Distancias verticales de seguridad de alambres, conductores y cables por encima del suelo, carreteras, ferrocarril, o superficies de agua ^{*, 25}.

Naturaleza de la superficie debajo de los alambres, conductores o cables	Conductores y cables de comunicación aislados; cables mensajeros; cables de guarda; templete puestos a tierra; templete no puestos a tierra y templete expuestos de 0 a 300 V ^{11 15} ; Conductores neutros según el numeral 2.2.5.1, cables de suministro que cumplen con el numeral 2.2.3.1 (m)	Conductores de comunicación no aislados; cables de suministro de 0 a 750 V que cumplen el numeral 2.2.3.2 o 2.2.3.3 (m)	Cables de suministro de más de 750 V que cumplen el numeral 2.2.3.2 o 2.2.3.3; conductores de suministro expuestos, de 0 a 750V ³ ; Templetes no puestos a tierra expuestos a más de 300 V a 750V ¹⁴ (m)	Conductores de suministro expuestos (desnudos) a más de 750 V a 22 kV; Templetes no puestos a tierra expuestos de 750 V a 22kV ¹⁴ (m)	Conductores de contacto de vías férreas electrificadas y trole	
					0 a 750 V a tierra (m)	Más de 750 V a 22 kV a tierra (m)
1	2	3	4	5	6	7
Donde los alambres , conductores y cables se cruzan o sobresalen						
1. Trayecto de vías férreas (excepto vías férreas electrificadas que usan conductores aéreos de trole) ^{2, 16, 22}	7,2	7,3	7,5	8,1	6,7 ⁴	6,7 ⁴
2. Carreteras, calles y otros áreas sujetas a tráfico de camiones ²³	4,7	4,9	5,0	5,6	5,5 ⁵	6,1 ⁵
3. Calzadas, aparcamientos, y callejones ²³	4,7 ^{7, 13}	4,9 ^{7, 13}	5,0 ⁷	5,6	5,5 ⁵	6,1 ⁵
4. Otras tierras atravesadas por vehículos, tales como de cultivo, de pastoreo, bosques, huertos, etc., ²⁶	4,7	4,9	5,0	5,6	-	-

^{*} Las tensiones son de fase a tierra para circuitos puestos a tierra de manera efectiva y aquellos otros circuitos donde todas las fallas a tierra son suprimidas mediante la pronta desactivación de la sección donde ocurrió la falla, tanto inicialmente como luego de las operaciones subsiguientes del interruptor... Véase los numerales 2.4.2.1 y 2.4.4.3...

Tabla 9. Continuación

1	2	3	4	5	6	7
Donde los alambres , conductores y cables se cruzan o sobresalen						
5. Los espacios y caminos sujetos a peatones o de tráfico restringido ⁹	2,9	3,6 ⁸	3,8 ⁸	4,4	4,9	5,5
6. Áreas de agua donde no es apta para veleros o donde está prohibido paseos en bote de vela ²¹	4,0	4,4	4,6	5,2	-	-
7. Zonas de agua adecuados para los velero incluyendo lagos, lagunas, embalses, aguas de marea, los ríos, arroyos y canales con una superficie sin área de obstrucciones ^{17, 18, 19, 20, 21}						
a. Área menor a 0,08 km ²	5,3	5,5	5,6	6,2	-	-
b. Área de 0.08 a 0.8 km ²	7,8	7,9	8,1	8,7	-	-
c. Área de 0.8 a 8 km ²	9,6	9,8	9,9	10,5	-	-
d. Área superior a 8 km ²	11,4	11,6	11,7	12,3	-	-
8. Rampas para barcos y aéreas asociadas para aparejar, áreas destinadas para o botar barcos de vela	La distancia vertical de seguridad sobre el suelo deberá ser de 1,5 m mayor que en el punto 7, para el tipo de zonas de aguas servidas por los sitios de lanzamiento					
Cuando los alambres, conductores o cables están tendidos a lo largo y dentro de los límites de carreteras u otro camino de servidumbre, pero que no sobresalen del camino						
9. Caminos, calles o callejones	4,7 ²⁴	4,9	5,0	5,6	5,5 ⁵	6,1 ⁵
10. Caminos en las que es poco probable que los vehículos crucen por debajo de la línea	4,1 ^{10, 12}	4,3 ¹⁰	4,4 ¹⁰	5,0	5,5 ⁵	6,1 ⁵

Fuente: NESC.

¹ Donde los pasos subterráneos, túneles o puentes que requieran menores distancias de seguridad por encima del suelo o a los rieles como se listan en la (Tabla 9). El conductor de contacto de la vía férrea electrificada, debe ser nivelado de manera muy gradual a partir de la construcción regular hasta la elevación reducida.

² Para alambres, conductores o cables que crucen minas, explotaciones forestales y vías férreas similares que manejan sólo vagones inferiores a los de carga estándar, la distancia de seguridad puede reducirse en una cantidad equitativa a la diferencia de altura entre el vagón cargado más alto y 6,1 m, pero la distancia no debe ser reducida por debajo de la exigida para los cruces de calles.

⁴ En los vecindarios donde se han establecido 6,4 m, esta distancia puede ser continuada si es cuidadosamente mantenida. La elevación del conductor de contacto deberá ser la misma en los cruces y vanos adyacentes.

⁵ En los vecindarios donde se han establecido 4,9 m, para contactos de conductores de vías férreas electrificadas de 0 a 750 V, o 5,5 m para contactos de conductores de vías férreas electrificadas superiores a 750 V o donde las condiciones locales hagan imprácticas la obtención de las distancias dadas en la Tabla, estas distancias reducidas pueden ser utilizadas si son mantenidas cuidadosamente.

⁷ Donde la altura de una construcción u otra instalación no permita que las acometidas cumplan con estos valores, las distancias de seguridad sobre entradas residenciales, sólo podrán reducirse a las siguientes:

- a. La acometida de suministro aislada y limitada a 300 V a tierra. 3,8 m.
- b. Lazos de goteo aislados de ramales de acometida de suministro, limitados a 300 V a tierra,...3,2 m.
- c. Acometidas de suministro limitadas a 150 V a tierra y que se citan en los numerales 2.2.3.1 y 2.2.3.3,...3,6 m.
- d. Lazos de goteo solo para acometidas limitadas a 150 V a tierra y que se citan en los numerales 2.2.3.1 y 2.2.3.3,...3,0 m.
- e. Acometidas aisladas de comunicación...3,5 m.

⁸ Donde la altura de un edificio u otra instalación no permita que la acometida cumpla con estos valores, las distancias de seguridad pueden ser reducidas a las siguientes:

- a. La acometida de suministro aislada y limitada a 300 V a tierra. 3,2 m.
- b. Lazos de goteo aislados de ramales de acometida de suministro, limitados a 300 V a tierra,...3,2 m.
- c. Acometidas de suministro limitadas a 150 V a tierra y citadas en los numeral 2.2.3.1 y 2.2.3.3,...3,0 m.
- d. Lazos de goteo solo para acometidas limitadas a 150 V a tierra y citados en los numerales 2.2.3.1 y 2.2.3.3,...3,0 m.

⁹ Espacios y caminos sujetos a peatones o a tráfico restringido, son aquellas áreas donde jinetes a caballo u otros animales grandes, vehículos, u otra unidad movable que exceda un total de 2,45 m de altura, son prohibidos por reglamento o por configuraciones permanentes del terreno.

¹⁰ Donde una línea de suministro o de comunicación a lo largo de una carretera se encuentra cerca de vallas, zanjas, etc., de modo que el suelo debajo de la línea, no se espera que sean transitados excepto por peatones, las distancias pueden ser reducidas a los siguientes valores:

- a. Conductores aislados de comunicación y cables de comunicación...2,9 m.
- b. Conductores de otros circuitos de comunicación...2,9 m.
- c. Cables de suministro de cualquier tensión citados en el numeral 2.2.3.1, cables de suministro limitados a 150 V a tierra citados en los numerales 2.2.3.2 y 2.2.3.3 y los conductores neutros citados en el numeral 2.2.5.1,...2,9 m.
- d. Conductores aislados de suministro, limitados a 300 V a tierra...3,8 m.
- e. Templetes...2,9 m.

¹¹ No se requieren distancias de seguridad con respecto al piso donde los templetes anclados no crucen pistas, carriles, calles, entrada de autos, caminos o vías.

¹² Esta distancia puede ser reducida a 4,0 m, para conductores de comunicación y templetes.

¹³ Donde esta construcción cruce o se extienda a lo largo de callejones, entradas de autos, estacionamientos, que no están sujetos a tráfico de camiones, esta distancia puede ser reducida a 4,6 m.

¹⁴ Los templetes que no están conectados a tierra y sus porciones del vano deben tener distancias basadas en la más alta tensión al cual estos pueden estar expuestos, debido a la holgura del conductor o templete.

¹⁵ Templetes anclados y debidamente aislados, pueden tener la misma distancia que los templetes conectados a tierra.

¹⁶ Adyacentes a los túneles y puentes aéreos que limiten la altura de los vagones de ferrocarril cargados a menos de 6,1 m, estas distancias pueden ser reducidas por la diferencia entre el más alto vagón cargado y 6,1 m, si hay común acuerdo con las partes interesadas.

¹⁷ Para los embalses controlados, el área de la superficie y la correspondiente distancia debe estar basado en el diseño, al nivel más alto de agua.

¹⁸ Para las zonas de flujo incontrolado de agua, la superficie debe ser por la marca superior de agua anual. Las distancias deben ser basadas en el nivel normal de inundación; si se dispone, del nivel de inundación de 10 años, se puede suponer como el nivel normal de inundación.

¹⁹ La distancia sobre ríos, arroyos y canales, deben estar basados sobre la superficie más grande de cualquier segmento de 1,6 Km de largo, incluyendo los cruces. La distancia sobre un canal, río o arroyo, normalmente usado para proporcionar acceso a veleros a una mayor masa de agua, debe ser la misma que la necesaria para la gran masa de agua.

²⁰ Donde una obstrucción sobre el agua limite la altura del navío a una menor altura a la dada en la (Tabla 11), la distancia necesaria puede ser reducida por la diferencia entre la altura de referencia y la altura de la obstrucción sobre el agua, excepto que la distancia reducida no deba ser menor a la requerida para la superficie en la línea de cruce al lado de la obstrucción.

²² Véase el numeral 2.6.9 para lo relacionado a Distancias de seguridad horizontales y diagonales de alambres, conductores y cables a los vagones de ferrocarril.

²³ Aquí son definidos los camiones como cualquier vehículo que excede los 2,45 m de altura. Las áreas que no están sujetas a tráfico de camiones, son áreas donde el tráfico de camiones no es normalmente encontrado ni razonablemente permisible.

²⁴ Los cables y conductores de comunicación pueden tener una distancia vertical de seguridad de 4,6 m, donde los postes están ubicados detrás de los sardineles u otras barreras para el tráfico vehicular.

²⁵ Los valores de distancias mostrados en esta Tabla son calculadas sumando el valor mecánico y eléctrico de la Tabla A-1 para el componente de referencia de la Tabla A-2a. Véase el apéndice A

²⁶ Cuando se diseñe una línea para dar cabida a los vehículos de gran tamaño, estos valores de distancias, deben ser incrementados por la diferencia entre la altura conocida del vehículo de gran tamaño y 4,3 m.

Tabla 10. Distancias verticales de seguridad por encima del suelo, carreteras o superficies de agua a carcassas de equipos, brazos de apoyo (crucetas), plataformas y partes energizadas sin protección ^{*, 8}.

Naturaleza de la superficie	Brazos de apoyo (crucetas), switches con manija, plataformas, soportes y carcassas de equipos de material no metálico o efectivamente conectado a tierra (m)	Partes rígidas energizadas sin protección de 0 a 750 V y carcassas sin conexión de puesta a tierra que contienen equipos conectados a circuitos de no más de 750 V (m)	Partes rígidas energizadas sin protección a mas de 750 V a 22 kV y carcassas sin conexión de puesta a tierra que contienen equipos conectados a circuitos de más de 750 V a 22 kV (m)
1. Donde las partes rígidas sobresalgan			
a. Caminos, calles y otras áreas sujetas al tráfico de camiones ⁴ .	4,6	4,9	5,5
b. Espacios para el estacionamiento y callejones.	4,6	4,9 ⁶	5,5
c. Otras tierras atravesadas por vehículos tales como tierras de cultivo, tierras de pastoreo, bosques, huertos, etc.	4,6 ⁷	4,9	5,5
d. Espacios y caminos sujetos sólo a tráfico restringido o a peatones ⁵ .	3,4 ⁷	3,6 ¹	4,3
2. Donde las partes rígidas están a lo largo y dentro de los límites de las carreteras u otras servidumbres de paso de caminos, pero que no sobresale de la calzada.			
a. Caminos, calles y callejones.	4,6 ⁷	4,9	5,5
b. Las carreteras en las que es poco probable que los vehículos crucen por debajo de una línea.	4,0 ⁷	4,3 ²	4,9

^{*} Las tensiones son de fase a tierra para circuitos puestos a tierra de manera efectiva y aquellos otros circuitos donde, todas las fallas a tierra son suprimidas mediante la pronta desactivación de la sección donde ocurrió la falla, tanto inicialmente como luego de las operaciones subsiguientes del interruptor... Véase los numerales 2.4.2.2, 2.4.2.3, 2.4.3.1 y 2.4.4.3...

Tabla 10. Continuación

Naturaleza de la superficie	Brazos de apoyo (crucetas), switches con manija, plataformas, soportes y carcasas de equipos de material no metálico o efectivamente conectado a tierra (m)	Partes rígidas energizadas sin protección de 0 a 750 V y carcasas sin conexión de puesta a tierra que contienen equipos conectados a circuitos de no más de 750 V (m)	Partes rígidas energizadas sin protección a mas de 750 V a 22 kV y carcasas sin conexión de puesta a tierra que contienen equipos conectados a circuitos de más de 750 V a 22 kV (m)
3. Áreas de agua no apropiadas para barcos de vela o donde su navegación está prohibida ⁹ .	4,3	4,4	4,6

Fuente: NESC

¹ Esta distancia de seguridad puede ser reducida a los siguientes valores:

- a. Partes energizadas aisladas y limitadas a 300 V a tierra. 3,6 m.
- b. Partes energizadas aisladas y limitadas a 150 V a tierra. 3,0 m.

² Cuando una línea de suministro a lo largo de una carretera está limitada a 300 V a tierra y este localizada junto a vallas, zanjas, etc., de modo que el suelo debajo de la línea, no se espera que sea transitados excepto por peatones, estas distancias pueden ser reducidas a 3,6 m.

⁴ Aquí los camiones son definidos como cualquier vehículo que excede los 2,45 m de altura. Las áreas que no están sujetas a tráfico de camiones, son áreas donde el tráfico de camiones no se permite ni se encuentran normalmente.

⁵ Espacios y caminos sujetos a peatones o de tráfico restringido, son aquellas áreas donde jinetes a caballo u otros animales grandes, vehículos, u otra unidad movable que exceda un total de 2,45 m de altura, son prohibidos por reglamentación o por configuraciones permanentes del terreno.

⁷ Carcasas de equipos de suministro o de comunicación conectadas efectivamente a tierra (tales como cajas de alarmas para incendios, cajas de control, terminales de comunicación, medidores o cajas de equipos similares), pueden estar montadas a un nivel inferior, para la accesibilidad, siempre que tales cajas no obstruyan indebidamente el tránsito.

⁸ Los valores de distancias de seguridad mostrados en esta Tabla son calculadas sumando el valor mecánico y eléctrico de la (Tabla A-1) para el componente de referencia de la Tabla A-2a... Véase el apéndice A...

⁹ Donde la corporación de ingenieros de las fuerzas militares o el estado, hayan emitido un permiso para el cruce, las distancias de ese permiso deben ser regidas.

Tabla 11. Alturas de referencia*.

La naturaleza de la superficie debajo de las líneas	m
a. Rieles de vías férreas (excepto las vías férreas electrificadas con conductores aéreos de trole) ¹	6,7
b. Calles, callejones, carreteras, caminos y estacionamientos	4,3
c. Espacios y caminos sujetos solo a tráfico restringido y a peatones ²	3,0
d. Otros terrenos, como de pastoreo, de cultivo, bosque o huerto, que son atravesados por vehículos.	4,3
e. Áreas de agua no apropiadas para barcos de vela o donde su navegación está prohibida.	3,8
f. De agua adecuados para barcos de vela incluyendo lagos, lagunas, embalses, ríos, arroyos y canales con amplias áreas de superficie ^{3,4}	
(1) Menos de 0,08 km ²	4,9
(2) Más de 0,08 a 0,8 km ²	7,3
(3) Más de 0,8 a 8 km ²	9,0
(4) Más de 8 km ²	11,0
g. En las zonas de tierras y aguas públicas o privadas, fijadas para aparejar o botar barcos de vela, la altura de referencia será de 1,5 m mayor que los valores anteriormente fijados en f., de acuerdo al tipo de zonas de aguas servidas por el sitio de lanzamiento.	-

Fuente: NESC

¹ Véase el numeral 2.6.9 para las distancias de seguridad horizontal y diagonal requeridas en vagones de ferrocarriles.

² Espacios y caminos peatonales o de tráfico restringido, son aquellas áreas donde jinetes a caballo u otros animales grandes, vehículos, u otra unidad movable que exceda un total de 2,45 m de altura, son prohibidos por reglamento o por configuraciones permanentes del terreno.

³ Para los embalses controlados, el área de la superficie y la correspondiente distancia de seguridad, debe ser basada sobre el diseño, al nivel superior de agua. En otros casos la superficie, debe ser puesta por su marca superior de agua anual y las distancias deben estar basadas en el nivel normal de inundación. Las distancias de seguridad sobre ríos, arroyos y canales deben estar basadas sobre la mayor superficie y el segmento de 1,6 Km de largo, incluyendo los cruces. La distancia de seguridad sobre un canal o similar que proporciona acceso a veleros a una mayor masa de agua, debe ser la misma que la necesaria para la gran masa de agua.

* Para mayor información, Véase el numeral 2.4.4

⁴ Donde una obstrucción sobre el agua limite la altura del navío a una menor altura de referencia, la distancia de seguridad necesaria puede ser reducida por la diferencia entre la altura de referencia y la altura de la obstrucción sobre el agua, excepto que la distancia reducida no debe ser menor a la requerida para el área superficial en el cruce de línea del obstáculo.

Tabla 12. Componentes eléctricos (Valores D) ^{*}.

Máxima tensión de operación fase a fase (kV)	Factor de sobretensión transitoria de conmutación (por unidad)	Sobretensión transitoria de conmutación (kV)	Componente eléctrico de la distancia de seguridad
			(m)
242	3,54 o menos	700 o menos	2,17 ¹
362	2,37 o menos	700 o menos	2,17 ¹
550	1,56 o menos	700 o menos	2,17 ¹
	1,90	853	3,1
	2,00	898	3,3
	2,20	988	3,9
	2,40	1079	4,5
	2,60	1168	5,1
800	1,60	1045	4,3
	1,80	1176	5,2
	2,00	1306	6,2
	2,10 o más	1372 o mas	6,7 ²

Fuente: NESC

¹ Limitada por... el numeral 2.4.4.3

² Limitada por... los numerales 2.4.1 y 2.4.2...

2.5 DISTANCIAS DE SEGURIDAD ENTRE ALAMBRES, CONDUCTORES Y CABLES TRANSPORTADOS EN DIFERENTES ESTRUCTURAS DE SOPORTE.

2.5.1 Generalidades. Cuando sea práctico, Los cruces de líneas deberían ser realizados en una estructura de soporte común. En otros casos, la distancia de seguridad entre cualquiera de los dos alambres, conductores o cables que se cruzan o son adyacentes, transportados en diferentes estructuras de soporte, no debe ser menor a la requerida por las distancias de seguridad horizontales y

^{*} Agregar 3% por cada 300 m, por encima de 450 m sobre el nivel del mar. Aumentar la distancia de seguridad para limitar los efectos electrostáticos, de conformidad...con el numeral 2.4.4.2...

verticales dadas aquí en los numerales 2.5.2 y 2.5.3 para cualquier ubicación de los vanos. La distancia de seguridad no debe ser menor a la requerida por la aplicación de una envolvente de la distancia de seguridad desarrollada según lo señalado...en el numeral 2.5.1.2, a las posiciones en o dentro de las envolventes de movimiento del conductor desarrollado en el numeral 2.5.1.1, a la cual los dos alambres, conductores o cables estarían más cercanos. Para propósitos de determinar las posiciones adecuadas de los alambres, conductores o cables, dentro de sus respectivos envolventes de movimiento del conductor, son los que pueden ocurrir cuando:

- Ambos están sometidos a las mismas condiciones de carga por ambiente (aire, temperatura y viento), y
- Cada uno es sometido, de forma individual al rango completo de su condición de carga por hielo y carga eléctrica aplicable (según diseño eléctrico).

La Figura 3 es una ilustración grafica de la utilización de la envolvente de la distancia de seguridad y las envolventes de movimiento del conductor. Métodos alternativos que garanticen el cumplimiento de estas reglas pueden ser usados.

2.5.1.1 Envolvente de movimiento del conductor.

- **Desarrollo.** La envolvente de movimiento del conductor, debe ser desarrollado por las posiciones más desplazados del conductor, definidos a continuación e ilustradas en la (Figura 4).
- 15°C, sin desplazamiento por viento, en ambos casos sin carga (posiciones del conductor A y C, ilustradas en la (Figura 4).

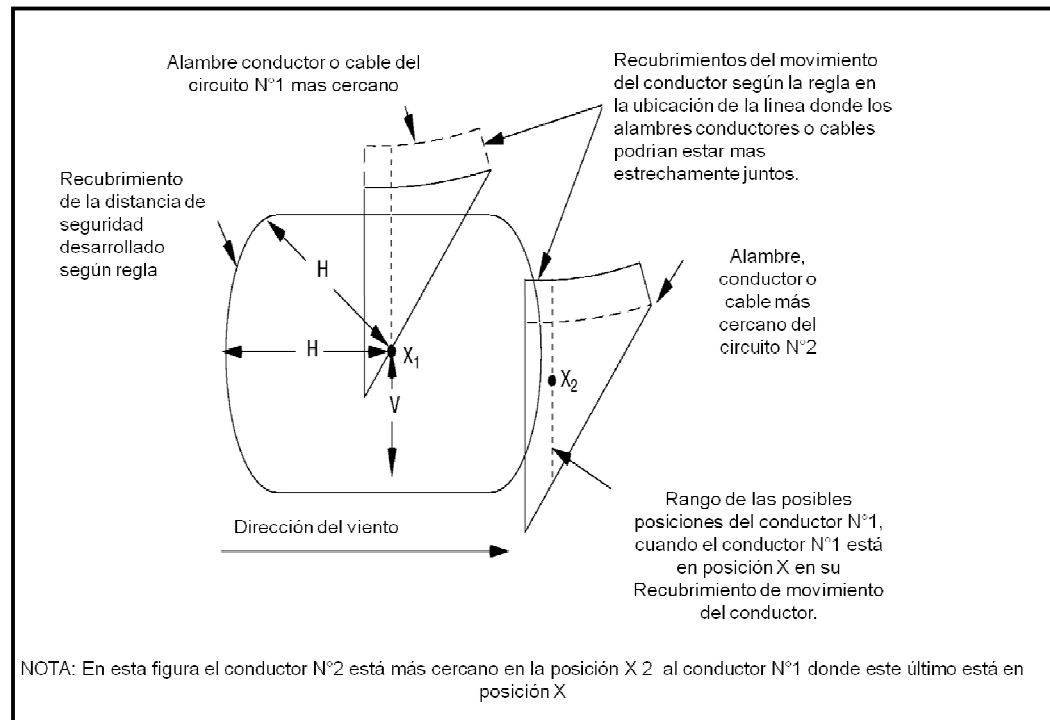
- Con el alambre, conductor o cable desplazado del resto por una presión de 290Pa debida al viento, en ambas posiciones inicial y flecha final a 15°C. el desplazamiento del alambre, conductor o cable, debe incluir la desviación de los aisladores de suspensión y la estructura flexible (posiciones del conductor B y D, ilustradas en la Figura 4).

EXCEPCIÓN: Donde el vano total esta tan cerca a un edificio, construcción, terreno singular, u otro obstáculo que límite el viento que fluye a través de la línea en cualquier dirección, la presión del viento puede ser reducida a 190 Pa. Los arboles no son considerados como medio de protección de una línea.

- La flecha final a una de las siguientes condiciones de carga, cualquiera que proporcione la mayor flecha (posición del conductor en E, ilustrada en la Figura 4):
 - o 50°C, sin desplazamiento por viento.
 - o La máxima temperatura del conductor para la cual la línea es diseñada para operar, si es superior a 50°C, sin desplazamiento por viento,
 - o 0°C, sin desplazamiento por viento, con un grosor radial de hielo.
- **Incremento de la flecha.** No es necesario ningún aumento o incremento de flecha, en los contactos y conductores de las vías férreas electrificadas.

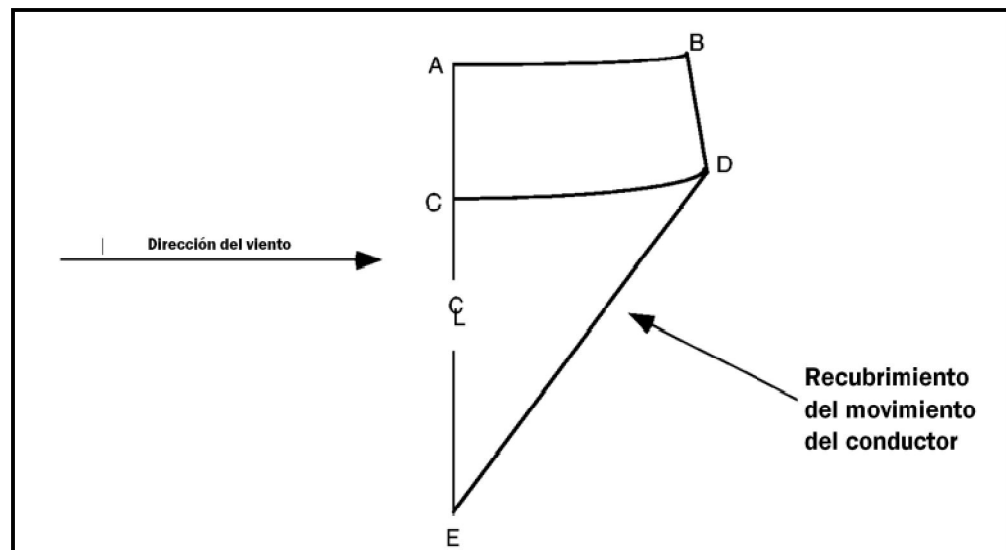
2.5.1.2 Envolvente de la distancia de seguridad. La envolvente de la distancia de seguridad mostrada en la (Figura 5), debe ser determinada por la distancia horizontal (H) y la distancia vertical (V) mencionadas en los numerales 2.5.2 y 2.5.3.

Figura 3. Utilización de la envolvente de la distancia de seguridad y las envolventes de movimiento del conductor



Fuente: NESC

Figura 4. Recubrimiento del movimiento del conductor



Fuente: NESC

Tabla 13. Posición más próxima permitida, de acuerdo al movimiento del conductor

Punto	Temperatura del conductor	Flecha	Carga por hielo	Desplazamiento por viento ¹ Pa
A	15°C ⁵	Inicial	-	-
B	15°C ⁵	Inicial	-	290 ^(nota 2)
C	15°C ⁵	Final	-	-
D	15°C ⁵	Final	-	290 ^(nota 2)
$E_1^{3,4}$	Temperaturas superiores a 50°C o máxima temperatura de operación.	Final	-	-
$E_2^{3,4}$	0°C	Final	Es aplicable	-

Fuente: NESC

¹ La dirección del viento, debe ser aquella que produzca la mínima distancia entre conductores. El desplazamiento de los alambres, conductores o cables deben incluir la desviación de los aisladores de suspensión y la estructura flexible.

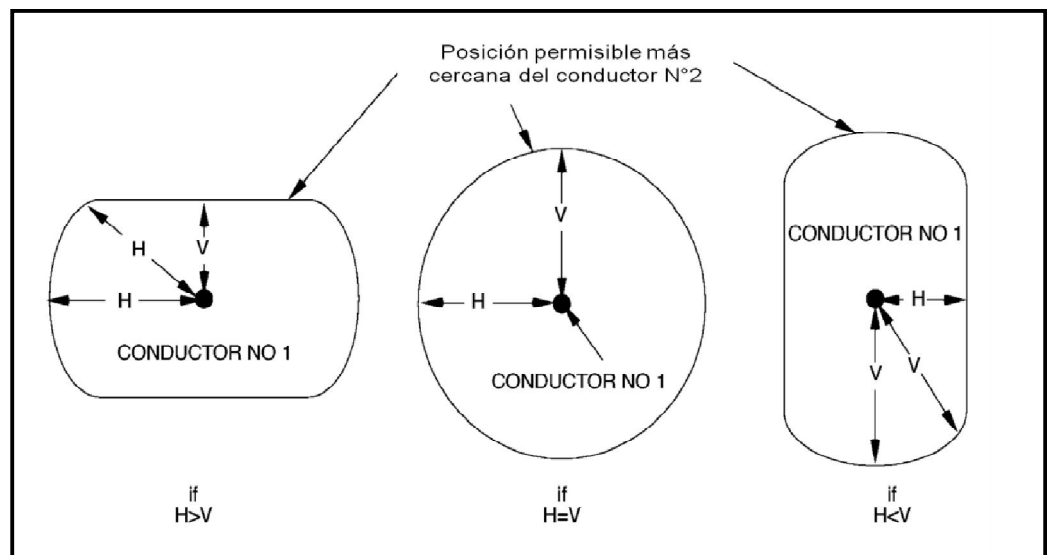
² Donde el vano total esta tan cerca de un edificio, construcción, terreno singular u otro obstáculo como para ser protegido del viento que fluye a través de la línea en cualquier dirección, la presión del viento puede ser reducida a 190 Pa. Los arboles no son considerados protección de una línea.

³ El punto E, debe estar determinado por cualquiera de las condiciones descritas bajo E_1 y E_2 que producen la mayor flecha.

⁴ La línea D-E debe ser considerada recta, a menos que las características de la concavidad real sean conocidas.

⁵ Cuando una envolvente de movimiento del conductor, es menor al de otro conductor, la menor variación debe ser desarrollada con los puntos A, B, C y D a una temperatura igual a la temperatura ambiente usada en la determinación de E, para la variación del movimiento del conductor superior.

Figura 5. Recubrimiento de la distancia de seguridad.



Fuente: NESC

2.5.2 Distancia horizontal de seguridad.

2.5.2.1 Requisitos de la distancia horizontal de seguridad. La distancia de seguridad horizontal entre los alambres, conductores o cables que son adyacentes o que se cruzan, siendo transportados en diferentes estructuras de soporte, no deberían ser menores a 1,50 m. Para las tensiones entre los alambres, conductores o cables que excedan los 22 kV, debe ser proporcionada una distancia de seguridad adicional de 10 mm por cada kV en exceso de 22 kV.

EXCEPCIÓN: la distancia de seguridad horizontal entre templetes anclados de diferentes estructuras de soporte, pueden ser reducidas a 0,15 m y también pueden ser reducidas a 600 mm entre otros templetes, alambres de suspensión y conductores neutros que están puestos a tierra de manera efectiva en toda su longitud y asociados con circuitos de hasta 22 kV.

2.5.2.2 Distancias horizontales de seguridad alternativas para tensiones que exceden los 98 kV AC a tierra o 139 kV DC a tierra. Las distancias de seguridad horizontales especificadas en el numeral 2.5.2.1, pueden ser reducidas para los circuitos donde se conoce el factor de sobretensión transitoria de

conmutación, pero no deben ser menores a las distancias alternativas, derivadas de los cálculos requeridos por el numeral 2.7.2.3.

2.5.3 Distancia vertical de seguridad.

2.5.3.1 Requisitos de la distancia vertical de seguridad. Las distancias de seguridad vertical entre los alambres, conductores, cables adyacentes o que se cruzan y que son transportados en diferentes estructuras de soporte, no deben ser menores a los valores listados en la (Tabla 14).

EXCEPCIÓN: no se requiere distancia de seguridad vertical entre alambres, conductores o cables que están eléctricamente interconectados en el cruce.

2.5.3.2 Tensiones superiores a 22 kV.

- La distancia de seguridad dada en la (Tabla 14) deberá ser incrementada por la siguiente adición, según sea el caso: Para los conductores entre 22 kV y 470 kV ubicados en el nivel superior de la estructura de soporte, la distancia de seguridad vertical debe ser incrementada a una razón de 10 mm por kV en exceso de 22 kV. Para los conductores que exceden los 22 kV y estén ubicados en el nivel inferior de la estructura de soporte, la distancia de seguridad adicional debe ser calculada a la misma razón. Para tensiones que exceden los 470 kV, la distancia de seguridad debe ser determinada por el método dado en el numeral 2.5.3.3. La distancia de seguridad adicional, debe ser calculada usando la máxima tensión de operación, si es superior a 50 kV y la tensión nominal si es inferior a 50 kV.

EXCEPCIÓN: para tensiones que excedan los 98 kV AC a tierra o 139 kV DC a tierra, se permiten distancias de seguridad inferiores para sistemas donde se conocen los factores de sobretensión transitoria de conmutación.

- Para tensiones que exceden los 50 kV, la distancia de seguridad adicional debe ser incrementada 3% por cada 300 m, que estén por encima de los 1000 m sobre el nivel del mar.

2.5.3.3 Distancias verticales de seguridad alternativas para tensiones que exceden los 98 kV AC a tierra o 139 kV DC a tierra. Las distancias verticales de seguridad especificadas en los numerales 2.5.3.1 y 2.5.3.2, pueden ser reducidas, donde se conozca el máximo factor de sobretensiones por maniobra en el circuito de más alta tensión, pero no deberán ser menores a las distancias de seguridad alternativas, las cuales se calculan sumando la altura de referencia al componente eléctrico de la distancia de seguridad. Para realizar los cálculos de las distancias de seguridad alternativas para tensiones que exceden los 98 kV AC a tierra o 139 kV DC a tierra, los conductores, cables de comunicación, templete, cables mensajeros, conductores de neutro citados en el numeral 2.2.5.1 y cables de suministro citados en el numeral 2.2.3.1, deben ser considerados a tensión cero.

- **Alturas de referencia.** La altura de referencia debe ser seleccionada de la (Tabla 16).
- **Componente eléctrico (D) de la distancias de seguridad.**
 - El componente eléctrico (D) debe ser calculado usando las siguientes ecuaciones. Valores seleccionados de D están listados en la (Tabla 15).

$$D = 1,00 \left[\frac{[V_H * (PU) + V_L]a}{500K} \right]^{1,667} bc \text{ [m]}$$

Para cuya ecuación, las variables son:

V_H : Máxima tensión de operación de cresta de AC a tierra o máxima tensión de operación de DC a tierra en kV,

V_L : Máximo tensión de operación de cresta de AC del circuito de más baja tensión a tierra en kV o máxima tensión de operación a tierra en DC en kV,

PU : Máximo factor de sobretensión transitoria de conmutación (o maniobra), expresado por la máxima tensión por unidad a tierra y definido como un nivel de sobretensión transitoria de conmutación para los interruptores que corresponden a un 98% de probabilidad, que la máxima sobretensión transitoria de conmutación generada por la operación del interruptor no sobrepase este nivel de sobretensión o el máximo nivel esperado de sobretensión transitoria de conmutación generado por otros medios, cualquiera que sea el mayor,

a : 1,15; valor de la tolerancia para las tres desviaciones estándar,

b : 1,03; valor de la tolerancia para las condiciones atmosféricas no estándar,

c : 1,2; el margen de seguridad,

K : 1,4; el factor de configuración para la distancia de conductor a conductor.

- El valor de *D* debe ser incrementado 3% por cada 300 m, por encima de 450 m sobre el nivel del mar.
- **Limite.** La distancia de seguridad alternativa, no debe ser menor a la distancia de seguridad...de los numerales 2.5.3.1 y 2.5.3.2..., con el circuito de más baja tensión a un potencial de tierra.

Tabla 14. Distancia de seguridad vertical entre los alambres, conductores y cables tendidos en diferentes estructuras de apoyo (soporte)*.

Nivel inferior	Nivel superior				
	Templetes de comunicación efectivamente puestos a tierra, ⁷ tramos de alambres y cables mensajeros, conductores y cables de comunicación (m)	Templetes de suministro efectivamente puestos a tierra, ⁷ tramos de alambres y cables mensajeros, conductores neutros que cumplen con el numeral 2.2.5.1 y cables de guarda (m)	Los cables de suministro que cumplen con el numeral 2.2.3.1 y cables de suministro de 0 a 750 V que cumplen con el numeral 2.2.3.2 o 2.2.3.3 (m)	Conductores expuestos de suministro de 0 a 750 V, ⁶ y cables de suministro de más de 750 V que cumplen con el numeral 2.2.3.2 o 2.2.3.3 (m)	Conductores expuestos de suministro a más de 750 V a 22 kV (m)
1	2	3	4	5	6
1. Cables de suministro efectivamente puestos a tierra, ⁷ tramos de alambres y cables mensajeros, conductores neutros que cumplen con el numeral 2.2.5.1 y cables de guarda.	0,60 ^{1,2}	0,60 ^{1,2}	0,60 ²	0,60	0,60
2. Templetes de comunicación efectivamente puestos a tierra, ⁷ tramos de alambres y cables mensajeros; conductores y cables de comunicación.	0,60 ^{1,2}	0,60 ¹	0,60	1,20 ⁸	1,50 ⁵
3. Cables de suministro que cumplen...el numeral 2.2.3.1 y cables de suministro de 0 a 750 V que cumplen con el numeral 2.2.3.2 o 2.2.3.3	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60

* Las tensiones son de fase a tierra para circuitos puestos a tierra de manera efectiva y aquellos otros circuitos donde todas las fallas a tierra se eliminan de inmediato al desenergizar la sección de falla, tanto inicialmente como después de las operaciones subsiguientes del interruptor. Véase los numerales 2.5.3.1 y 2.5.3.2

Tabla 14. Continuación

1	2	3	4	5	6
4. Conductores expuestos de suministro de 0 a 750 V ⁶ ; cables de suministro con tensión superior a 750 V que cumple con el numeral 2.2.3.2 o 2.2.3.3	1,20 ⁹	0,60	0,60	0,60	0,60
5. Conductores de suministros expuestos a 750 V hasta 22 kV	1,50 ^{5, 9}	0,60	0,60 ⁹	0,60 ⁹	0,60
6. Trole y conductores de contacto de vía férrea electrificada y tramos de alambre y cables mensajeros asociados.	1,20 ³	1,20 ³	1,20 ³	1,20 ^{3,4}	1,80

Fuente: NESC.

¹ No se especifica distancia de seguridad entre templetes o vanos de conductores que están eléctricamente interconectados.

² La distancia de seguridad de los conductores de comunicación y sus templetes, vanos y alambres mensajeros, los cuales están en lugares en que no haya otras clases de conductores, puede reducirse por mutuo consentimiento de las partes interesadas, excepto para conductores de alarma contra incendio y conductores usados en el funcionamiento de ferrocarriles.

³ Los conductores de contacto para trole-bus y ferrocarriles electrificados de más de 750 V, deberán tener al menos 1,80 m de distancia de seguridad. Esta distancia de seguridad también deberá ser proporcionada sobre los conductores de contacto de trole-bus y ferrocarriles electrificados a más bajo tensión, a menos que los conductores de cruce se encuentren lejos del alcance de una pértiga de trole que sale del conductor de contacto del trole o que se encuentren protegidos contra daños de las pértigas de trole que salen del conductor de contacto del trole.

⁴ Los alimentadores de trole bus y ferrocarriles electrificados, son exentos de las distancias de seguridad requeridas para contacto de conductores, si son de la misma tensión nominal y del mismo sistema.

⁵ Estas distancias de seguridad pueden ser reducidas a 1,20 m, donde los conductores de 750 V a 8,7 kV cruzan una línea de comunicación a más de 1,80 m, horizontalmente de una estructura de comunicación.

⁷ Estas distancias de seguridad pueden ser reducidas a no más del 25 % a un templete aislado, siempre que se mantenga la distancia total a su terminación metálica y a los alambres del templete.

⁸ Esta distancia de seguridad puede ser reducida a 0,60 m para acometidas de suministro.

⁹ En general, este tipo de cruce no es recomendado.

Tabla 15. Distancia de seguridad entre cables de suministro, conductores y cables^{*,}.**

Circuito de más alta tensión		Circuito de más baja tensión						
Máximo voltaje de funcionamiento fase a fase. (kV)	Factor de sobretensión transitoria de conmutación. (por unidad)	Máxima tensión de operación fase a fase (kV)						
		121 (m)	145 (m)	169 (m)	242 (m)	362 (m)	550 (m)	800 (m)
242	3,3 o menos	2,13 ¹	2,13 ¹	2,13 ¹	2,16 ¹			
362	2,4	2,80 ¹	2,80 ¹	2,80 ¹	2,80 ¹	2,90		
	2,6	2,80 ¹	2,80 ¹	2,80 ¹	2,80 ¹	3,1		
	2,8	2,80 ¹	2,80 ¹	2,80 ¹	3,0	3,4		
	3,0	2,80 ¹	2,90	3,0	3,3	3,7		
550	1,8	4,0 ¹	4,0 ¹	4,0 ¹	4,0 ¹	4,0 ¹	4,1	
	2,0	4,0 ¹	4,0 ¹	4,0 ¹	4,0 ¹	4,0 ¹	4,7	
	2,2	4,0 ¹	4,0 ¹	4,0 ¹	4,0 ¹	4,3	5,2	
	2,4	4,0 ¹	4,0 ¹	4,0 ¹	4,3	4,8	5,7	
	2,6	4,1 ²	4,3 ²	4,4	4,8	5,3	6,3	
800	1,6	5,4 ¹	5,4 ¹	5,4 ¹	5,4 ¹	5,4 ¹	5,6	6,9
	1,8	5,4 ¹	5,4 ¹	5,4 ¹	5,4 ¹	5,4 ¹	6,4	7,7
	2,0	5,4 ¹	5,4 ¹	5,4 ¹	5,6	6,2	7,0	8,4
	2,2	5,6 ²	5,8 ²	5,9 ²	6,3 ²	7,0 ²	8,1 ²	9,4 ²

Fuente: NESC

¹ Limitado por lo establecido en el numeral 2.5.3.3

² no necesariamente superior a los valores especificados en los numerales 2.5.3.1 y 2.5.3.2

* De acuerdo a lo establecido en primer párrafo del numeral 2.5.3.2

** Agregar 3% por cada 300 m, por encima de 450 m sobre el nivel del mar.

Tabla 16. Altura de referencia

Altura de referencia	(m)
(1) Líneas de suministro	0
(2) Líneas de comunicación	0,60

Fuente: NESC

2.6 DISTANCIA DE SEGURIDAD DE ALAMBRES, CONDUCTORES, CABLES Y EQUIPOS A EDIFICIOS O CONSTRUCCIONES, PUENTES, VAGONES FERROCARRIL, PISCINAS Y OTRAS INSTALACIONES

2.6.1 Aplicación.

2.6.1.1 Distancias verticales y horizontales de seguridad (sin desplazamiento por el viento). Las distancias verticales y horizontales aquí presentadas, se aplicarán bajo cualquiera de las siguientes condiciones de temperatura del conductor y condiciones de carga que producen la menor separación.

- o 50°C, sin desplazamiento por viento, flecha final.
- o La máxima temperatura del conductor para la cual la línea es diseñada para operar, si es superior a 50°C, sin desplazamiento por viento, flecha final.
- o 0°C, sin desplazamiento por viento, flecha final, con un grosor radial de hielo si lo hubiera.
- o La mínima temperatura del conductor para la cual la línea es diseñada, sin desplazamiento por viento, flecha inicial*.

* Los conductores de fase y neutro de una línea de suministro son considerados separadamente cuando se determina la flecha de cada uno debido al aumento de temperatura.

EXCEPCIÓN: conductores o cables verticales o laterales, atados o dispuestos directamente a la superficie de una estructura de soporte en conformidad con otras reglas, no son sujetas a las disposiciones de esta regla.

2.6.1.2 Distancias horizontales de seguridad (con desplazamiento por viento). Donde se requiera la consideración del desplazamiento horizontal bajo las condiciones de viento, los alambres, conductores o cables, deberán ser considerados como desplazados de la posición de reposo hacia la instalación por un viento de 290 Pa, a 15°C de flecha final. El desplazamiento de un alambre, conductor o cable deberá incluir la deflexión de los aisladores de suspensión. El desplazamiento de un alambre, conductor o cable debe incluir también la deflexión de una estructura flexible si el alambre, conductor o cable más alto está a 18 m o más sobre el nivel del terreno.

EXCEPCIÓN: Donde el total del vano esta tan cerca de una construcción (edificio), característica del terreno u otro obstáculo como para estar protegido del flujo del viento que cruza la línea en cualquier dirección, la presión del viento, puede ser reducida a 190 Pa. Los arboles no son considerados como resguardo de una línea.

2.6.1.3 Transición entre distancias horizontales y verticales de seguridad. La distancia de seguridad horizontal prevalece sobre el nivel del techo o a la parte superior de una instalación, hasta el punto donde la diagonal es igual a la distancia vertical requerida. Similarmente la distancia de seguridad horizontal regida por encima o por debajo de proyecciones de las construcciones (edificios), señales u otras instalaciones, al punto donde la diagonal equivale a la distancia vertical requerida. Para este punto la distancia transicional, debe equivaler a la distancia vertical como se muestra en las (Figuras 6 y 7). Esta recomendación no deberá interpretarse como una restricción de la instalación de un conductor de contacto de trole sobre la línea central aproximada del riel que sirve.

EXCEPCIÓN: Cuando la distancia de seguridad horizontal es superior a la distancia de seguridad vertical, la distancia vertical regida más allá del techo o la parte superior de una instalación o proyección de una instalación, al punto donde la diagonal equivale a la distancia horizontal requerida, como se muestra en la (Figura 8).

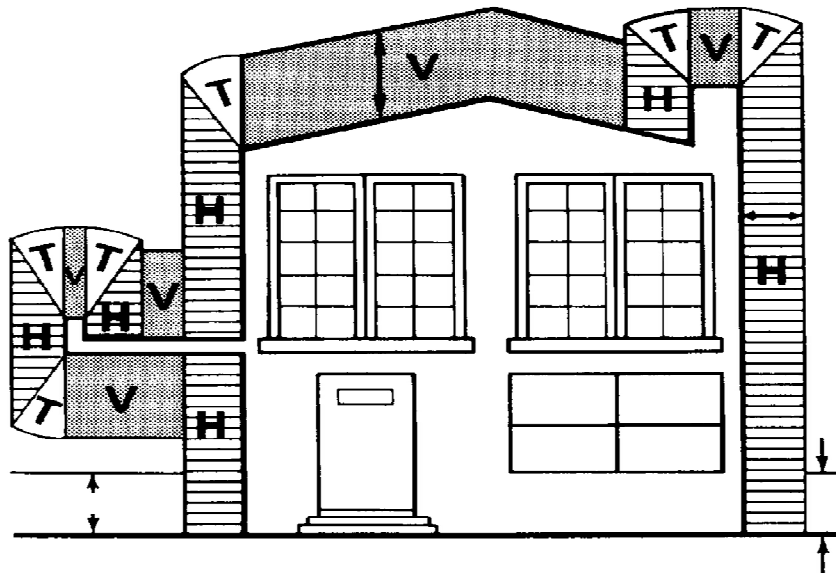
2.6.2 Distancias de seguridad de los alambres, conductores y cables a otras estructuras de soporte. Alambres, conductores o cables de una línea que pasa cerca de un soporte de alumbrado, soporte de señales de tránsito o una estructura de soporte de una línea secundaria, sin que este sujeto a la misma, deba tener distancias de seguridad a cualquier parte de tal estructura no menor a las siguientes.

2.6.2.1 Distancias horizontales de seguridad.

- Una distancia horizontal de seguridad sin viento, de 1,50 m para tensiones de hasta 50 kV.

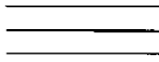
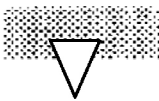
EXCEPCIÓN: para templete y mensajeros conectados efectivamente a tierra, neutros citados en el numeral 2.2.5.1 y cables de 300 V o menores a tierra que cumplen los requisitos de los numerales 2.2.3.1., 2.2.3.2 o 2.2.3.3, la distancia horizontal de seguridad puede ser reducida a 0,9 m.

Figura 6. Diagrama de las distancias de seguridad para una edificación.



REGIONES DONDE LOS
CONDUCTORES ESTAN
PROHIBIDOS

CONTROL DE LAS
DISTANCIAS DE
SEGURIDAD

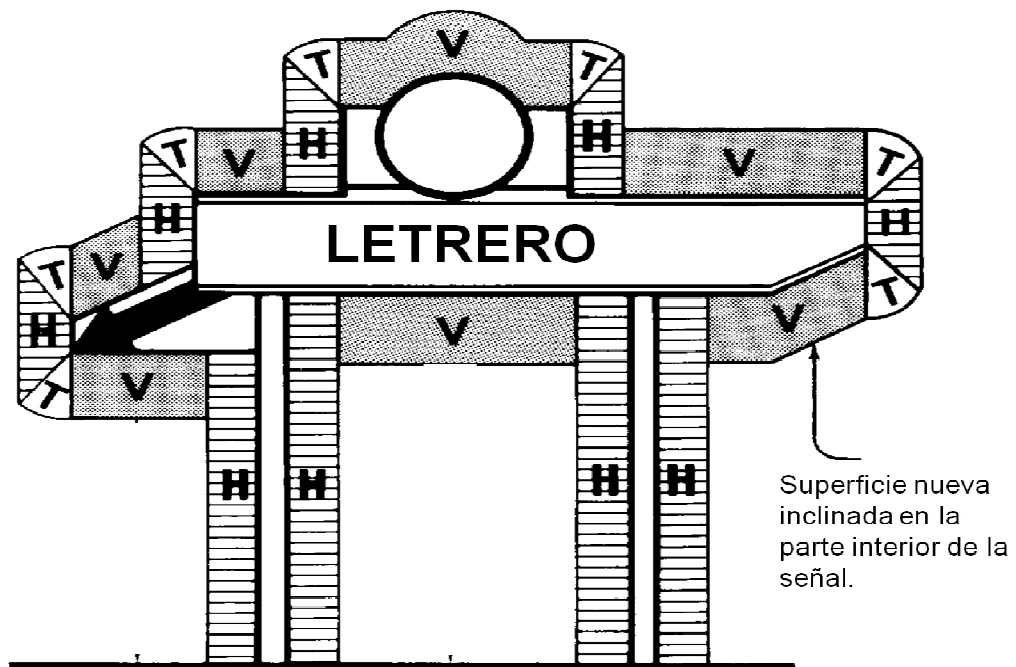
H 
V 
T

HORIZONTAL

Transicional
vertical
(Arco)

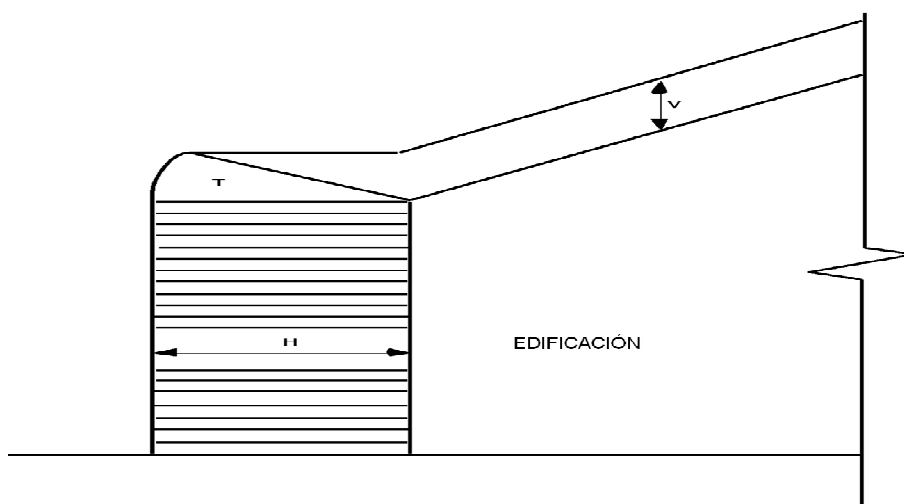
Fuente: NESC

Figura 7. Diagrama de la distancia de seguridad para otras estructuras



Fuente: NESC

Figura 8. Distancia de seguridad transicional cuando “H” es mayor que “V”.



Fuente: NESC

- Cuando los conductores y cables listados en la (Tabla 17), son desplazados de la posición de reposo por presencia de viento, las distancias horizontales de seguridad a dichos conductores o cables hacia otras estructuras de soporte no deberán ser menores que aquellas que a continuación se muestran.

Tabla 17. Distancia horizontal de seguridad requerida cuando hay desplazamiento por viento*.

Conductor o cable	Distancia horizontal de seguridad requerida cuando hay desplazamiento por viento (m)
Conductor de suministro expuesto de 0 a 750 V ¹ .	1,1
Cable, por encima de 750 V; según el numeral 2.2.3.2	1,1
Cable, por encima de 750 V; según el numeral 2.2.3.3	1,1
Conductor de suministro expuesto, por encima de 750 V hasta 22 kV.	1,4

Fuente: NESC

¹ No incluye conductores neutros que cumplen el numeral 2.2.5.1

* ...Véase pie de notas ⁹ y ¹⁰ de la (Tabla 19)...

2.6.2.2 Distancias verticales de seguridad. Una distancia vertical de 1,40 m para tensiones por debajo de 22 kV y una distancia vertical de 1,70 m para tensiones entre 22 kV y 50 kV**.

EXCEPCIÓN 1: para templetes, mensajeros, neutros citados en el numeral 2.2.5.1 y cables de 300 V o menores a tierra que cumplen los requisitos de los numerales 2.2.3.1, 2.2.3.2 o 2.2.3.3, la distancia vertical de seguridad puede ser reducida a 600 mm.

EXCEPCIÓN 2: las distancias verticales pueden ser reducidas a 600 mm si las dos siguientes condiciones son cumplidas:

- Los alambres, conductores o cables ya mencionados y la estructura de soporte de otra línea son operados y mantenidos por la misma empresa.
- Los trabajadores, no laboran en la parte superior de una estructura de soporte, a menos que:
 - o El circuito superior es des-energizado y conectado a tierra o temporalmente aislado, o
 - o Se toman otras medidas equivalentes.

2.6.3 Distancias de seguridad de alambres, conductores, cables y partes rígidas energizadas a edificios, señales, vallas, chimeneas, antenas de radio y/o televisión, tanques y otras instalaciones (exceptuando puentes vehiculares).

2.6.3.1 Distancias verticales y horizontales de seguridad.

- *Distancias de seguridad (sin desplazamiento por viento).* Los alambres, conductores, cables o partes rígidas energizadas (bajo tensión) no protegidas o accesibles, pueden ser ubicadas adyacentemente a edificios, señales, vallas, chimeneas, antenas de radio y/o televisión, tanques, puentes peatonales y en general cualquier proyección o saliente de éstos. Las distancias verticales y horizontales de seguridad de tales partes rígidas y no rígidas, no deben ser menores a los valores dados en la (Tabla 19), cuando están en reposo (sin

** Las distancias verticales de seguridad de los alambres, conductores y cables a los alambres de templetes de una estructura de línea adyacente, se indican en el apartado 2.4 de este documento.

desplazamiento por viento). Estas instalaciones pueden ser realizadas al lado, sobre o debajo de los edificios, como se ilustran en las (Figuras 6, 7 y 8).

- *Distancias horizontales de seguridad (bajo condiciones de desplazamiento por viento).* Cuando los conductores o cables listados en la (Tabla 18), son desplazados bajo las condiciones del viento, las distancias horizontales de tales conductores o cables a otra estructura de soporte, no deben ser menores a las siguientes:

Tabla 18. Distancia horizontal de seguridad requerida cuando hay desplazamiento por viento según numeral 2.6.3* .

Conductor o cable	Distancia horizontal de seguridad requerida cuando hay desplazamiento por viento (m)
Conductor de suministro expuesto de 0 a 750 V ¹ .	1,1
Cable, por encima de 750 V; según el numeral 2.2.3.2	1,1
Cable, por encima de 750 V; según el numeral 2.2.3.3	1,1
Conductor de suministro expuesto, por encima de 750V hasta 22 KV.	1,4

Fuente: NESC

¹ No incluye conductores neutros que cumplen el numeral 2.2.5.1

2.6.3.2 Protección de conductores de suministro y partes rígidas energizadas. Cuando las distancias de seguridad establecidas en la (Tabla 19) no puedan ser obtenidas, los conductores de suministro y las partes rígidas energizadas, deberán protegerse con guardas, asegurándose de evitar una situación de riesgo**.

* Véase pie de notas ⁹ y ¹⁰ (de la Tabla 19)

** Los cables de suministro citados en el numeral 2.2.3.1, se consideran que están protegidos.

2.6.3.3 Conductores de suministro unidos a edificios (construcciones) o a otras instalaciones. Donde la fijación permanente de los conductores de suministro de cualquier clase a edificios u otras instalaciones sea necesaria, tales conductores deben cumplir los siguientes requisitos:

- Los conductores de acometida energizados incluyendo los empalmes y derivaciones, deben estar aislados o cubiertos en conformidad con lo siguiente*:
 - de 0 a 750 V, véase los numerales 2.2.3 y 2.2.4
 - por encima de 750 V, véase el numeral 2.2.3.1
- Los conductores a más de 300 V a tierra no deben ser transportados a lo largo o cerca de la superficie de la edificación u otra instalación, a menos que estén protegidos o sean inaccesibles.
- Los alambres o los cables unidos y transportados al lado de la edificación deben tener distancias de seguridad a la superficie de la instalación no menores a 75 mm.
- Los conductores de acometida no deben ser fácilmente accesibles y deben tener distancias de seguridad no menores a la siguientes:
 - Una distancia de seguridad vertical de 3 m, del punto más alto del techo o del balcón, sobre el cual pasan.

EXCEPCIÓN 1: Donde la tensión entre conductores citados en el numeral 2.2.4 no excede los 300 V o donde la tensión de los cables citados en la numeral 2.2.3.2 o 2.2.3.3 no exceden los 750 V o donde el cable cumple el numeral 2.2.3.1 y el techo o balcón no es fácilmente accesible, la distancia de seguridad no puede ser menor a 0,9 m. Un techo o un balcón son considerados

* No se aplica a conductores neutros citados en el numeral 2.2.5.1

fácilmente accesibles a peatones si se puede acceder por puertas, ventanas, rampas, escaleras o escaleras instaladas de manera permanente y en general donde una persona no ejerce extraordinario esfuerzo físico, ni emplea herramientas especiales o dispositivos para acceder. Una escalera montada permanentemente no es considerada un medio de acceso, si su peldaño más bajo es superior a 2.45 m de la tierra u otra superficie accesible permanentemente instalada.

EXCEPCIÓN 2: Cuando un techo o balcón no sea fácilmente accesible y la acometida experimenta cualquiera de las siguientes condiciones sobre el techo, la distancia de seguridad apropiada para la ubicación del soporte no debe ser mayor a 1,20 m medidos horizontalmente del filo más cercano del techo. La distancia de seguridad sobre el techo puede ser mantenida a no menos de 457 mm para una distancia horizontal de 1,8 m del soporte y puede ser mantenida a no menos de 0,9 m para el resto de la distancia horizontal que el cable o conductor pasa sobre el techo, ver ilustración en la (Figura 9).

- o Para tensiones de 300 V, entre conductores citados en el numeral 2.2.4 o menos,*
- o Para cables con tensión de 750 V o menor, citados en los numerales 2.2.3.2 o 2.2.3.3 o*
- o Para los cables citados en el numeral 2.2.3.1*

- 0,9 m en cualquier dirección de las ventanas, puertas, corredores o lugares similares.

EXCEPCIÓN 1: este no aplica a conductores de acometida citados en el numeral 2.2.3.3, sobre el nivel superior de una ventana.

EXCEPCIÓN 2: esto no aplica a ventanas que no son diseñadas para abrirse.

2.6.3.4 Conductores de comunicación fijados a edificios u otras instalaciones. Los conductores de comunicación y cables pueden ser fijados directamente a los edificios u otras instalaciones.

2.6.3.5 Espacio para escalera. Cuando los edificios u otras instalaciones sobrepasan los 15 m en altura, las líneas aéreas deberían ser dispuestas, donde resulte práctico, de modo que quede un espacio o zona libre de al menos 1,8 m de ancho adyacente al edificio o la línea aérea debe empezar a no más de 2,45 m desde la superficie del edificio, para facilitar el levantamiento de escaleras cuando sea necesario para apagar un incendio.

EXCEPCIÓN: Este requisito no aplica a lugares restringidos que generalmente están ocupados por conductores y cables de suministro.

Tabla 19. Distancias de seguridad de los alambres, conductores, cables y partes rígidas energizadas adyacentes no protegidas pero no fijadas a edificios y otras instalaciones a excepción de puentes (vehiculares) ^{*, 12}.

Distancia de Seguridad	Conductores y cables de comunicación aislados; cables mensajeros; cables de guarda; templetos puestos a tierra; templetos no puestos a tierra y expuestos de 0 a 300 V ¹³ ; conductores neutros que cumplen con el numeral 2.2.5.1; cables de suministro que cumplen con el numeral 2.2.3.1 ⁵ (m)	Cables de suministro 0 a 750 V que Cumple con el numeral 2.2.3.2 o 2.2.3.3 (m)	Partes rígidas con tensión sin protección de 0 a 750 V; conductores de comunicación no aislados; carcasas de equipos sin conexión a tierra de 0 a 750 V y templete sin puesta a tierra expuestos a conductores de suministro con tensiones superiores a 300 V y menores a 750 V ⁵ (m)	Cables de suministro a tensiones superiores de 750 V que cumple con el ítem 2.2.3.2 o 2.2.3.3; conductores de suministro expuestos, de 0 a 750 V (m)	Partes rígidas con tensión sin protección, de 750 V a 22kV, carcasas de equipos sin conexión a tierra de 750V a 22 kV; templetos sin conexión a tierra expuesta a más de 750 V a 22 kV ⁵ (m)	Conductores de suministro expuestos a más de 750 V hasta 22 kV (m)
1	2	3	4	5	6	7
1. Edificaciones						
a. Horizontal						
(1). A paredes, proyecciones, balcones, ventanas protegidas.	1,40 ^{1, 2, 7}	1,50 ^{1, 2}	1,50 ^{1, 2}	1,70 ^{1, 2, 9}	2,00 ^{1, 2}	2,30 ^{1, 2, 10, 11}
(2) A ventanas sin protección ⁸	1,40	1,50	1,50	1,70 ⁹	2,00	2,30 ^{10, 11}

* Las tensiones son de fase a tierra para circuitos puestos a tierra de manera efectiva y aquellos otros circuitos donde todas las fallas a tierra se eliminan de inmediato al desenergizar la sección de fallo, tanto inicialmente como después de las operaciones subsiguientes del interruptor. Véase los numerales 2.6.3.1, 2.6.3.2 y 2.6.8.4

Tabla 19. Continuación

1	2	3	4	5	6	7
(3) A balcones y zonas de fácil acceso para los peatones. ³	1,40	1,50	1,50	1,70 ⁹	2,00	2,30 ^{10, 11}
b. Vertical¹⁴						
(1) Encima o debajo de los techos o proyecciones no fácilmente accesibles a peatones. ³	0,90	1,07	3,0	3,2	3,6	3,8
(2) Encima o debajo de balcones y techos de fácil acceso para los peatones. ³	3,2	3,4	3,4	3,5	4,0	4,1
(3) Sobre techos accesibles a vehículos, pero no al tráfico de camiones. ⁶	3,2	3,4	3,4	3,5	4,0	4,1
(4) Sobre techos accesibles al tráfico de camiones. ⁶	4,7	4,9	4,9	5,0	5,5	5,6
2. Letreros, chimeneas, vallas publicitarias, antenas de radio y televisión, tanques y otras instalaciones no clasificadas como edificios o puentes vehiculares).						
a. Horizontal⁴						
(1) A las partes que sean fácilmente accesibles a los peatones. ³	1,40	1,50	1,50	1,70 ⁹	2,00	2,30 ^{10, 11}

Tabla 19. Continuación

1	2	3	4	5	6	7
(2) A las partes que no son fácilmente accesibles a los peatones. ³	0,90	1,07	1,50 ^{1, 2}	1,70 ^{1, 2, 9}	2,00 ^{1, 2}	2,30 ^{1, 2, 10, 11}
b. Vertical						
(1) Encima o debajo de pasillos y otras superficies en los que transita el personal.	3,2	3,4	3,4	3,5	4,0	4,1
(2) Sobre otras partes de dichas instalaciones, no accesibles al personal. ⁴	0,90	1,07	1,70	1,80 ¹	2,45	2,30

Fuente: NESC

¹ Cuando una construcción, señalización, chimenea, antena, tanque, u otra instalación no requiera de mantenimiento tal como pintar, lavar, cambio de letras de señalización, u otra operación que requiera trabajo de personal o pasar entre los alambres, conductores, cables o partes y estructuras rígidas energizadas sin protección, la distancia puede ser reducida por 0,60 m.

² Cuando los espacios disponibles no permitan ese valor, la distancia puede ser reducida por 0,60 m; los alambres, conductores o cables incluyendo empalmes, derivaciones y partes rígidas energizadas, deben de disponer de un cubrimiento que proporcione suficiente resistencia dieléctrica. Para limitar el riesgo de un cortocircuito en caso de contacto momentáneo, con la estructura o construcción.

³ Un techo, balcón o área es considerada fácilmente accesible a los peatones si este puede ser accedida casualmente por una puerta, rampa, ventana, escalera o por una escalera a mano permanentemente utilizada por una persona, quien no ejerce extraordinario esfuerzo físico ni emplea herramientas especiales o dispositivos para acceder a dicha área. Una escalera montada permanentemente no es considerada un medio de acceso si su peldaño más bajo es de 2,45 m o más de la tierra, u otra superficie accesible permanentemente instalada.

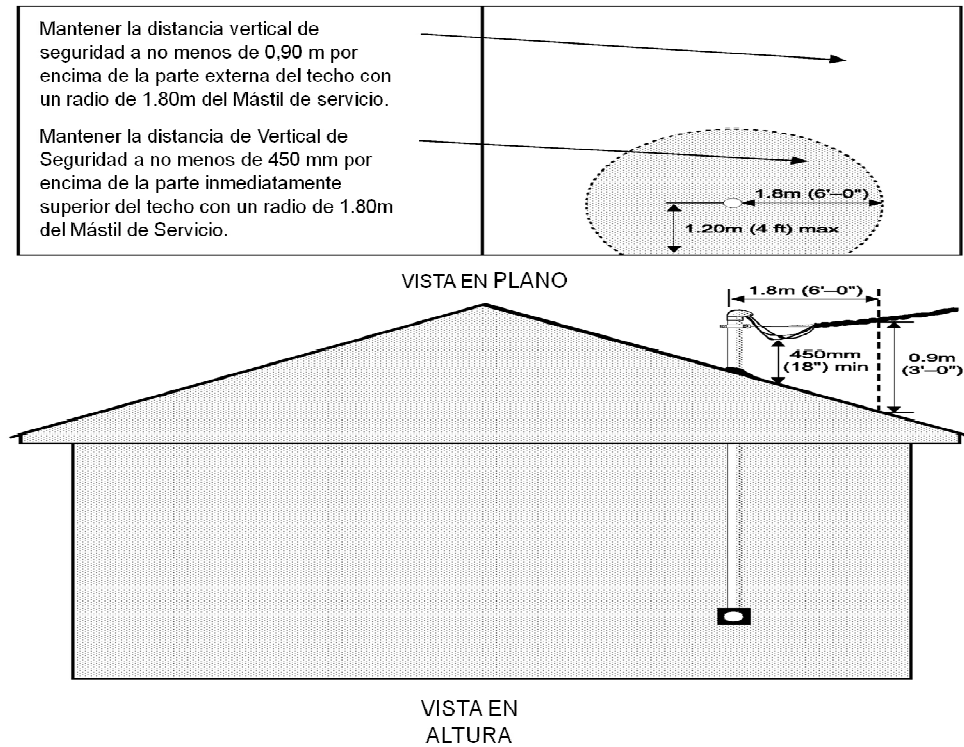
⁴ Las distancias de seguridad requeridas deberán ser a la aproximación más cercana de letreros motorizados o piezas móviles de instalaciones según el numeral 2.5.3

⁵ Templetes no conectados a tierra y partes de templetes entre templetes aislados, deben tener distancias de seguridad basadas en la mayor tensión a la cual pueden estar expuestos a un conductor o templete flojo.

⁶ Los camiones son definidos como cualquier vehículo que excede los 2,45 m de altura.

- ⁷ Esta distancia de seguridad pueden ser reducida a 75 mm para las porciones conectadas a tierra de los templetes.
- ⁸ Ventanas que no se diseñaron para abrir pueden tener las distancias de seguridad permitidas para muros y proyecciones.
- ⁹ La distancia de seguridad en reposo, no deberá ser menor al valor que se muestra en esta Tabla. Además, cuando el conductor o cable es desplazado por el viento, la distancia de seguridad no debe ser menor a 1,07 m.
- ¹⁰ La distancia de seguridad en reposo, no debe ser menor a los valores mostrados en esta Tabla. Además, cuando el conductor o cable es desplazado por el viento, la distancia de seguridad no debe ser menor a 1,40 m
- ¹¹ Cuando el espacio disponible no permita este valor, la distancia de seguridad puede ser reducida a 2,00 m para conductores restringidos a 8,7 kV a tierra.
- ¹² Los valores de distancias de seguridad mostrados en esta Tabla son calculados por la adición del valor mecánico y eléctrico pertinente de la (Tabla A-1) para el componente de referencia de la (Tabla A-2b) del apéndice A.
- ¹³ El extremo del anclaje de los templetes aislados en conformidad con el numeral 5.4.10, pueden tener la misma distancia como la de los templetes conectados a tierra.
- ¹⁴ Para distancias de seguridad sobre pasamanos, paredes, alrededor de balcones y techos, use las distancias requeridas por la fila 1b(1). Para tales distancias, donde existen escaleras exteriores use las distancias requeridas por la fila 2b(2).

Figura 9. Distancias de seguridad de acometidas que usan un mástil como soporte.



Fuente. NESC

2.6.4 Distancia de seguridad de alambres, conductores, cables y partes rígidas energizadas no protegidas a puentes vehiculares.

2.6.4.1 Distancias verticales y horizontales de seguridad.

- *Distancias de seguridad (sin desplazamiento por viento).* Los alambres, conductores, cables o partes rígidas energizadas accesibles y no protegidas, pueden ser ubicados adyacentemente o dentro de la estructura de un puente vehicular. Las distancias verticales y horizontales de seguridad de tales partes rígidas y no rígidas, no deben ser menores a los valores dados en la (Tabla 21), bajo las condiciones de reposo (sin desplazamiento por viento) como se ilustra en las (Figuras 6 y 7).

EXCEPCIÓN: Lo anterior no se aplica a cables de comunicación aislados, templetes efectivamente conectados a tierra, alambres de suspensión, cables de guarda, conductores neutros citados en el numeral 2.2.5.1 y cables de suministro eléctrico citados en el numeral 2.2.3.1

- *Distancias horizontales de seguridad (bajo condiciones de desplazamiento por viento).* Cuando los siguientes conductores y cables son desplazados del reposo por presencia del viento, las distancias de seguridad horizontales de tales conductores o cables a los puentes, no deben ser menores a las listadas en la (Tabla 20).

Tabla 20. Distancia horizontal de seguridad requerida cuando hay desplazamiento por viento según numeral 2.6.4*.

Conductor o cable	Distancia horizontal de seguridad requerida cuando hay desplazamiento por viento (m)
Conductor de suministro expuesto de 0 a 750 V ¹ .	1,1
Cable, por encima de 750 V; según el numeral 2.2.3.2	1,1
Cable, por encima de 750 V; según el numeral 2.2.3.3	1,1
Conductor de suministro expuesto, por encima de 750V hasta 22 kV.	1,4

Fuente: NESC

¹ No incluye conductores neutros que cumplen el numeral 2.2.5.1

2.6.4.2 Protección con guardas de los conductores de buses eléctricos o trolebús ubicados debajo de puentes.

- *Cuando la protección es necesaria.* La protección es necesaria donde el conductor de contacto del trole-bus está ubicada de tal manera que la pértiga del trole-bus que sale al conductor pueda tener la posibilidad de hacer contacto simultaneo entre éste y las estructuras del puente.
- *La naturaleza de la protección.* La protección debe consistir de una intervención sustancial con un material no conductor ubicado sobre el conductor de contacto o de otros medios adecuados que limiten el riesgo de contacto entre el soporte del trolebús y la estructura del puente.

* Véase pie de notas ⁹ y ¹⁰ de la (Tabla 19)

2.6.5 Distancia de seguridad de alambres, conductores, cables o partes rígidas energizadas y no protegidas sobre o cerca de áreas de piscina, sin el desplazamiento por viento.

2.6.5.1 Piscinas. Cuando los alambres, conductores, cables o partes rígidas energizadas sin protección, que están sobre una piscina o a su alrededor, la distancia en cualquier dirección no debe ser menor a los mostrados en la (Tabla 22), e ilustrado en la (Figura 10).

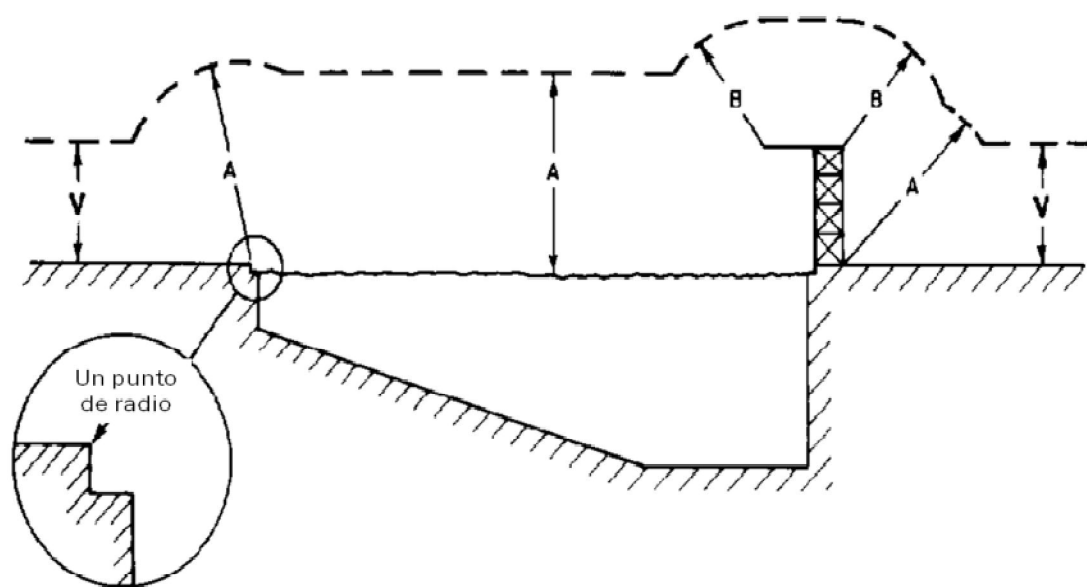
EXCEPCIÓN 1: Esta recomendación no aplica a piscinas totalmente cerradas de forma permanente o controlada.

EXCEPCIÓN 2: Esta recomendación no aplica a conductores y cables de comunicación efectivamente conectados a tierra, alambres de protección contra sobretensiones, conductores neutros citados en el numeral 2.2.5.1, templetes, cables mensajeros, cables de suministro citados en el ítem 2.2.3.1 y cables de suministro de 0 a 750 V citados en los numerales 2.2.3.2 o 2.2.3.3, cuando estas instalaciones están horizontalmente a 3 m o a más del borde de la piscina o cualquier plataforma adjunta.

2.6.5.2 Playas y vías navegables restringidas para la natación. Cuando se usen estructuras para salvavidas, las distancias verticales y horizontales de seguridad no deberían ser menores a las mostradas en la (Tabla 14); si estas no son usadas, las distancias de seguridad deben ser como se especifica en el apartado 2.3.

2.6.5.3 Vías navegables usadas para esquí acuático. Las distancias verticales de seguridad deben ser las mismas que se especifican en el apartado 2.3.

Figura 10. Distancias de seguridad en piscinas.



Fuente. NESC

Tabla 21. Distancia de Seguridad de alambres, conductores, cables y partes rígidas bajo tensión no protegidas de puentes vehiculares^{*,}.**

Distancia de Seguridad	Partes rígidas bajo tensión no protegida con tensiones de 0 a 750 V; Conductores de comunicación no aislados; cables de suministro de 0 a 750 V que cumplen con los numerales 2.2.3.2 o 2.2.3.3 ⁷ , carcassas de equipos no puestos a tierra de 0 a 750 V; templetes no puestos a tierra y expuestos a conductores de suministro expuestos a más de 300 V hasta 750 V ⁴ (m)	Cables de suministro de más de 750 V que cumplen con los ítems 2.2.3.2 o 2.2.3.3 ⁷ ; conductores de suministro expuestos a 0 hasta 750 V (m)	Conductores de suministro expuestos a más de 750 V a 22 kV (m)	Partes rígidas bajo tensión sin protección con tensiones a más de 750 V hasta 22 kV, carcassas de equipos no puestos a tierra de 750 V a 22 kV; templetes no puestos a tierra y expuestos a conductores de suministro desnudos con tensiones a más de 750 V hasta 22 kV ⁴ (m)
1	2	3	4	5
1. Distancia de Seguridad sobre puentes. ¹				
a. Soportes fijados al puente. ³	0,90	1,07	1,70	1,50
b. Soportes no fijados al puente.	3,0	3,2	3,8	3,6
2. Distancia de seguridad junto a, debajo de o dentro de la estructura del puente. ⁶				

* Las tensiones son de fase a fase para los circuitos puestos a tierra de manera efectiva y aquellos otros circuitos donde todas las fallas a tierra son suprimidas mediante la desactivación inmediata de la sección de falla, tanto inicialmente como las siguientes operaciones del interruptor.

** Las distancias de seguridad se establecen sin desplazamiento por el viento, salvo lo indicado en las notas de la presente Tabla adelante véase los numerales 2.6.4.1 y 2.6.8.4

Tabla 21. Continuación

1	2	3	4	5
a. Partes fácilmente accesibles de cualquier puente, incluyendo a las, paredes y accesorios del puente ¹				
(1) Soportes fijados al puente. ³	0,90	1,07 ⁸	1,70 ⁹	1,50
(2) Soportes no fijados al puente.	1,50	1,70 ⁸	2,30 ⁹	2,00
b. Partes Normalmente inaccesibles de puentes (que no sea de ladrillo, hormigón o mampostería) y de los pilares. ²				
(1) Soportes fijados al puente. ^{3, 5}	0,90	1,07 ⁸	1,70 ⁹	1,50
(2) Soportes no fijados al puente ^{4, 5}	1,20	1,40 ⁸	2,00 ⁹	1,80

Fuente: NESC

¹ Cuando la trayectoria pueda estar dentro o cerca de los puentes, las distancias de seguridad del apartado 2.3 también aplican.

² Las superficies de apoyo de los puentes de acero que contienen mampostería, ladrillo o concreto y que requieren acceso frecuente para su inspección, deben ser considerados como partes fácilmente accesible.

³ La distancia de seguridad desde los conductores de suministro a los brazos de soporte y apoyos o unidos a los puentes debe ser la misma que la especificada en la (Tabla 30), si los brazos de soporte y apoyos son dispuestos en el puente operados y mantenidos por la misma empresa de energía.

⁴ Los templete no conectados a tierra y partes de estos entre templete aislados, deben tener distancias de seguridad basadas en las más altas tensiones a la cual pueden estar expuestos debido a la holgura del conductor o del templete.

⁵ Cuando los conductores que pasan bajo puentes, están adecuadamente protegidos contra el contacto de personas no autorizadas y pueden ser desenergizados y conectados a tierra para el mantenimiento del puente, las distancias de seguridad de los conductores al puente o a cualquier punto, pueden tener las distancias especificadas en la (Tabla 30) respecto a la distancia de seguridad desde las superficies de los brazos de soporte mas la mitad de la flecha final sin carga del conductor en ese punto.

⁶ Cuando el puente tenga partes móviles, tales como un puente elevador, las distancias de seguridad requeridas deben ser mantenidas en la totalidad del movimiento.

⁷ Cuando en un puente se permita el transporte de los cables de suministro por medio de una canalización rígida dispuesta directamente al puente.

⁸ La distancia de seguridad en reposo no deben ser menor al valor mostrado en esta tabla. También, cuando el conductor o cable es desplazado por el viento, la distancia no debe ser inferior a 1,07 m;

⁹ La distancia de seguridad en reposo no deben ser menor al valor mostrado en esta tabla. También, cuando el conductor o cable es desplazado por el viento, la distancia no debe ser inferior a 1,40 m.

Tabla 22. Distancias de seguridad de alambres, conductores, cables o partes rígidas con tensión no resguardadas sobre o cerca de piscinas^{*,}.**

Distancia de Seguridad	Conductores y cables aislados de comunicación; Cables mensajeros; Cable de guarda; templetos puestos a tierra; templetos sin conexión a tierra expuestos de 0 hasta 300 V ³ ; conductores neutros que cumplan el numeral 2.2.5.1; cables de suministro que cumplan con el numeral 2.2.3.1 (m)	Partes rígidas energizadas sin protección, de 0 a 750 V; Conductores de comunicación no aislados; Cables de suministro de 0 a 750 V que cumplan con el numeral 2.2.3.2 2.2.3.3; templetos sin conexión a tierra y expuestos a conductores de suministro desnudos a tensiones superiores de 300 V a 750 V ² (m)	Cables de suministro con tensiones superiores a 750 V y que cumplan con los numerales 2.2.3.2 y 2.2.3.3; conductores de suministro expuestos a tensión de 0 a 750 V (m)	Partes rígidas energizadas sin protección con tensiones superiores a 750 V hasta 22 kV; templetos no puestos a tierra expuestos a más de 750 V a 22 KV ² (m)	Conductores de suministro expuestos con tensiones superiores a 750 V hasta 22 kV (m)
1	2	3	4	5	6
A. Distancia de seguridad en cualquier dirección desde el nivel del agua.	6,7	6,9	7,0	7,5	7,6
B. Distancia de seguridad en cualquier dirección a la plataforma de buceo, torre, tobogán u otro tipo de estructura fija.	4,3	4,4	4,6	5,1	5,2

* Las tensiones son de fase a tierra para circuitos de tierra de manera efectiva y aquellos otros circuitos donde todas las fallas a tierra se eliminan mediante la desactivación inmediata de la sección de falla, tanto inicialmente como después de las operaciones posteriores del interruptor.

** Las distancias de seguridad son sin desplazamiento por el viento, excepto donde en las notas de la presente Tabla se especifique lo contrario. Consultar los numerales 2.6.5.1, 2.6.5.2, 2.6.8.4

Tabla 22. Continuación

1	2	3	4	5	6
V. Distancia de seguridad vertical sobre tierra circundante.	La distancia de seguridad será la exigida...en el apartado 2.4...				

Fuente: NESC

Las distancias A, B y V descritas en esta tabla, son ilustradas en la (Figura 10).

¹ Los valores de distancias mostrados en esta tabla son calculados por la adición del valor mecánico y eléctrico pertinente de la (Tabla A-1) para el componente de referencia de la (Tabla A-2b) del anexo A.

² Los templetes no conectados a tierra y partes de estos entre templetes aislados, deben tener distancias de seguridad basadas en las más altas tensiones a la cual pueden estar expuestos debido a la holgura del conductor o del templete.

³ Cuando se usen aisladores en los templetes en conformidad con el numeral 5.4.10, estos pueden tener las mismas distancias de seguridad dadas para los templetes conectados efectivamente a tierra.

2.6.6 Distancias de seguridad de alambres, conductores, cables y partes rígidas energizadas a depósitos de grano.

2.6.6.1 Depósitos de grano cargados permanentemente por sistemas de ascensores o transportadores. Todas las partes de los depósitos de grano que son cargadas por el uso permanente de transportadores y sistemas de elevación deben ser consideradas como una edificación u otro tipo de instalación según el numeral 2.6.3, para el propósito de determinar las distancias de seguridad apropiadas de alambres, conductores, cables y partes rígidas energizadas. Adicionalmente, las siguientes distancias de seguridad también deben aplicarse, si no se presenta desplazamiento por el viento.

Figura 11. Distancias de seguridad a depósitos de grano.

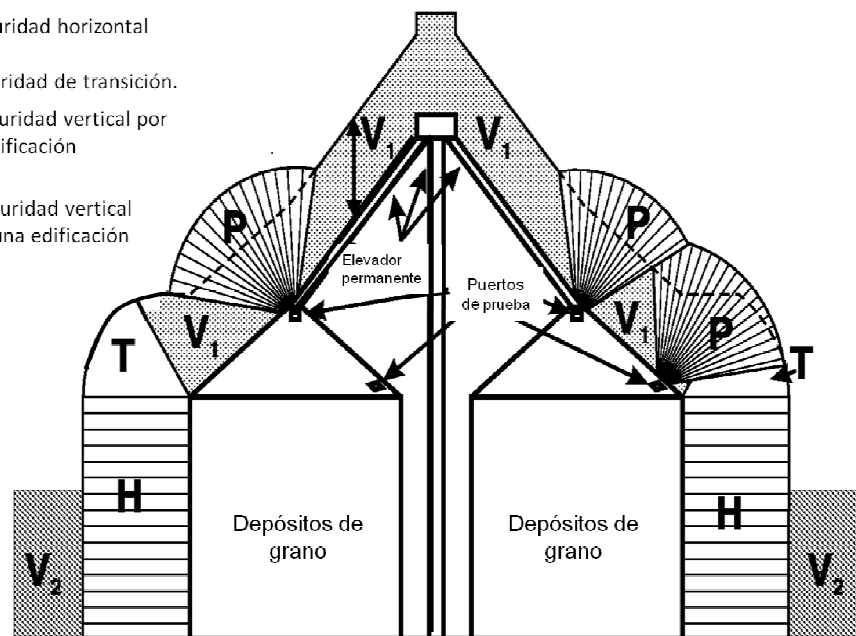
P = Distancia de seguridad de 5,5 m

H = Distancia de seguridad horizontal

T = Distancia de seguridad de transición.

V₁ = Distancia de seguridad vertical por encima de un edificio

V₂ = Distancia de seguridad vertical por encima de una edificación



Fuente. NESC

- Una distancia de seguridad no menor a 5,5 m en todas las direcciones sobre el depósito de grano debe ser mantenida para cada uno de las portillas de prueba o de control del depósito (en el techo del depósito) para todos los alambres y cables.
- Una distancia de seguridad horizontal de no menos que 4,6 m, debe ser mantenida entre los depósitos de grano y los conductores de suministro expuestos o desnudos, con tensiones entre los 0 a los 22 kV.

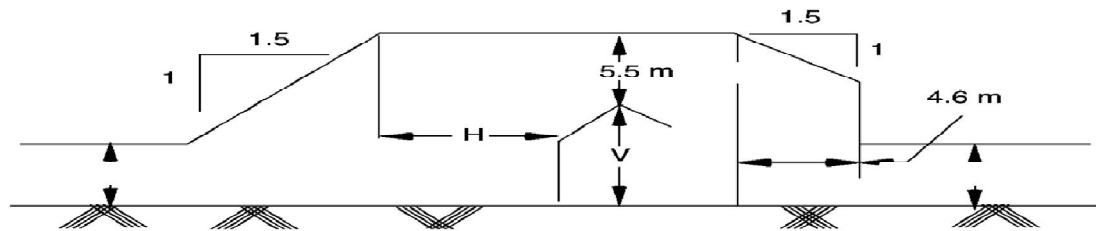
2.6.6.2 Depósitos de grano cargados por sistemas de ascensores o transportadores móviles (sin desplazamiento por viento).

- Las distancias de seguridad de alambres, conductores, cables y partes rígidas energizadas a los depósitos de grano que se esperan sean cargados por el uso de transportadores y sistemas de elevación móviles o portátiles, no deben ser menores a los valores ilustrados en la (Figura 12).

EXCEPCIÓN: Las siguientes distancias de seguridad en el lado donde no se cargan los depósitos de grano, no debe ser menor a las requeridas por el numeral 2.6.3 (Para distancias a edificaciones):

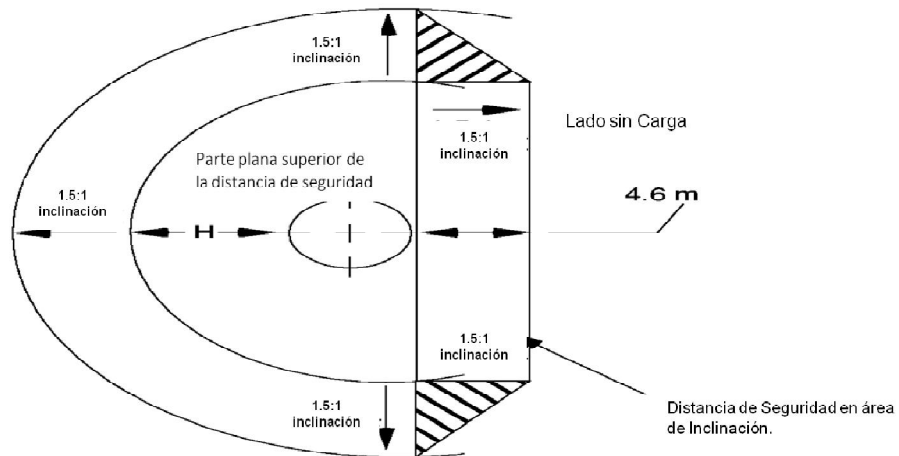
- *Brazos de soporte; carcasas de equipos efectivamente conectados a tierra.*
- *Conductores y cables aislados de comunicación, cables mensajeros, alambres de protección contra sobretensiones, templetes conectados a tierra, conductores neutros citados en el numeral 2.2.5.1, cables de suministro citados en el numeral 2.2.3.1*
- *Cables de suministro de 0 a 750 V citados en los numerales 2.2.3.2 o 2.2.3.3.*
- Cualquier lado de un depósito de grano es considerado como lado de no carga si así esta designado o si este está cercanamente lindante a otra estructura u obstrucción o no es accesible a los medios portátiles o móviles para el llenado de los depósitos de grano.

Figura 12. Distancias de seguridad para depósitos de grano cargados o llenados por sistemas de ascensores o transportadores móviles.



V = La Altura máxima para un puerto de Prueba o llenado del de Depósito de grano

$H = V + 5.5m$



Fuente. NESC

2.6.7 Distancias adicionales de seguridad para alambres, conductores, cables y partes de equipos rígidas energizadas sin protección, con tensiones que exceden los 22 kV. Se deberán proporcionar distancias de seguridad mayores a las especificadas en los numerales 2.6.2, 2.6.3, 2.6.4, 2.6.5, 2.6.6 y 2.6.10, cuando sea necesario, así:

2.6.7.1 Para tensiones entre los 22 y 470 kV, la distancia de seguridad especificada...en los numerales 2.6.2, 2.6.3, 2.6.4, 2.6.5, 2.6.6 y 2.6.10, deben ser incrementadas a una tasa de 10 mm por kV en exceso de los 22 kV. Para

tensiones que excedan los 470 kV la distancia debe ser determinada por el método dado en el numeral 2.6.8 Las distancias de seguridad para líneas de suministro que tienen tensiones superiores a 50 kV, estas deben ser basadas en la máxima tensión de operación.

EXCEPCIÓN 1: Cuando un valor de distancia de seguridad es dado para el rango de 22 kV a 50 kV, la adición dada en este criterio, aplica a la tensión en exceso de 50 kV.

EXCEPCIÓN 2: Para tensiones que exceden los 98 kV AC a tierra o 139 kV DC a tierra, se permiten distancias de seguridad menores a aquellas requeridas anteriormente para sistemas con un factor de máxima sobretensión transitoria de conmutación conocido.

2.6.7.2 Para tensiones que exceden los 50 kV, la distancia de seguridad adicional, debe ser incrementada 3% por cada 300 m por encima de 1000 m sobre el nivel del mar.

2.6.7.3 Para las tensiones que exceden los 98 kV AC a tierra, se incrementarán las distancias de seguridad o se reducirá el campo eléctrico o los efectos de los mismos serán reducidos utilizando otros medios, según sea necesario, a fin de limitar la corriente de estado estable debido a los efectos electrostáticos a 5 mA RMS, para cualquier accesorio metálico no conectado a tierra y que fuera cortocircuitado a tierra. Para esta determinación, el conductor deberá estar a una flecha final sin carga de 50°C.

2.6.8 Distancias de seguridad alternativas para tensiones que excedan los 98kV AC a tierra o 139kV DC a tierra. Las distancias de seguridad especificadas...en los numerales 2.6.2, 2.6.3, 2.6.4, 2.6.5, 2.6.6 y 2.6.10, pueden ser reducidas en circuitos donde se conocen los máximos factores de sobretensión transitoria por maniobra, pero no deberá ser menores que la distancia de seguridad alternativa, la cual se calcula sumando las distancias de referencia véase numeral 2.6.8.2, con la distancia de seguridad del componente eléctrico véase numeral 2.6.8.3.

2.6.8.1 Condiciones de flecha de los conductores de línea. Las distancias verticales, horizontales y diagonales de seguridad, deben ser mantenidas bajo las condiciones de temperatura y de carga del conductor dadas en el numeral 2.6.1.

2.6.8.2 Distancias de referencia. La distancia de referencia debe ser seleccionada de la (Tabla 24).

2.6.8.3 Distancia de seguridad del componente eléctrico.

- El valor de (D) debe ser calculado usando la siguiente ecuación. Valores seleccionados de D están listados en la (Tabla 25).

$$D = 1.00 \left[\frac{[V * (PU)]a}{500 K} \right]^{1.667} bc \text{ [m]}$$

Para cuya ecuación, las variables indican:

V: Máxima tensión de operación de cresta de AC a tierra o máxima tensión de operación de DC a tierra en kV.

PU : Máximo factor de sobretensión transitoria de conmutación (o maniobra) expresado por la máxima tensión por unidad a tierra y definido como un nivel de sobretensión transitoria de conmutación para los interruptores que corresponden a un 98 % de probabilidad que la máxima sobretensión transitoria de conmutación generada por la operación del interruptor no sobrepase este nivel de sobretensión o el máximo nivel esperado de sobretensión transitoria de conmutación generado por otros medios, cualquiera que sea el mayor.

a : 1,15, valor de la tolerancia para las tres desviaciones estándar,

b : 1,03, valor de la tolerancia para las condiciones atmosféricas no estándar,

c : La margen de seguridad:

1,2 para distancias de seguridad verticales

1,0 para distancias de seguridad horizontales,

K : 1,15 el factor de configuración para la distancia de conductor a conductor.

- El valor (D) debe ser incrementado 3% por cada 300 m por encima de 450 m sobre el nivel del mar.

2.6.8.4 Límite. La distancia de seguridad alternativa no debe ser menor a la distancia de seguridad dada en el numeral 2.5.2, la (Tabla 19), (Tabla 21) o (Tabla 22) según sea aplicable y calculada para 98 kV AC RMS a tierra en conformidad con el numeral 2.6.7.1.

2.6.9 Distancia de seguridad de alambres, conductores y cables a los vagones de ferrocarril. Donde alambres, conductores o cables aéreos recorran a lo largo de vías férreas, las distancias de seguridad en cualquier dirección no deben ser menores a las mostradas en la (Figura 13). Los valores (V) y (H) son como se definen enseguida:

V = Distancia de seguridad vertical desde el alambre, conductor o cable por encima de la parte superior del ferrocarril, como se especifica en el apartado 2.4, menos 6,1 m asumiendo la altura del vagón del ferrocarril.

H = Distancia de seguridad horizontal del alambre, conductor o cable más cercano del riel, la cual es igual a la distancia vertical sobre este menos 4.6 m, calculada por el menor valor de los siguientes:

2.6.9.1 Véase los numerales 2.4.2.1 y 2.4.3.1

2.6.9.2 Véase el numeral 2.4.4

Estas distancias de seguridad son calculadas para las vías férreas por donde circulan vagones estándares. Cuando los alambres, conductores o cables se desplazan a lo largo de una mina, transporte de madera y vías férreas similares que solo manejan vagones más pequeños que los vagones de carga, el valor de H puede reducirse en la mitad de la diferencia entre el ancho de un vagón estándar (3,3 m) y el ancho de un vagón más angosto.

2.6.10 Distancia de seguridad de equipos montados sobre estructuras de soporte*.

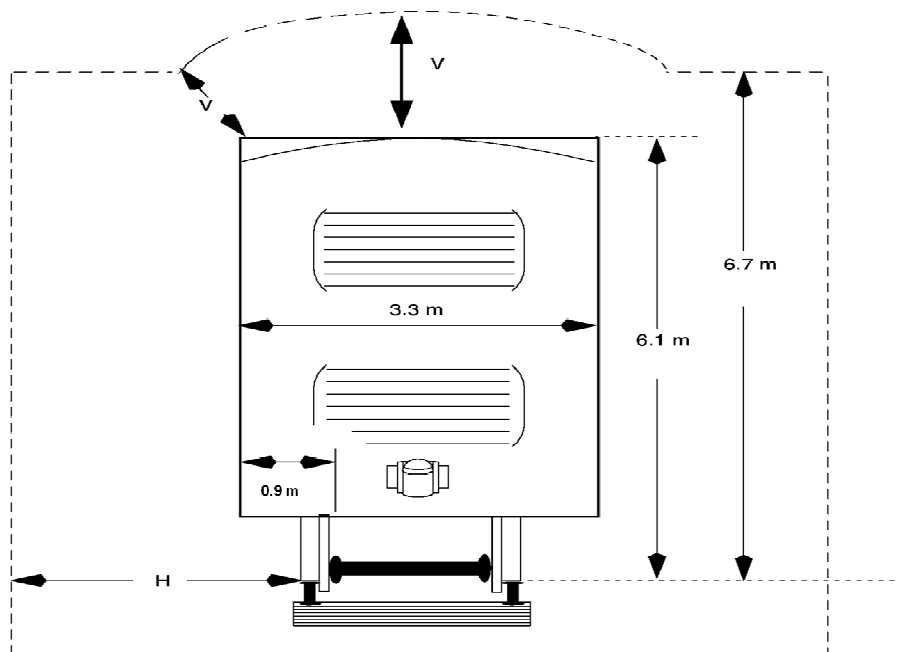
2.6.10.1 Distancia de seguridad a partes rígidas energizadas y desprotegidas de equipos. Las distancias horizontales y verticales de seguridad de las partes rígidas bajo tensión no protegidas, tales como capacetes, bornes de transformadores, pararrayos y tramos cortos de conductores de suministro conectados a los mismos, que no están sujetos a variación vertical no deben ser menores a las requeridas por los numerales 2.6.3 o 2.6.4, según sea el caso.

2.6.10.2 Distancia de seguridad a las carcasas de los equipos. El equipo debe ser montado de tal forma que el mismo no esté a menores distancias de seguridad que las dadas a continuación:

* Este numeral no está sujeto a las condiciones de carga dadas en el numeral 2.6.1

- Las carcasas de los equipos conectados efectivamente a tierra, pueden estar ubicados adyacentemente a edificios, puentes u otra estructura siempre que las distancias a las partes rígidas energizadas y desprotegidas de tales equipos sean mantenidas como se especifica en el numeral 2.6.10.1.
- Las carcasas de equipos que no están efectivamente conectadas a tierra, deben ser ubicadas de manera tal, que las distancias de seguridad dadas en los numerales 2.6.3 o 2.6.4, se mantengan.
- Las carcasas de los equipos deben estar ubicadas, de tal manera que no sirvan como medio de aproximación a partes rígidas energizadas y desprotegidas a personas no calificadas.

Figura 13. Distancias de seguridad para vagón estándar de ferrocarril



Fuente. NESC

Tabla 23. Componente eléctrico (D) de la distancia de seguridad en edificios, puentes y otras instalaciones^{*,}.**

Máxima tensión de operación fase a fase (kV)	Factor de sobretensión transitoria de conmutación (por unidad)	Sobretensión transitoria de conmutación (kV)	Componente Eléctrico de la distancias de seguridad. (m)	
			Vertical	Horizontal
			(m)	(m)
242	2,0	395	0,82	0,70
	2,2	435	0,98	0,82
	2,4	474	1,13	0,94
	2,6	514	1,28	1,07
	2,8	553	1,40	1,20
	3,0	593	1,65	1,40
362	1,8	532	1,40	1,13
	2,0	591	1,65	1,40
	2,2	650	1,90	1,60
	2,4	709	2,20	1,85
	2,6	768	2,50	2,1
	2,8	828	2,90	2,40
	3,0	887	3,2	2,70
550	1,6	719	2,30	1,90
	1,8	808	2,80	2,30
	2,0	898	3,3	2,70
	2,2	988	3,9	3,2
	2,4	1079	4,4	3,7
	2,6	1168	5,1	4,2
800	1,6	1045	4,2	3,5
	1,8	1176	5,2	4,3
	2,0	1306	6,1	5,1
	2,2	1437	7,2	6,0
	2,4	1568	8,3	6,9

Fuente: NESC

* Adicionar un 3% por cada 300 metros por encima de 450 m sobre el nivel del mar.

** Véase numeral 2.6.8.3

Tabla 24. Distancias de referencia*.

DISTANCIAS DE REFERENCIA	Vertical	Horizontal
	(m)	(m)
Edificaciones	2,70	0,90
Letreros, chimeneas, antenas de radio y televisión, tanques y otras instalaciones diferentes a puentes o edificios.	2,70	0,90
Superestructura de puentes ^{1,2}	2,70	0,90
Estructuras de apoyo de otra línea	1,80	1,50
Dimensión A de la Figura 2.8.	5,5	-
Dimensión B de la Figura 2.8.	4,3	4,3

Fuente: NESC

¹ Sobre calzadas en o cerca de puentes, también se aplican las distancias de seguridad del apartado 2.4

² Cuando el puente tenga partes móviles, tal como un puente de elevación, las distancias de seguridad requeridas deben ser mantenidas en la totalidad del movimiento.

2.7 DISTANCIAS DE SEGURIDAD ENTRE ALAMBRES, CONDUCTORES O CABLES INSTALADOS EN LA MISMA ESTRUCTURA DE SOPORTE.

2.7.1 Aplicación.

2.7.1.1 Alambres o cables multi-conductores. Los Cables y conductores que están soportados en aisladores o cables mensajeros, que cumplen con los numerales 2.2.3 o 2.2.4; sean estos dispuestos de manera simple o agrupados, se considerarán como conductores simples, incluso si contienen conductores individuales de diferente fase o polaridad.

2.7.1.2 Conductores soportados por mensajeros o alambres de suspensión. Las distancias de seguridad entre alambres, conductores o cables individuales

* Véase numeral 2.6.8.2

soportados por el mismo cable mensajero o entre cualquier grupo y su cable mensajero de soporte o entre un conductor de alimentación de trolebús, conductor de suministro o conductor de comunicación y sus respectivos alambres de suspensión de apoyo, no están sujetas a las disposiciones de este apartado.

2.7.1.3 Conductores de línea de diferentes circuitos.

- A menos que se indique lo contrario, la tensión entre conductores de línea de diferentes circuitos deberá ser el mayor de:
 - *La diferencia fasorial entre los conductores implicados**.
 - *La tensión de fase a tierra del circuito de más alta tensión.*
- Cuando los circuitos tienen la misma tensión nominal, cualquier circuito puede ser considerado que está a la más alta tensión.

2.7.2 Distancia de seguridad horizontal entre conductores de línea.

2.7.2.1 Dispuestos en soportes fijos. Los conductores de línea unidos a soportes fijos deben tener distancias horizontales de seguridad entre sí, no menor al valor más alto de los valores que serán precisados por el actual numeral, según situación particular de los mismos. La tensión es entre los dos conductores para los cuales la distancia de seguridad es determinada, excepto para los alimentadores de ferrocarril, las cuales son tensiones a tierra.

- *Distancia de seguridad horizontal entre conductores de línea del mismo o diferente circuito.* Las distancias de seguridad no deben ser menores a los valores listados en la (Tabla 25).

* Una relación fasorial de 180 ° es considerada apropiada, donde se desconoce la relación fasorial.

- *Distancia de seguridad de acuerdo a las flechas.* Las distancias de seguridad a los soportes de los conductores del mismo o de diferente circuito, en ningún caso deben ser menores que los valores dados por las formulas descritas a continuación, donde se considera una temperatura de conductor de 15 °C, con lecha final sin carga ni viento. Los valores de la (Tabla 25) rigen, si precisan una separación mayor a la de este criterio.

Para las ecuaciones indicadas a continuación, la variable (S) es la flecha aparente en milímetros mm del conductor que tiene la mayor flecha y la distancia de seguridad está en milímetros mm.

- Para conductores de línea menores a AWG N° 2:
Distancia de seguridad = $7,6 [mm]/[kV] + 20,4 \sqrt{S - 610}$ mm (la Tabla 26 muestra valores para conductores con tensiones de hasta 46 kV).
- Para conductores de línea de AWG N° 2 o mayores:
Distancia de seguridad = $7,6 [mm]/[kV] + 8 \sqrt{2,12(S)}$ mm (la Tabla 27 muestra valores para conductores con tensiones de hasta 46 kV).
- Para tensiones que exceden los 814 kV, la distancia de seguridad debe ser determinada por el método alternativo dado...en el numeral 2.7.2.3...
- Las distancias de seguridad para tensiones que exceden los 50 kV debe ser incrementados 3% por cada 300 m por encima de 1000 m, sobre el nivel del mar. Todas las distancias para las líneas superiores a 50 kV, deben estar basadas en el máximo tensión de operación.

EXCEPCIÓN 1: El espaciamiento entre los soportes tipo espiga en la construcción de una cruceta de derivación o de cambio de dirección, puede reducirse tal como se especifica en el numeral 2.8.6, a fin de proporcionar un espacio para el escalamiento.

EXCEPCIÓN 3: Estas distancias de seguridad no se aplican a los cables que cumplan con el numeral 2.2.3 o a los cables cubiertos del mismo circuito que cumplen con el numeral 2.2.4

EXCEPCIÓN 4: Para las tensiones a tierra que excedan los 98 kV de AC o 139 kV de DC y donde se conoce el máximo factor de sobretensión transitoria por maniobra del sistema, es permitido distancias de seguridad menores.

Tabla 25. Distancias horizontales de seguridad entre los alambres, conductores o cables en los soportes^{*,}.**

Clases de circuitos	Distancias de Seguridad (mm)	Notas
Conductores abiertos de Comunicación	150	No se aplica en los puntos de transposición de conductores.
	75	Permitido cuando los espacios del soporte, tipo espiga menor de 150 mm han tenido uso regular. No se Aplica en puntos de transposición del conductor.
Alimentadores de vías Férreas 0 a 750 V, AWG N° 4/0 o mayor 0 a 750 V, menor que AWG N° 4/0 Más de 750 Va 8,7 kV	150	Cuando ya se ha establecido una distancia de seguridad de 250 a 300 mm por la práctica, esta puede continuarse sujeto a las disposiciones de la regla, para los conductores que tengan flechas aparentes no mayores de 900mm y para tensiones que no excedan de 8,7 kV.
	300	
	300	
Conductores de Suministro del mismo circuito	300	
0 a 8,7 KV	300, más 10 por kV por encima de 8,7 kV.	
Más de 8,7 a 50 kV	Ningún valor específico	
Más de 50 kV		

Fuente: NESC

^{*} Las tensiones son entre los conductores involucrados, excepto para los alimentadores de ferrocarriles, que son a la tierra

^{**} Véase los numerales 2.7.1., 2.7.2.3, 2.7.2.1

Tabla 25. Continuación

Clases de circuitos	Distancias de Seguridad (mm)	Notas
Conductores de Suministro de diferente circuito	300	Para todas las tensiones superiores a 50 kV, la distancia de seguridad adicional deberá se incrementada en 3% por cada 300 metros que sobrepase de 1000 metros sobre el nivel del mar. Todas las distancias de seguridad para las tensiones mayores de 50 kV deberán basarse en la máxima tensión de operación.
0 a 8,7 KV	300, más por encima de 8,7 kV.	
Más de 8,7 a 50 kV	725 más 10 por kV por encima de 50 kV	
Más de 50 kV a 814 kV		

Fuente: NESC

Tabla 26. Distancias horizontales de seguridad entre líneas con conductores menores a AWG No. 2, (basados en las flechas).

Tensión nominal entre conductores (kV)	Flecha (mm)							
	915	1220	1830	2440	3050	4570	6095	Pero no inferior a ¹
	Distancia de seguridad Horizontal (mm)							
2,4	375	520	730	890	1025	1300	1525	300
4,16	390	535	745	905	1040	1315	1540	300
12,47	450	595	805	965	1100	1375	1605	345
13,2	455	605	810	970	1105	1385	1610	350
13,8	460	605	815	975	1110	1385	1615	355
14,4	465	610	820	980	1115	1390	1620	365
24,94	545	695	900	1060	1195	1475	1700	470
34,5	620	765	975	1135	1270	1545	1775	570
46	705	855	1060	1220	1355	1635	1860	685

Fuente: NESC

¹ La distancia de seguridad determinada por la (Tabla 25) y el numeral 2.7.2.1

Tabla 27. Distancia de seguridad Horizontal entre conductores de línea AWG No. 2 o superiores, (basados en las flechas).

Tensión nominal entre conductores (kV)	Flecha (mm)							
	915	1220	1830	2240	3048	4572	6096	Pero no inferior a ¹
	Distancia de seguridad Horizontal (mm)							
2,4	370	425	515	590	660	805	925	300
4,16	385	440	530	605	675	820	940	300
12,47	445	500	600	670	735	880	1005	345
13,2	450	510	595	675	740	885	1010	350
13,8	455	510	600	680	745	890	1015	355
114,4	460	515	605	685	750	895	1020	365
24,94	540	595	685	760	835	975	1100	470
34,5	615	670	760	835	905	1050	1170	570
46	705	755	845	625	995	1140	1260	685

Fuente: NESC

¹ La distancia de seguridad determinada por la (Tabla 25) y .el numeral 2.7.2.1

2.7.2.2 Dispuestos en aisladores suspendidos. Cuando se usan aisladores suspendidos y no se restringe su movimiento, la distancia de seguridad entre los conductores deberá ser incrementada de modo que una cadena de aisladores pueda oscilar transversalmente en toda la longitud de balanceo del aislador hasta su ángulo máximo de diseño, sin reducir los valores dados en el numeral 2.7.2.1. El ángulo máximo de diseño debe ser basado en una presión de 290 Pa por el viento en el conductor, a una flecha final de 15°C. Esta presión puede reducirse a 190Pa en áreas protegidas por edificios, terrenos u otros obstáculos. El desplazamiento de los alambres, conductores y cables debe incluir la deflexión de las estructuras flexibles y montajes donde tales deflexiones pudieran reducir la distancia de seguridad horizontal entre dos alambres, conductores o cables.

2.7.2.3 Distancias de seguridad alternativas para diferentes circuitos, donde uno o ambos circuitos exceden los 98 kV AC a tierra o 139 kV DC a tierra. Las distancias de seguridad especificadas en los numerales 2.7.2.1 y 2.7.2.2,

pueden ser reducidas para circuitos donde se conocen los máximos factores de sobretensión transitoria de conmutación, pero no deben ser menores a las distancias de seguridad derivadas de la ecuación que se ilustrará en el presente numeral. Para esos cálculos, los conductores de comunicación, cables, templetes, cables mensajeros, conductores neutros citados en el numeral 2.2.5.1 y cables de suministro citados en el numeral 2.2.3.1, deben ser considerados conductores a tensión cero.

- *Distancia de seguridad.*

- La distancia de seguridad deberá mantenerse bajo las condiciones de carga esperadas y no deberá ser menor que la distancia de seguridad eléctrica o componente eléctrico de la distancia de seguridad (D) entre los conductores de circuitos diferentes y calculada por la siguiente ecuación*:

$$D = 1,00 \left[\frac{[V_{L-L} * (PU)]a}{500K} \right]^{1,667} b \text{ [m]}$$

Donde las variables de la ecuación son:

V_{L-L} : Máxima tensión de operación de cresta en AC a tierra o máxima tensión de operación en DC a tierra en kV, entre los polos de circuitos diferentes. Si las fases son las mismas y comparten la misma magnitud de tensión, el conductor de fase deberá considerarse puesto a tierra,

PU : Máximo factor de sobretensión transitoria de conmutación (o maniobra) expresado por la máxima tensión por unidad a tierra y definido como un nivel de

* Por conveniencia, las distancias para tensiones de sistemas típicos son mostradas en la (Tabla 28).

sobretensión transitoria de conmutación, para los interruptores que corresponden a un 98 % de probabilidad que la máxima sobretensión transitoria de conmutación generada por la operación del interruptor no sobrepase este nivel de sobretensión o el máximo nivel esperado de sobretensión transitoria de conmutación generado por otros medios, cualquiera que sea el mayor,

a : 1,15, la tolerancia para las tres desviaciones estándar,

b : 1,03, la tolerancia para las condiciones atmosféricas no estándar,

K : 1,4 el factor de configuración para la distancia de conductor a conductor.

- El valor de (D) debe ser incrementado 3% por cada 300 m, por encima de 450 m sobre el nivel del mar.
- *Limite.* Las anteriores distancias de seguridad, no debe ser menor a las distancias de seguridad básicas dadas en la (Tabla 25), calculada para 169 kV AC.

2.7.3 Distancia de seguridad vertical entre conductores de línea. Todos los alambres, conductores y cables ubicados a diferentes niveles (posiciones en altura) en la misma estructura de soporte, deben tener distancias verticales no menores a las siguientes:

2.7.3.1 Distancia vertical de seguridad básica para conductores del mismo o diferente circuito. Las distancias dadas en la (Tabla 29), deben ser aplicadas a alambres, conductores o cables de línea de 0 a 50 kV unidos a los soportes.

EXCEPCIÓN 1: Los alambres, conductores o cables de línea ubicados en bastidores verticales o ménsulas separadas y ubicadas verticalmente, que cumplen los criterios del numeral 2.7.7, pueden guardar los espacios tal como se especifica en dicho numeral.

EXCEPCIÓN 2: Cuando las acometidas de comunicación cruzan bajo conductores de suministro en una estructura de cruce común, la distancia de seguridad entre el conductor de comunicación y un conductor de suministro conectado efectivamente a tierra, puede ser reducida a 0,1 m; siempre que la distancia de seguridad entre el conductor de comunicación y los conductores de suministro no conectados a tierra efectivamente cumplan los criterios del numeral 2.7.3, según sea apropiado.

EXCEPCIÓN 3: Las acometidas de suministro de 0 a 750 V, transportadas por encima y en paralelo a los ramales de acometida de comunicación, pueden guardar un espaciamiento de no menos de 0,3 m en cualquier punto del vano, incluyendo el punto al cual están sujetas a la estructura o edificio, siempre que los conductores no conectados a tierra sean aislados y que la distancia de seguridad requerida por este numeral, sea mantenida entre los dos ramales de acometida en el poste.

EXCEPCIÓN 4: No tiene aplicación en conductores del mismo circuito y que cumplen con el numeral 2.2.4

2.7.3.2 Distancias de seguridad adicionales. Se proporcionará distancias de seguridad mayores que aquellas requeridas por el numeral 2.7.3.1 listadas en la (Tabla 29), bajo las siguientes condiciones:

- *Distancias de seguridad relacionadas con la tensión.*
- Para tensiones entre 50 a 814 kV, la distancia de seguridad entre alambres, conductores o cables de línea de diferentes circuitos, debe ser incrementada 10 mm por kV en exceso de 50 kV.

EXCEPCIÓN: Para tensiones a tierra que exceda los 98 kV AC o 139 kV DC, menores distancias a las requeridas arriba son permitidas para los sistemas donde se conocen los máximos factores de sobretensión transitoria de conmutación.

- Adicionalmente al incremento en la distancia de seguridad para tensiones que exceden los 50 kV, se debe incrementar en 3%, por cada 300 m que exceda los 1000 m sobre el nivel del mar.

- Todas las distancias de seguridad para líneas por encima de 50 kV, deben estar basadas en la máxima tensión de operación.
- No se especifican valores para las distancias de seguridad entre conductores del mismo circuito.
- Distancias de seguridad relacionadas con las flechas.
- Los alambres, conductores y cables de línea soportados en diferentes niveles de las mismas estructuras, deberán guardar distancias verticales de seguridad a las estructuras de soporte, de tal modo que la distancia a cualquier punto en el vano no debe ser menor a cualquiera de las siguientes:
 - o El 75% de lo requerido en los apoyos o soportes según (Tabla 29), para tensiones menores a 50 kV entre conductores,

EXCEPCIÓN: Los conductores de neutro citados en el numeral 2.2.5.1y los cables de suministro citados...en el numeral 2.2.3.1 (Incluyendo los accesorios del soporte) que se desplazan por encima y en paralelo a los cables de comunicación; donde el neutro de suministro o cable mensajero está enlazado al cable mensajero de comunicación a intervalos especificados en el capítulo 3 del presente documento, estos pueden guardar una distancia de 0,3 m a cualquier punto en el vano, siempre que se mantenga una distancia de 0.75 m entre los conductores o cables de suministro y los cables de comunicación al soporte en el poste.

- o Para tensiones superiores a 50 kV entre conductores, el valor de la distancia de seguridad anteriormente especificado, se incrementará de acuerdo con lo señalado en la primera condición del numeral 2.7.3.2 “Distancias de seguridad relacionadas con la tensión”

Tabla 28. Distancia de seguridad eléctrica o componente eléctrico (D) de la distancia de seguridad, según el numeral 2.7.2.3*

Máxima Tensión de operación fase a fase (kV)	Factor de sobretensión transitoria de conmutación (por Unidad)	Sobretensión transitoria de Conmutación (kV)	Componente Eléctrico de la distancia de seguridad
			(m)
242	2,6 o menos	890 o menos	1,90 ¹
	2,8	958	2,20
	3,0	1027	2,50
	3,2 o más	1095 o más	2,70 ²
362	1,8	893 o menos	1,95 ¹
	2,0	1024	2,45
	2,2	1126	2,90
	2,4	1228	3,3
	2,6	1330	3,8
	2,7 o más	1382 o más	3,9 ²
550	1,6	1245	3,4
	1,8	1399	4,1
	2,0	1555	4,9
	2,2	1711	5,8
	2,3	1789 o más	5,8 ²
800	1,6	1810	6,3
	1,8	2037	7,7
	1,9 o más	2149 o mas	8,4 ²

Fuente: NESC

¹ Limitado por el numeral 2.7.2.3

² No necesita ser superior a lo especificado en los numerales 2.7.2.1 y 2.7.2.2

* Se adiciona un 3% por cada 300 metros, por encima de 450 metros sobre el nivel del mar.

Tabla 29. Distancias verticales de seguridad entre los conductores en los soportes*

Conductores y cables Usualmente en los niveles más bajos	Conductores y cables por lo general en niveles más altos			
	Cables de suministro que cumple con el numeral 2.2.3.1, 2 o 3; Conductores neutros que cumplen con el numeral 2.2.5.1.; cables de comunicación aislados sostenidos por un cable mensajero puesto a tierra de manera efectiva (m)	Conductores de suministro Expuestos		
		De 0 a 8,7 kV (m)	Sobre 8,7 a 50 kV	
			La misma empresa de servicio público ⁷ (m)	Diferente empresa de servicio Público ⁸ (m)
1	2	3	4	5
1. Conductores y cables de Comunicación				
a. Ubicados en el espacio de comunicación.	1.00 ^{1, 5}	1.00	1.00	1.00 más 0.01 por kV ⁶ sobre 8.7 KV
b. Ubicados en el espacio de suministro.	0.41 ^{9, 10}	0.41 ¹⁰	1.00 ¹⁰	1.00 más 0.01 por kV ⁶ sobre 8.7 KV
2. Conductores y cables de Suministro.				
a. Conductores expuestos de 0 a 750 V; Cables de suministro que cumplen con el numeral 2.2.3.1, 2 o 3; conductores neutros que cumplen con el numeral 2.2.5.1	0,41 ⁹	0,41 ²	0,41 más 0,01 por KV ⁶ sobre 8,7 KV	0,41 más 0,01 por KV ⁶ sobre 8,7 KV
b. Conductores expuestos (desnudos), con tensiones entre los 750 V a 8,7 KV.		0,41 ²	0,41 más 0,01 por KV ^{4, 6} sobre 8,7 KV	0,41 más 0,01 por KV ⁶ sobre 8,7 KV
c. Conductores expuestos (desnudos), con tensiones entre los 8,7 V a 22 KV.				

* Véase los numerales 2.7.3.1, 2.7.3.2 y 2.7.6

Tabla 29. Continuación

1	2	3	4	5
(1) Si se trabaja bajo tensión con línea viva, las herramientas y los circuitos adyacentes no son ni desactivados ni cubiertos con protectores o pantallas.			0,41 más 0,01 por KV ⁶ sobre 8,7 KV	1,00 más 0,01 por KV ⁶ sobre 8,7 KV
(2) Sí no se trabaja bajo tensión, excepto cuando los circuitos (ya sea ubicados a nivel superior o inferior) están desenergizados o cubiertos con pantallas o protectores o mediante el uso de herramientas para líneas energizadas (trabajo en Caliente) que no requieren que los linieros se ubiquen entre los alambres energizados.			0,41 más 0,01 por KV ^{3,6} sobre 8,7 KV	0,41 más 0,01 por KV ^{3,6} sobre 8,7 KV
d. Conductores expuestos que exceden los 22 KV, pero no exceden los 50 KV.			0,41 más 0,01 por KV ^{3,6} sobre 8,7 KV	0,41 más 0,01 por KV ^{3,6} sobre 8,7 KV

Fuente: NESC

¹ Cuando los circuitos de 600 V o menos, con potencia transmitida de 5000 [W] o menor, están dirigidas por debajo de los circuitos de comunicación, en conformidad con el numeral 5.3.1.2, la distancia puede ser reducida a 0,41 m.

² Cuando los conductores son operados por diferentes empresas de servicio público, se recomienda una distancia de seguridad vertical no menor a 1,00 m.

³ Estos valores no aplican a conductores del mismo circuito o circuitos que son transportados en soportes de conductores adyacentes.

⁴ Puede ser reducido a 0,41 m, cuando se trabaja en conductores no energizados, excepto cuando los circuitos adyacentes (ya sea por encima o por debajo), están desenergizados o cubiertos por capas protectoras o por el uso de herramientas que garanticen a los trabajadores de línea no estar expuestos a conductores energizados.

⁵ Puede ser reducido a 0,75[m] para los neutros de suministro citados en el numeral 2.2.5.1 y los cables de fibra óptica situados en el espacio de suministro y citados en el numeral 2.2.6.1 y cables citados en el numeral 2.2.3.1, cuando el neutro de suministro o el cable mensajero es unido a el cable mensajero de comunicación.

⁶ La diferencia fasorial más grande o la tensión de fase a tierra Véase numeral 2.7.1.3

⁷ Ejemplo: para un conductor de 50 kV a tierra, encima de un conductor de 22 kV a tierra, la distancia de seguridad necesaria es $0.41 \text{ m} + 0.64 \text{ m} = 1.05 \text{ m}$ cuando los conductores están desfasados 180° .

⁸ Ejemplo: para un conductor de 50 kV a tierra, encima de un conductor de 22 kV a tierra, la distancia de seguridad necesaria es $1.00 \text{ m} + 0.64 \text{ m} = 1.64 \text{ m}$ cuando los conductores están desfasados 180° .

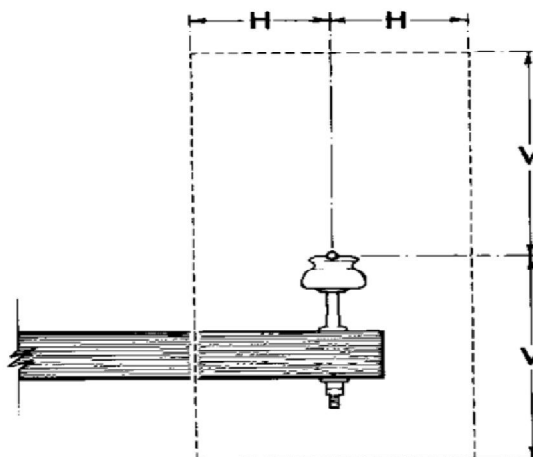
⁹ Ninguna distancia es especificada entre los conductores de neutro citados en el numeral 2.2.5.1 y los cables de comunicación aislados ubicados en el espacio de suministro y soportados por un mensajero efectivamente conectado a tierra.

¹⁰ Ninguna distancia es especificada entre cables de fibra óptica situada en el espacio de suministro citados en el numeral 2.2.6.1 y cables y/o conductores de suministro.

2.7.3.3 Distancias de seguridad alternativas para diferentes circuitos donde uno o ambos exceden los 98 kV AC o 139 Kv DC a tierra. Las distancias especificadas en los numerales 2.7.3.1 y 2.7.3.2, pueden ser reducidas para circuitos donde se conocen los máximos factores de sobretensión transitoria de conmutación, pero no deben estar por debajo de las distancias de cruce requeridas por el numeral 2.5.3.3.

2.7.4 Distancias diagonales de seguridad entre alambres, conductores y cables de línea situados en diferentes niveles en la misma estructura de soporte. Ningún alambre, conductor o cable puede estar a una distancia más cercana a cualquier otro alambre, conductor o cable que la definida por la línea punteada en la (Figura 14), donde (V) y (H) se determinan de acuerdo con otras partes del apartado 2.7.

Figura 14. Diagrama de distancia para un conductor energizado



V= Distancia de Seguridad Vial
H= Distancia de Seguridad Industrial

Fuente: NESC

Tabla 30. Distancias de seguridad en cualquier dirección desde los conductores de línea a los soportes, hacia los conductores laterales o verticales, a los alambres de suspensión o de retención unidos al mismo soporte*.

Distancia de seguridad de los conductores de línea desde	Líneas de comunicación		Líneas de suministro (tensión de circuito fase a Fase)		
	En general (mm)	En estructuras utilizadas de manera conjunta (mm)	De 0 a 8,7kV (mm)	Mayor de 8,7 a 50 kV (mm)	Mayor de 50 a 814 kV ^{4,9} (mm)
1	2	3	4	5	6
1. Conductores verticales y laterales					
a. Del mismo circuito	75	75	75	75 más por kV sobre 8,7 kV	Ningún valor especificado
b. De otros circuitos ^{12, 13}	75	5	150 ⁵	150 más 10 por Kv sobre 8,7 kV	580 más 10 por kV sobre 50 kV
2. Alambres de suspensión o de retención ¹¹ o cables mensajeros unidos a la misma estructura					
a. Cuando estén paralelos a la línea	75 ⁷	150 ^{1,7}	300 ¹	300 más 10 por kV, sobre 8,7 kV	740 más 10 por kV, sobre kV
b. Templetes de anclaje	75 ⁷	150 ^{1,7}	150 ¹	150 más 6,5 por kV, sobre 8,7 kV	410 más 6,5 por kV, sobre 50 kV
c. Todos los demás	75 ⁷	150 ^{1,7}	150	150 más 10 por kV, sobre 8,7 kV	580 más 10 por kV, sobre 50 kV
3. Superficie de los brazos de soporte (crucetas)	75 ²	75 ²	75 ^{6,8}	75 más 5 por kV, sobre 8,7 KV ^{6,8, 10}	280 más 5 por kV, sobre 50 kV

* Véase también los numerales 2.7.5.1, 2.7.5.3 y 2.7.9

Tabla 30. Continuación

1	2	3	4	5	6
4. Superficie de Estructuras:					
a. En estructuras utilizadas de manera conjunta	-	125 ²	125 ^{3,6,8}	125 más 5 por kV, sobre 8,7 kV ^{6,8,10}	330 más 5 por kV, sobre 50 kV
b. Todos los demás	75 ²	-	75 ^{6,8}	75 más 5 por kV, sobre 8,7 kV ^{6,8,10}	280 más 5 por kV, sobre 50 kV

Fuente: NESC

¹ Para alambres de retención, si es práctico. Para las distancias de seguridad entre espacios de alambres y conductores de comunicación.

En las estructuras que se utilizan de manera conjunta, los templetes que pasan por dentro de 300 mm de los conductores de suministro y también pasan dentro de 300 mm de los cables de comunicación, deberán ser protegidos con un adecuado cubrimiento aislante por donde el templete pasa por los conductores de suministro, a menos que el templete este efectivamente conectado a tierra o aislado con un aislador de amarre, en un punto por debajo del conductor de suministro ubicado más bajo y por encima del cable de comunicación ubicado más arriba.

La distancia de seguridad de un templete aislado o efectivamente conectado a tierra a un cable de comunicación, puede ser reducida a 75 mm, cuando se proporciona protección a la abrasión en el templete o en el cable de comunicación.

² Los conductores de comunicación pueden estar unidos a: soportes laterales o inferiores de las crucetas o en las superficies de los postes con menos distancia de seguridad.

³ Esta distancia de seguridad aplica solo a conductores de suministro soportados por debajo de los conductores de comunicación, en las estructuras utilizadas de manera conjunta.

Cuando los conductores de suministro están por encima de los conductores de comunicación, esta distancia puede ser reducida a 75 mm.

⁴ Todas las distancias de seguridad para la línea a más de 50 kV, deben ser basadas en el máximo tensión de operación. Para tensiones que exceden los 814 kV, la distancia, debe ser determinada por el método dado en el numeral 2.7.5.3

⁵ Para circuitos de suministro de 0 a 750 V, esta distancia puede ser reducida a 75 mm.

⁶ Un conductor neutro que cumple el numeral 2.2.5.1, puede ser unido directamente a la superficie de la estructura.

⁷ Los templetes y cables mensajeros pueden estar dispuestos a las mismas (placas guarda-postes) o a los mismos (pernos pasantes).

⁸ Para circuitos de suministro de 0 a 750 V y los cables de suministro de todas las tensiones citados en el numeral 2.2.3.1,2 o 3, esta distancia de seguridad puede reducirse a 25 mm. No se especifica ninguna distancia de seguridad para los conductores de fase de tales cables donde estén físicamente restringidos por un adecuado soporte, que evita la abrasión contra el poste.

⁹ La distancia de seguridad adicional para tensiones que exceden los 50 kV especificados en la (Tabla 30), debe ser incrementa 3% por cada 300 m que sobrepase los 1000 m sobre el nivel del mar.

¹⁰ Cuando el circuito esta efectivamente conectado a tierra y el conductor de neutro cumple el numeral 2.2.5.1, la tensión de fase a tierra debe ser usada para determinar la distancia de seguridad de la superficie de los brazos y estructuras de soporte.

¹¹ Estas distancias de seguridad pueden ser reducidas, pero no más del 25% hacia un templete aislado, siempre que la distancia de seguridad total sea mantenida a sus accesorios de extremo metálicos y los alambre del templete. La distancia de seguridad a una sección aislada de un templete entre dos aisladores puede ser reducida, pero no más del 25%, siempre que la distancia de seguridad total sea mantenida a la parte no aislada del templete.

¹² Las tensiones fase a fase deben ser determinados de acuerdo al numeral 2.7.1.3.

¹³ Estas distancias aplican a antenas de comunicación que funcionan con una radio frecuencia de 0 a 750 V.

2.7.5 Distancias de seguridad en cualquier dirección desde los conductores de línea a los soportes, a los conductores verticales o laterales, a los alambres de suspensión o de retención unidos al mismo soporte.

2.7.5.1 Soportes fijos. Las distancias de seguridad no deben ser menores a las listadas en la (Tabla 30).

EXCEPCIÓN: para tensiones que exceden los 98 kV AC a tierra o 139 kV DC a tierra se permiten distancias de seguridad menores a las requeridas por la (Tabla 30.), para los sistemas donde se conoce el factor de sobretensión transitoria de conmutación, véase numeral 2.7.5.3.

2.7.5.2 Aisladores de suspensión. Cuando se utilicen aisladores en suspensión y no se restrinja su movimiento, la distancia de seguridad debe ser incrementada, para que la cadena de aisladores pueda oscilar en sentido transversal en todo su rango máximo de diseño de oscilación, sin que se reduzcan los valores dados en (Tabla 30). El máximo ángulo de diseño de oscilación debe ser basado en una presión de 290Pa por viento en el conductor a una flecha final de 15°C. Este puede ser reducida a una presión de 190Pa debida al viento, en zona protegidas por construcciones, terrenos u otros obstáculos (los arboles no son considerados como resguardo de las líneas). El desplazamiento de los alambres, conductores y cables deberán incluir la deflexión de las estructuras y accesorios flexibles, donde tales deflexiones pudieran reducir la distancia.

2.7.5.3 Distancias de seguridad alternativas para tensiones que exceden los 98 kV AC a tierra o 139 kV DC a tierra. Las distancias especificadas en los numerales 2.7.5.1 y 2.7.5.2, pueden ser reducidas en circuitos donde se conocen los factores de sobretensión transitoria de interrupción de las fuentes, pero no deben ser menores a las siguientes:

- **Distancias de seguridad alternativas a templete anclados, alambres de guarda, conductores en posición lateral o vertical.** Las distancias

opcionales de seguridad, no deben ser menores a las distancias de seguridad de los cruces, establecidos por los numerales 2.5.2.2, 2.5.3.3 para las tensiones del conductor correspondientes. Para efectos de este numeral, los templetes anclados y los alambres de guarda deben ser asumidos al potencial de tierra. Las limitaciones propuestas en el numeral 2.7.5.3, deben aplicarse a las distancias de seguridad derivada del numeral 2.5.3.3.

- **Distancia alternativa de seguridad a la superficie de los brazos y estructuras de soporte.**

- *Distancia alternativa de seguridad.*

- o *Calculo básico.* Las distancias de seguridad alternativas deben ser mantenidas bajo las condiciones de carga esperada y no deberán ser menores a las distancias eléctricas o componente eléctrico de la distancia de seguridad (D), calculadas por la siguiente ecuación:

Por conveniencia, las distancias de seguridad para las tensiones de sistemas típicos son mostradas en la (Tabla 31).

$$D = 1,00 \left[\frac{[V * (PU)]a}{500K} \right]^{1,667} b \text{ [m]}$$

Para cuya ecuación las variables indican:

V: Máxima tensión de operación de cresta de AC a tierra o máxima tensión de operación de DC a tierra en kV,

PU: Máximo factor de sobretensión transitoria de conmutación (o maniobra) expresado por la máxima tensión por unidad a tierra y definido como un nivel de sobretensión transitoria de conmutación, para los interruptores que corresponden

a un 98 % de probabilidad que la máxima sobretensión transitoria de conmutación generada por la operación del interruptor no sobrepase este nivel de sobretensión o el máximo nivel esperado de sobretensión transitoria de conmutación generado por otros medios, cualquiera que sea el mayor,

a : 1.15, la tolerancia para las tres desviaciones estándares con soportes de aislador fijo;

 : 1.05, la tolerancia para una desviación estándar con cadenas de balanceo libre;

b : 1.03, la tolerancia para las condiciones atmosféricas no estándares,

K : 1.2, el factor de configuración para la ventana conductor a torre.

o *Corrección atmosférica*. El valor (D) debe ser incrementado 3% por cada 300 m, por encima de 450 m sobre el nivel del mar.

- *Limites*. La distancia de seguridad alternativa no debe ser menor a la distancia de la (Tabla 30) para 169 kV AC. La distancia alternativa de seguridad debe ser inspeccionada para una adecuación de la distancia de seguridad para los trabajadores y será incrementada, en el caso de ser necesario, donde se realicen trabajos en la estructura mientras el circuito esta energizado.

2.7.6 Distancias de seguridad entre circuitos de suministro a diferente clasificación de tensión y ubicados en el mismo brazo de apoyo. Los circuitos de suministro pueden ser mantenidos en el mismo brazo de apoyo (Cruceta) con otro circuito de suministro del siguiente nivel consecutivo de tensión, según la (Tabla 29), sólo bajo una o más de las siguientes condiciones:

2.7.6.1 Si ocupan posiciones en los lados opuestos de la estructura.

2.7.6.2 Si en el brazo del puente o “BRIDGE-ARM”, cruceta o “SIDEARM” (construcción del brazo lateral), la distancia de seguridad no es menor al espacio necesario de escalamiento para la tensión más alta implicada y la establecida para los espacios de escalamiento en el apartado 2.8.

2.7.6.3 Si los conductores de mayor tensión ocupan las posiciones exteriores y los conductores de menor tensión ocupan las posiciones interiores.

Tabla 31. Distancia de seguridad en cualquier dirección desde los conductores de línea hacia los soportes.

Máxima tensión de operación fase a fase (kV)	Factor de sobretensión transitoria de conmutación (por Unidad)	Sobretensión transitoria de conmutación (kV)	Distancia de seguridad	
			Fijos	Balanceo libre al máximo ángulo
			(m)	(m)
242	2,4	474	0,89 ¹	0,89 ¹
	2,6	514	1,00	0,89
	2,8	553	1,14	0,97
	3,0	593	1,27 ²	1,10
	3,2	632	1,27 ²	1,10
362	1,6	473	0,89 ¹	0,89 ¹
	1,8	532	1,07	0,89
	2,0	591	1,27	1,20
	2,2	650	1,50	1,20
	2,4	709	1,73	1,20
	2,5	739	1,85 ²	1,20
550	1,6	719	1,80	1,50
	1,8	808	2,15	1,85
	2,0	898	2,60	2,20
	2,2	988	2,80 ²	2,20
800	1,6	1045	3,3	2,80
	1,8	1176	4,0	2,80
	1,9	1241	4,1 ²	3,8
	2,0	1306	4,1 ²	4,1 ²

Fuente: NESC

¹ Restringido por el numeral 2.7.5.3

² No necesita ser superior a lo especificado en los numerales 2.7.5.1 y 2.7.5.2.

2.7.7 Espaciamiento de conductores: bastidores verticales. Los conductores o cables pueden ser transportados en bastidores verticales o “separate brackets”, de material distinto a la madera colocados verticalmente a un lado de la estructura y unidos fijamente a la misma de una forma segura, permitiendo menor distancia entre los alambres, conductores o cables a la que se especifica en el numeral 2.7.3; si se cumplen todas las siguientes condiciones:

2.7.7.1 La tensión no debe ser mayor a 750 V, excepto cables de suministro y conductores citados en los numerales 2.2.3.1 o 2.2.3.2, los cuales pueden transportar cualquier tensión.

2.7.7.2 Todos los alambres, conductores y cables son de propiedad y mantenidos por la misma empresa de servicio público, salvo por acuerdo entre todas las partes involucradas.

2.7.7.3 Los conductores deben ser del mismo material o materiales, excepto donde se puede utilizar diferentes materiales, si es que las características en cuanto a la flecha, la tensión y la disposición, son tales que el espacio especificado en el numeral 2.7.7.4, sea mantenido bajo todas las condiciones de servicio.

2.7.7.4 El espaciamiento vertical entre conductores, no debe ser menor a los siguientes valores:

Tabla 32. Espaciamento vertical entre los conductores, de acuerdo a la longitud del vano.

Longitud del Vano (m)	Espaciamento vertical entre los conductores (mm)
0 a 45	100
45 a 60	150
60 a 75	200
75 a 90	300

Fuente: NESC

EXCEPCIÓN: El espaciamento vertical puede ser reducido, en donde los conductores están separadamente ayudados por espaciadores intermedios, pero no puede ser menor a 100 mm.

2.7.8 Distancias de seguridad y espaciamientos entre conductores, cables y equipos de comunicación.

2.7.8.1 El espaciamento entre cables mensajeros que soportan cables de comunicación, no deben ser menores a 300 mm excepto por consenso de las partes involucradas.

2.7.8.2 Las distancias de seguridad entre los conductores, cables y equipos de comunicaciones de una empresa de servicio público, no debe ser menor a 100 mm, excepto por consenso entre las partes involucradas.

2.7.9 Distancias de seguridad en cualquier dirección desde los conductores de línea de suministro a antenas de comunicación en el espacio de suministro dispuestas en la misma estructura de soporte.

2.7.9.1 General. Las antenas de comunicación ubicadas en el espacio de suministro deben ser instaladas y mantenidas sólo por personal autorizado y calificado para trabajar en el espacio de suministro.

2.7.9.2 Antena de comunicación*. La distancia de seguridad entre una antena de comunicación que funciona a tensiones por debajo de los 750 V y un conductor de línea de suministro, no debe ser menor al valor dado en la (Tabla 30).

2.7.9.3 Carcasas de equipos que soportan una antena de comunicación. La distancia de seguridad entre una carcasa de equipo que soporte una antena de comunicación y un conductor de línea de suministro, no debe ser menor a los valores dados en la (Tabla 30).

2.7.9.4 Disposición vertical o lateral de conductores y cables de comunicaciones fijados a una antena de comunicación. La distancia de seguridad entre un conductor de línea de suministro y la disposición vertical o lateral de conductores o cables de comunicación fijados a una antena de comunicación, no debe ser menor a los valores dados en el apartado 2.11.

2.8 ESPACIO DE ESCALAMIENTO

Las siguientes recomendaciones son aplicables sólo a las partes de las estructuras en las que los trabajadores deben escalar.

2.8.1 Ubicación y dimensiones.

2.8.1.1 Se proporcionará un espacio de escalamiento que tenga dimensiones horizontales especificadas en el numeral 2.8.5, por donde pase cualquier conductor, brazos de soporte u otras piezas.

2.8.1.2 Se debe proporcionar el espacio de escalamiento sólo por un lado o ángulo del soporte.

* La antena funciona como un conductor rígido de comunicación, con alambrado expuesto vertical o lateral.

2.8.1.3 El espacio de escalamiento debe extenderse verticalmente para que pase cualquier conductor u otra pieza entre los niveles superiores e inferiores del conductor, tal como se especifica en los numerales 2.8.5, 2.8.6, 2.8.7 y 2.8.9, pero pueden levantarse de cualquier otra forma desde cualquier lado o ángulo del soporte a cualquier otro lado o ángulo.

2.8.2 Partes de las estructuras de soporte en el espacio de escalamiento.

Las partes de la estructura de soporte, cuando sean incluidas en un lado o ángulo del espacio de escalamiento, no serán consideradas como obstáculos para el espacio de escalamiento.

2.8.3 Ubicación del brazo de soporte o cruceta con relación al espacio de escalamiento. Los brazos de soporte deberían ser ubicados en el mismo lado del poste.

EXCEPCIÓN. Esta recomendación no se aplica cuando se utilice doble cruceta en cualquier poste o cuando las crucetas de cualquier poste no estén en paralelo.

2.8.4 Ubicación del equipo con relación al espacio de escalamiento.

2.8.4.1 Todos los equipos de suministro y de comunicaciones tales como transformadores, reguladores, condensadores, terminales de cable (cabezas de cable), amplificadores, bobinas de carga, pararrayos, interruptores, etc., cuando se ubiquen por debajo de los conductores u otros accesorios, deberá ser montado fuera del espacio de escalamiento.

2.8.4.2 Todas las partes conductivas expuestas no puestas a tierra de las luminarias y sus soportes, que no están aisladas de las partes que transportan corriente, deben mantenerse a no menos de 500 mm de la superficie de su estructura de soporte.

EXCEPCIÓN 1: Esta distancia puede ser reducida a 125 mm si se ubica en el lado de la estructura opuesto al espacio destinado para el escalamiento.

EXCEPCIÓN 2: No se aplica cuando el equipo es ubicado en la cima del poste o en otra parte vertical de la estructura que no está sujeta a escalamiento.

2.8.5 Espacio de escalamiento entre conductores. El espacio de escalamiento entre conductores no deberá ser menor que las dimensiones horizontales especificadas en la (Tabla 33). Estas dimensiones están orientadas a proporcionar un espacio libre de escalamiento de 600 mm si los conductores que lindan con el espacio de escalamiento que están protegidos con una cubierta protectora aislante instalada temporalmente y determinada para la tensión. Se debe proporcionar espacio de escalamiento tanto a lo largo y a través de la línea y será proyectado verticalmente a una distancia no menor de 1,00 m por encima y debajo de los conductores límites. Cuando los conductores de comunicación se encuentren por encima de los conductores de suministro de más de 8,7 kV a tierra o 15 kV línea a línea, el espacio de escalamiento deberá ser proyectado verticalmente por lo menos a una distancia de 1,50 m sobre los conductores de suministro más altos.

EXCEPCIÓN 1: Esta recomendación no aplica si es una práctica invariable de las empresas el prohibir a los trabajadores trepar más allá de los conductores o equipo de una línea o estructura determinada a menos que los conductores o equipo se encuentren desenergizados y puesto a tierra.

EXCEPCIÓN 2: Para los conductores de suministro transportados en una estructura ubicada en una posición por debajo de las instalaciones de comunicaciones tal como lo establece...el numeral 5.3.1.2..., el espacio de escalamiento no necesita ser mayor de 600 mm sobre dicho espacio de suministro.

EXCEPCIÓN 3: Si los conductores son propios operados o reciben mantenimiento de la misma empresa de servicio público, se puede proporcionar un espacio de escalamiento moviendo temporalmente los conductores de línea, utilizando herramientas para línea energizada.

Tabla 33. Distancia de seguridad horizontal entre conductores que limitan con el espacio de escalamiento*.

Carácter de los conductores que lindan con el espacio de escalamiento	Tensiones de los conductores	Distancia horizontal de seguridad entre los conductores que limitan con el espacio de escalamiento			
		En las estructuras utilizadas únicamente por		En las estructuras utilizadas de manera conjunta	
		Conductores de comunicaciones	Conductores de suministro	Conductores de Suministro por encima de Conductores de comunicación	Conductores de comunicación por encima de Conductores de Suministro ¹
		(m)	(m)	(m)	(m)
1	2	3	4	5	6
1. conductores de comunicación	0 a 50 V	0.60	-	(nota ²)	0.60
	Por encima de 150 V		-	(nota ²)	
2. Cables de suministro que cumplen con el numeral 2.2.3.1	Todas las tensiones	-	-	(nota ²)	
3. Cables de suministro que cumplen con el numeral 2.2.3.2 o 3	Todas las tensiones	-	0,60	0,60	0,75
4. Conductores de línea de suministro y cables de suministro que cumplen con el numeral 2.2.4.	0 a 750 V	-	0,60	0,60	0,75
	750 a 15 kV	-	0,75	0,75	0,75

* Todas las tensiones son entre los dos conductores que limitan el espacio de escalamiento, a excepción de los conductores de comunicaciones en los que se les trata como a tensión a tierra. Cuando los dos conductores están en diferentes circuitos, la tensión entre los conductores será la suma aritmética de las tensiones de cada conductor a tierra para un circuito puesto a tierra o fase a fase para un conductor no puesto a tierra. Véase también el numeral 2.8.5

Tabla 33. Continuación

1	2	3	4	5	6
4. Conductores de línea de suministro y cables de suministro que cumplen con el numeral 2.2.4.	15 kV a 28 kV	-	0,90	0,90	0,90
	28 kV a 38 kV	-	1,00	1,00	
	38 kV a 50 kV	-	1,17	1,17	
	50 kV a 73 kV	-	1,40	1,40	
	Por encima de 73 kV	-	>1,40		

Fuente: NESC

¹ Esta relación de niveles no es deseable y debe ser evitada.

² El espacio de escalamiento debe ser el mismo que el requerido para los conductores de suministro inmediatamente superiores, con una distancia máxima de 0,75 m a excepción del espacio de escalamiento de 0,41 m a través de la línea puede ser empleado para los cables o conductores de comunicación, donde sólo los conductores de suministro al nivel más alto son circuitos secundarios (de 0 a 750 V) que suministran a los faroles marcadores de aeropuertos o vías aéreas o se cruzan sobre la línea de comunicación y están unidos a la parte superior de un poste o artefacto de extensión en la parte superior de un poste.

2.8.6 Espacio de escalamiento en la construcción de una cruceta de derivación o “Buckarm”. Se deberá mantener el ancho total del espacio de escalamiento en la construcción de una cruceta de derivación “buckarm” y deberá extenderse verticalmente en la misma posición como mínimo 1,00 m (o 1,50 m cuando sea necesario según el numeral 2.8.5), por encima y por debajo del límite de cualquier conductor.

Se puede utilizar una cruceta de seis soportes tipo espiga que guarde un espacio entre los mismos soportes de 370 mm, para proporcionar un espacio de escalamiento de 750 mm en el ángulo de un poste de bifurcación omitiendo los soporte tipo espigas de poste en todos los brazos, e insertando soporte tipo espigas a medio camino entre los soportes tipo espigas restantes para dar un espacio de 185 mm, siempre que se cumplan todas las siguientes condiciones:

2.8.6.1 Los circuitos sean menores de 8,7 kV a tierra o 15 kV línea a línea

2.8.6.2 La longitud del vano no exceda los 45 m.

2.8.6.3 Las flechas no excedan de 380 mm, para los cables AWG N° 2 y mayores o 750 mm para cables menores de AWG N° 2.

2.8.6.4 Cada conductor en el extremo de cada brazo es atado al mismo lado de su aislador.

2.8.6.5 El espaciamiento en el siguiente poste no sea menor de 370 mm.

2.8.7 Espacio de escalamiento en paso de conductores no apoyados en el soporte escalable. El ancho total de un espacio de escalamiento debe proporcionar paso de tramos longitudinales y debe extenderse verticalmente en la misma posición de 1,0 m por debajo del tramo a un punto de 1,0 m por encima (o 1,50 m cuando sea necesario según el numeral 2.8.5). El ancho del espacio de escalamiento debe de medirse desde el tramo longitudinal correspondiente. Los tramos longitudinales en los bastidores o los cables en los cables mensajeros, no

son considerados como obstáculos del espacio de escalamiento si es que todos los alambres respectivos están cubiertos con protector de caucho o protegido de alguna otra manera como práctica invariable antes de que los trabajadores escalen los mismos. Esto no se aplica cuando los conductores de comunicación se encuentran sobre los tramos longitudinales correspondientes.

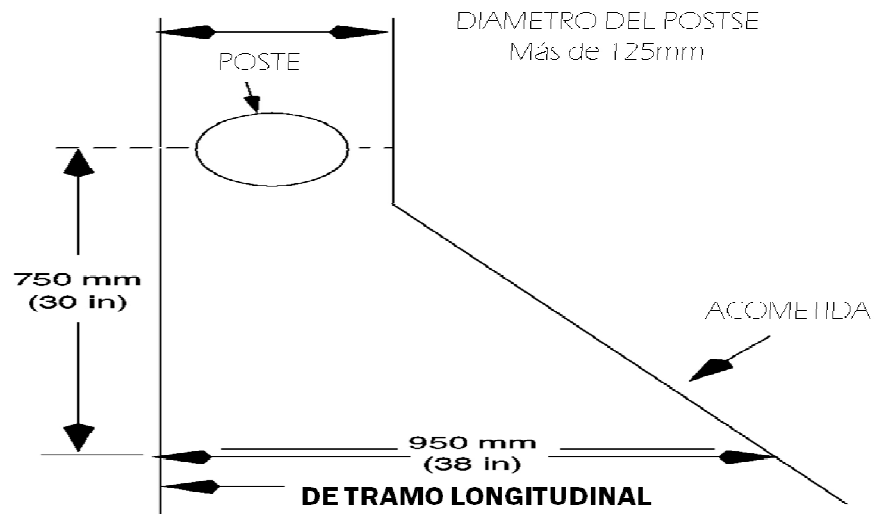
EXCEPCIÓN 1: Si un tramo longitudinal de suministro está localizado en la parte lateral o en el ángulo de la estructura de soporte donde se ha proporcionado un espacio de escalamiento, el ancho del espacio de escalamiento debe ser medido horizontalmente desde el centro de la estructura hasta los conductores de suministro más cercanos en los brazos de soporte, bajo el seguimiento de las dos condiciones siguientes:

- Cuando un tramo longitudinal de suministro consta de conductores expuestos de suministro que transportan no más de 750 V o cables y conductores de suministro que cumplen con el numeral 2.2.3, a todas las tensiones y está sostenido cerca de la estructura por “brackets”, bastidores o soportes tipo espiga cerca de la estructura.
- Cuando los conductores de suministro más cercanos en los brazos de soporte se encuentran en paralelo y en el mismo lado de la estructura como tramo longitudinal y dentro de 1,20 m sobre o por debajo del tramo.

EXCEPCIÓN 2: Para los conductores de suministro transportados en una estructura en posición inferior a las instalaciones de comunicación tal como lo establece el numeral 5.3.1.2, el espacio de escalamiento no necesita ser mayor de 600 mm sobre dicho espacio de suministro.

EXCEPCIÓN 3: Un ramal de acometida con tensión menor de 750 V y que cumple con el numeral 2.2.3, no es considerado como obstáculo del espacio de escalamiento si todos los conductores comprometidos se encuentran cubiertos con un protector de caucho o protegido de alguna otra manera como práctica invariable antes de que los trabajadores pasen trepándolos, siempre y cuando dicha acometida (1) no esté más cerca al tramo longitudinal en el punto de unión que el diámetro del poste más 125 mm medidos horizontalmente y (2) no más cerca de 950 mm medidos horizontalmente hacia el tramo longitudinal en un punto a 750 mm en el tramo medido desde el punto de unión en el poste. Véase la (Figura 15).

Figura 15. Espacio de escalamiento en paso de conductores no apoyados en el soporte escalable*.



LEYENDA:

——— **LÍMITE DEL ESPACIO DE ESCALAMIENTO.**

Fuente: NESC

2.8.8 Espacio de escalamiento de paso de conductores verticales. Los tramos verticales físicamente protegidos mediante una tubería pesada adecuada u otra cubierta protectora y fijada firmemente y unida sin espaciadores a la superficie de la estructura de la línea, no son considerados obstáculos para el espacio de escalamiento.

2.8.9 Espacio de escalamiento cerca de la zona de fijación del conductor. El espacio de escalamiento especificado en la (Tabla 33), debe ser provisto hasta la parte superior de la zona de fijación del conductor al aislador, sin necesidad de ser traspasado.

* Figura ilustrativa del numeral 2.8.7 excepción 3.

2.9 ESPACIO DE TRABAJO

2.9.1 Ubicación de los espacios de trabajo. Se debe proporcionar espacios de trabajo en la parte de escalamiento de la estructura a cada lado de del espacio de escalamiento.

2.9.2 Dimensiones de los espacios de trabajo.

2.9.2.1 A lo largo del brazo de soporte. El espacio de trabajo debe extenderse desde el espacio de escalamiento hasta la posición más alejada del conductor en el brazo de soporte.

2.9.2.2 En ángulo recto al brazo de soporte. El espacio trabajo debe tener las mismas dimensiones que el espacio de escalamiento véase numeral 2.8.5. Estas dimensiones deben ser medidas horizontalmente desde la parte delantera del brazo de soporte.

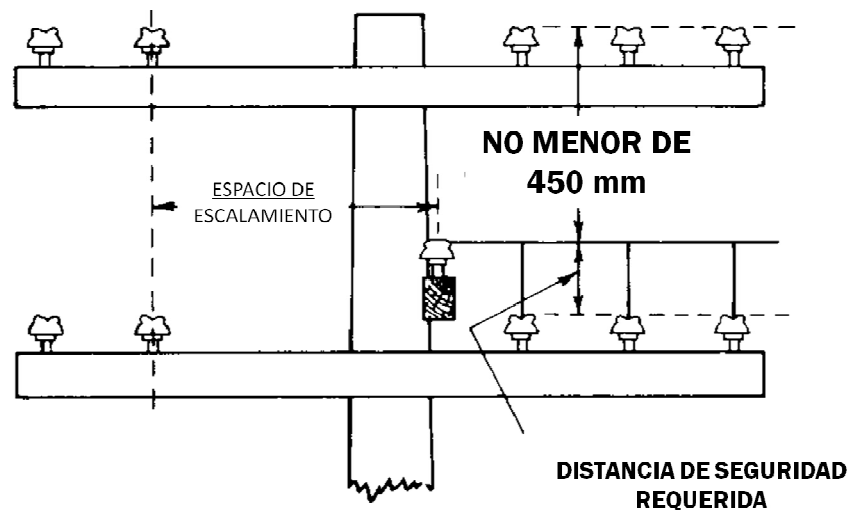
2.9.2.3 Verticalmente. El espacio de trabajo debe tener una altura no menor a la requerida en el apartado 2.7 para la separación vertical de los conductores de línea instalados en diferentes niveles en el mismo soporte.

2.9.3 Ubicación de los conductores verticales y laterales con relación a los espacios de trabajo. Los espacios de trabajo no deberán estar obstruidos por conductores verticales o laterales. Tales conductores deberán estar ubicados al lado opuesto o al lado del escalamiento del poste a una distancia desde el brazo de soporte por lo menos tan grande como el ancho del espacio de escalamiento requerido para los conductores de máxima tensión. Los conductores verticales instalados en una tubería pesada adecuada pueden ser fijados en el lado de escalamiento de la estructura.

2.9.4 Ubicación de las crucetas de derivación “Buckarms” con relación a los espacios de trabajo. Las crucetas de derivación “Buckarms” o de cambio de dirección pueden utilizarse en cualquiera de las siguientes condiciones, siempre y cuando se mantenga el espacio de escalamiento. El espacio de escalamiento puede obtenerse tal como se establece en el numeral 2.8.6.

2.9.4.1 Altura estándar del espacio de trabajo. Se deberá proveer un espacio de trabajo lateral de la altura requerida según la (Tabla 29), entre los conductores que se cruzan o los derivados sujetos en la cruceta de derivación y los conductores principales de la línea. Esto puede cumplirse incrementando el espacio entre los brazos de soporte de línea, tal como se muestra en la (Figura 16).

Figura 16. Obstrucción del espacio de trabajo por un “Buckarm” o cruceta transversal de derivación



Fuente: NESC

2.9.4.2 Altura reducida del espacio de trabajo. Donde ningún circuito sobrepase 8,7 kV a tierra o 15 kV entre líneas y se mantengan las distancias de seguridad del numeral 2.7.2.1, los conductores instalados en las crucetas de derivación o

“Buckarms” pueden tenderse entre los conductores de línea que guarden un espacio vertical normal, aún cuando dichas crucetas de derivación “Buckarms” obstruyan el espacio de trabajo normal, siempre y cuando se mantenga un espacio de trabajo de 450 mm de altura como mínimo ya sea por encima o debajo de los conductores de línea y los conductores de la cruceta de derivación o “Buckarms”. Ver (Figura 16).

EXCEPCIÓN: El espacio de trabajo antes mencionado puede reducirse a 300 mm si las siguientes dos condiciones existen:

- *No más de dos juegos de brazos de línea y crucetas de derivación o “Buckarms” son involucrados.*
- *Las condiciones de trabajo sean seguras, mediante la instalación de protectores de caucho u otros dispositivos adecuados para aislar y cubrir los conductores de línea y el equipo sobre el cual no se esté trabajando.*

2.9.5 Protección del equipo energizado. Las partes del equipo energizado expuestas, tales como interruptores, interruptores automáticos, pararrayos, etc., deben ser cubiertos o protegidos si las siguientes condiciones se presentan:

2.9.5.1 El equipo está ubicado por debajo de la parte superior del soporte del conductor.

2.9.5.2 El equipo está ubicado en la parte de escalamiento de la estructura.

2.9.6 Distancias de seguridad de trabajo desde equipos energizados. Todas las partes de equipos tales como switches, seccionadores, transformadores, pararrayos, luminarias y sus accesorios de soporte, etc., u otras conexiones que pueda requerir operación o ajuste mientras estén energizadas y expuestas, deberán estar dispuestas una respecto a otra (otros equipos, conductores verticales y laterales y partes de la estructura de soporte, incluyendo las plataformas de soporte o miembros estructurales), de forma que durante el ajuste u operación no necesite que ninguna parte del cuerpo del trabajador, incluyendo

las manos se acerque más de lo permitido por los protocolos de mantenimiento propios de la empresa, a cualquier parte o conductor expuesto y energizado.

2.10 DISTANCIA DE SEGURIDAD VERTICAL ENTRE INSTALACIONES DE COMUNICACIÓN Y SUMINISTRO UBICADAS EN LA MISMA ESTRUCTURA

2.10.1 Equipo. El término equipo, para efecto de medición de las distancias de seguridad en este apartado, debe ser tomado como partes metálicas normalmente no energizadas, incluyendo los soportes de metal para cables o conductores y brazos metálicos que se encuentran fijados a los soportes de metal, a una distancia menor de 25 mm a partir de las carcassas de los transformadores o colgadores que no estén puestos a tierra de manera efectiva.

2.10.2 Distancias de seguridad en general. Las distancias de seguridad vertical entre los conductores de suministro y el equipo de comunicaciones, entre los conductores de comunicación y el equipo de suministro y entre el equipo de suministro y comunicaciones deberán ser las que se especifican en la (Tabla 34), a excepción de lo dispuesto en el numeral 2.10.3

2.10.3 Distancias de seguridad para los alambres de suspensión o ménsulas “Brackets”. Los alambres de suspensión (o de vano) o las ménsulas “Brackets” que soporten luminarias, señales de tránsito (semáforos) o conductores de trolebús deberán guardar por lo menos las distancias verticales desde el equipo de comunicaciones establecidas en la (Tabla 35).

2.10.4 Distancia de seguridad para lazos de goteo “Drip loops” en luminarias o ménsulas “Brackets” de señales de tránsito. Si es que un lazo de goteo de los conductores que ingresan a un “Brackets” de luminaria o a un “Brackets” de señales de tránsito desde la superficie de la estructura se encuentra sobre el cable de comunicación, el punto más bajo del lazo de goteo deberá estar como mínimo a 300 mm sobre el cable de comunicación o perno pasante.

EXCEPCIÓN: La distancia de seguridad referida anteriormente puede reducirse a 75 mm si es que el lazo está cubierto con una envoltura no metálica adecuada que se extienda por lo menos 50 mm fuera del lazo.

2.10.5 Zona de seguridad para trabajadores de comunicaciones. La distancia de seguridad especificada en el numeral 2.7.3 y apartado 2.10, crea una zona de seguridad para trabajadores de comunicaciones entre las instalaciones ubicadas en el espacio de suministro y las instalaciones ubicadas en el espacio de comunicaciones, ambas en la misma estructura y en el vano entre las estructuras. Excepto lo permitido por los numerales 2.10.3, 2.10.4 y el apartado 2.11, las instalaciones que no son de suministro, así como las de comunicaciones deben ser ubicadas en la zona de seguridad para trabajadores de comunicación.

Tabla 34. Distancia vertical de seguridad entre los conductores de suministro y equipos de comunicaciones, entre los conductores de comunicación y equipos de suministro, entre los equipos de suministro y de comunicaciones*

Tensión de Suministro (kV)	Distancia de Seguridad Vertical
	(m)
1. Conductor, cable mensajero y soportes puestos a tierra.	0,75
2. De 0 a 8,7	1,00 ¹
3. Mayor de 8,7	1,00 más 0,01 por kV ¹ , por encima de 8,7 kV

Fuente: NESC

¹ Cuando las partes que normalmente no transportan corriente del equipo de suministro están puestos a tierra de manera efectiva y el neutro asociado cumple con el numeral 2.2.5.1 o los cables de suministro cumplen con el numeral 2.2.3.1 (incluyendo los accesorios de soporte o de fijación), son enlazados al cable mensajero de comunicación a ciertos intervalos que cumplen lo establecido en el capítulo 3 en toda el área bien definida y cuando la línea de comunicación está ubicada en niveles inferiores, las distancias de seguridad pueden ser reducidas a 0,75 m.

* Las tensiones son de fase a tierra para los circuitos puestos a tierra de manera efectiva y demás circuitos donde todas las fallas a tierra se han suprimido mediante la desactivación inmediata de la sección de falla, tanto inicialmente como luego de las siguientes operaciones del interruptor. Véase también numeral 2.10.2.

Tabla 35. Distancias de seguridad vertical de los alambres de suspensión y las ménsulas a las instalaciones de comunicación.

Distancias de Seguridad	Que soporten luminarias y señales de tránsito		Que soporten conductores de trolebús	
	No puestos a tierra de manera efectiva	Puestos a tierra de manera efectiva	No puestos a tierra de manera efectiva	Puestos a tierra de manera efectiva
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Por encima de los brazos de soporte de comunicación	500 ¹	500 ¹	500 ¹	500 ¹
Por debajo de los brazos de soporte de comunicación	1000 ³	600	600	600
Por encima de los cables mensajeros que llevan los cables de comunicación	500 ¹	100	300	100
Por debajo de los mensajeros que llevan los cables de comunicación	1000 ⁴	100	300	100
Desde la caja de terminales del cable de comunicación	500 ¹	100	300 ²	100
De los soportes de comunicación, ganchos de accionamiento	410 ¹	100	100	100

Fuente: NESC

¹ Esta puede ser reducida a 300 mm para cualquier vano de alambre o parte metálica de los "brackets" a puntos a 1,0 m o a más de la superficie de la estructura

² Cuando no sea practico obtener una distancia de seguridad de 300 mm desde los cables terminales de las cajas de comunicación, todas las partes de terminales metálicos deben tener la máxima separación posible desde los arreglos o vanos de alambres incluyendo todos los tornillos y pernos de ambas disposiciones.

³ Esta recomendación puede ser reducida a 600 mm para luminarias y señales de tráfico que operan a menos de 150 V a tierra.

⁴ Esta recomendación puede ser reducida a 500 mm para luminarias y señales de tráfico que operan a menos de 150 V a tierra.

2.11 DISTANCIAS DE SEGURIDAD DE INSTALACIONES VERTICALES Y LATERALES DESDE OTRAS INSTALACIONES Y SUPERFICIES EN LA MISMA ESTRUCTURA DE SOPORTE

Los conductores laterales y verticales deben mantener las distancias de seguridad y separaciones requeridas por este apartado desde otras instalaciones o superficies en la misma estructura de soporte.

2.11.1 Generalidades.

2.11.1.1 Los conductores puestos a tierra, los cables de guarda, los conductores neutros que cumplen con el numeral 2.2.5.1, conductores y cables de comunicación aislados, los cables de suministro que cumplen con el numeral 2.2.3.1 los cables de suministro aislados hasta 750 V o los conductos pueden ser ubicados directamente en la estructura de soporte. Estos conductores, alambres, cables y conductos deben estar firmemente fijados a la superficie de la estructura. Los cables que no se encuentren dentro de conductos deben ser instalados de tal manera que se evite la abrasión de los mismos en el punto de fijación.

2.11.1.2 Los conductores de suministro del mismo o siguiente nivel de tensión pueden ser ubicados en el mismo ducto, si cada circuito o conjunto de alambres está encerrado en una cubierta metálica.

2.11.1.3 Los pares de conductores de comunicación en anillos pueden ser unidos directamente a la estructura o al cable mensajero.

2.11.1.4 Los circuitos de suministro aislados de 600 V o menos y que no exceden los 5000 [W] pueden ser ubicados en el mismo cable con los circuitos de control a los cuales están asociados.

2.11.1.5 El termino cubierta no metálica, se refiere a un material diferente al de la chaqueta de un cable, que proporciona una barrera adicional contra el contacto físico.

2.11.2 Ubicación de los conductores verticales o laterales con relación a los espacios de escalamiento, espacios de trabajo y peldaños para escalar. Los conductores verticales y laterales deben estar ubicados de tal manera que no se obstruyan los espacios de escalamiento, los espacios de trabajo laterales entre los conductores de línea en diferentes niveles o que interfieran con el uso seguro de los peldaños para escalar.

EXCEPCIÓN: Esta recomendación no aplica a partes de la estructura, en que los trabajadores no acceden mientras los conductores en cuestión están energizados.

2.11.3 Conductores no contenidos en conductos. Los conductores no contenidos en conductos deben guardar las mismas distancias de seguridad desde los conductos como desde otras superficies de estructuras.

2.11.4 Guarda y protección cerca del suelo.

2.11.4.1 Cuando estén dentro de 2,50 m del suelo u otras áreas fácilmente accesibles al público, todos los conductores y cables deberán ser protegidos.

EXCEPCIÓN: Esta protección puede ser omitida para los conductores puestos a tierra y utilizados para poner a tierra los circuitos o equipos (de comunicaciones o suministro) en una conexión multi-tierras; cables o conductores de comunicación; cables armados; o conductores utilizados únicamente para proteger estructuras contra rayos.

2.11.4.2 Cuando la protección sea necesaria, los conductores y cables deberán ser protegidos con envolturas o conducto que ofrezca una adecuada protección mecánica.

2.11.4.3 Cuando no sea necesaria la protección, los conductores y cables deben ser fijados firmemente a la superficie de la estructura o a las “standoff brackets” (ménsulas separadoras) y ubicadas cuando resulte práctico, en la parte de la estructura que tenga la mínima exposición al daño mecánico.

2.11.4.4 Las protecciones que confinan completamente a los conductores de puesta a tierra del equipo de protección contra rayos, deben ser de material no metálico o deben estar conectados en ambos extremos al conductor de puesta a tierra.

2.11.5 Requerimientos para los conductores verticales y laterales de suministro en las estructuras de la línea de suministro o dentro del espacio de suministro en las estructuras utilizadas de manera conjunta.

2.11.5.1 Distancias de seguridad generales. En general, las distancias de seguridad no deberán ser menores a los valores especificados en la (Tabla 36) o lo establecido por el numeral 2.7.5

2.11.5.2 Casos especiales. Los siguientes requerimientos se aplican sólo a las partes de una estructura a la cual los trabajadores acceden mientras los conductores en cuestión están energizados.

- *Generalidades.* Si los conductores de línea expuestos están a no más de 1,20 m del poste, los conductores verticales deben ser dirigidos en una de las siguientes maneras:
- La distancia de seguridad entre los conductores verticales expuestos y la superficie del poste debe ser no menor que la establecida en la (Tabla 37), dentro de la zona especificada en dicha Tabla.

- Dentro de la zona, sobre y bajo de los conductores de suministro expuestos, tal como se indica en la (Tabla 37), los conductores o cables verticales y laterales fijados a la superficie de la estructura deben ser instalados en un conducto no metálico o protegidos con envoltura no metálica.

EXCEPCIÓN: Este conducto o envoltura puede ser omitida para conductores de puesta a tierra, cable de guarda contra sobretensiones, conductores neutros que cumplen con el numeral 2.2.5.1, cables de suministro que cumplen con el numeral 2.2.3.1 y los cables de suministro de conductor múltiple con chaqueta común hasta 750 V, cuando dichos conductores o cable no se encuentren en el espacio de escalamiento.

Para efectos de esta excepción, un cable de conductor múltiple con chaqueta común es un cable con una chaqueta que encierra el montaje completo del cable.

- **Conductores a luminarias.** En las estructuras utilizadas sólo para las líneas de suministro o en estructuras utilizadas de manera conjunta cuando la ménsula o “bracket” de la luminaria se encuentra a 1,00 m o más sobre todos los accesorios de comunicaciones, los alambres expuestos pueden instalarse desde el brazo de la línea de suministro directamente hacia la cabeza de una luminaria, proporcionando las distancias de seguridad establecidas en la (Tabla 36) y los alambres expuestos deben estar sostenidos de manera segura en ambos extremos.

2.11.6 Requerimientos para los conductores de comunicación vertical y lateral en las estructuras de la línea de comunicación o dentro del espacio de comunicación en las estructuras utilizadas de manera conjunta.

2.11.6.1 Distancias de seguridad desde los conductores de comunicación.

Las distancias de seguridad de los conductores de comunicación verticales y laterales desde otros conductores de comunicación (excepción de aquellos ubicados en el mismo recorrido en anillo) y desde el templete, vano o cabe mensajeros, no deben ser menores que los dados en el numeral 2.6.5.1, véase (Tabla 30).

2.11.6.2 Distancias de seguridad desde conductores de suministro. La distancia de seguridad vertical de los conductores de comunicación aislados verticales y laterales no deben ser menor de 1,00 m desde cualquier conductor de suministro de 8,7 kV o menos; para tensiones superiores a 8,7 se adiciona 10 mm por kV sobre 8,7 a 50 kV. La distancia de seguridad adicional del numeral 2.6.2.2 es aplicable cuando la tensión sobrepasa los 50 kV.

EXCEPCIÓN 1: Puede reducirse a 0,75 m desde los neutros de suministro que cumplen con el numeral 2.2.5.1, cables que cumplen con el numeral 2.2.3.1 y los cables de suministro de fibra óptica, donde el neutro de suministro o cables mensajeros están enlazados equipotencialmente al alambre mensajero de comunicación.

2.11.7 Requerimiento para los conductores de suministro verticales y los cables que pasan a través del espacio de comunicación en las estructuras de línea utilizadas de manera conjunta.

2.11.7.1 Guardas – General. Los conductores o cables de suministro verticales fijados a la estructura deberán ser protegidos con un conducto o cubierta adecuada desde 1,00 m sobre el accesorio de fijación de comunicación más alto, a 1,80 m por debajo del accesorio de fijación de comunicación más bajo.

EXCEPCIÓN 1: Este conducto o cubierta puede omitirse en conductores neutros que cumplen con el numeral 2.2.5.1, cables de suministro que cumplen con el numeral 2.2.3.1 y los cables de suministro de conductor múltiple con chaqueta común de hasta 750 V, cuando tales conductores o cable no se encuentren en el espacio de escalamiento.

Para propósitos de esta excepción, un cable de conductor múltiple con cubierta común es un cable con una cubierta que encierra el montaje completo del cable.

EXCEPCIÓN 2: Este conducto o cubierta puede ser omitido en conductores de suministro de puesta a tierra cuando no existan ningún accesorios de señales de tránsito no puestos a tierra o artefactos de alumbrado público no puestos a tierra ubicados por debajo del accesorio de comunicación, siempre que:

- *El conductor de puesta a tierra esté directamente (metálicamente) conectado a un conductor el cual forma parte de un sistema de puesta a tierra efectiva,*
- *El conductor de puesta a tierra no tenga conexión con el equipo de suministro entre el electrodo de puesta a tierra y el conductor puesto a tierra de manera efectiva, a menos que el*

equipo de suministro tenga conexiones adicionales al conductor puesto a tierra de manera efectiva,

- *El conductor de puesta a tierra esté enlazado a las instalaciones de comunicación puestas a tierra en esa estructura.*

2.11.7.2 Cables y conductores instalados en un conducto o cubierta. Los cables y conductores de todas las tensiones pueden instalarse en un conducto no metálico o cubierta no metálica o en un conducto metálico o cubierta metálica puesta a tierra de acuerdo con el numeral 2.11.1.1. Cuando un conducto metálico o cubierta metálica no está enlazada equipotencialmente a las instalaciones de comunicaciones puestas a tierra en dicha estructura; dicho conducto metálico o cubierta metálica deberá tener una cubierta no metálica, a partir de 1,00 m sobre el accesorio de fijación de comunicación más alto hasta 1,80 m por debajo del accesorio de fijación de comunicación más bajo.

2.11.7.3 Protección cerca de señales de tránsito no puestas a tierra o accesorios de luminaria no puestos a tierra. Los conductores y cables de suministro verticales fijados a la estructura deberán ser protegidos con un conducto no metálico o cubierta no metálica adecuada en las estructuras que soporten un accesorio de señal de tránsito no puesto a tierra o una luminaria no puesta a tierra que esté fijada por debajo del cable de comunicación. El cable deberá estar protegido con una cubierta no metálica a partir de 1,00 m sobre el alambre de comunicación más alto hasta 1,80 m por debajo del accesorio de fijación más bajo del artefacto de luminaria no puesto a tierra o el accesorio de señal de tránsito no puesto a tierra.

2.11.7.4 Acometidas aéreas. Cuando los cables de suministro son utilizados como acometidas aéreas, el punto donde dichos cables salen de la estructura debe ser de por lo menos de 1,00 m sobre el más alto o de 1,00 m debajo del accesorio de fijación de comunicación más bajo. Dentro del espacio de

comunicación todos los empalmes y conexiones de los conductores de fase energizados deben estar aislados.

2.11.7.5 Distancia de seguridad desde los pernos pasantes y otros objetos metálicos. Los tramos verticales de los conductores o cables de suministro deben tener una distancia de seguridad mínima de 50 mm a partir de los pernos expuestos y otros objetos metálicos expuestos fijados a los mismos, que son asociados con el equipo de la línea de comunicación.

EXCEPCIÓN: Los tramos verticales de los conductores de suministro puestos a tierra de manera efectiva pueden tener una distancia de seguridad de 25 mm.

2.11.8 Requerimientos para los conductores de comunicación vertical que pasan a través del espacio de suministro en las estructuras utilizadas de manera conjunta. Todos los tramos verticales de los conductores de comunicación que pasan a través del espacio de suministro deberán ser instalados como sigue:

2.11.8.1 Cables de comunicación con cubierta metálica. Los tramos verticales de los cables de comunicación con cubierta metálica deben estar cubiertos con material no metálico adecuado, cuando pasen por los conductores de línea de suministro. Esta cubierta no metálica debe extenderse desde un punto de 1,00 m sobre el más alto conductor de suministro, a un punto de 1,80 m por debajo del conductor de suministro, pero no necesita extenderse por debajo de la parte superior de cualquier protección mecánica que pueda estar cerca al suelo.

EXCEPCIÓN: La cubierta no es requerida en el espacio de suministro, en estructuras de soporte metálicas o de concreto.

2.11.8.2 Conductores de comunicación. Los tramos verticales de los conductores de comunicación aislados deberán estar cubiertos con material no metálico adecuado, en la medida que sea necesario para los cables de

comunicación con cubierta metálica, cuando dichos conductores atraviesen conductores de suministro.

EXCEPCIÓN: La cubierta no es requerida en el espacio de suministro en estructuras de soporte metálicas o de concreto.

2.11.8.3 Conductores de puesta a tierra de comunicación. Los conductores de puesta a tierra de comunicación verticales deben ser cubiertos con un material no metálico adecuado entre los puntos como mínimo 1,80 m por debajo y 1,00 m por encima de cualquier conductor de línea de suministro por donde pasan.

EXCEPCIÓN 2: La cubierta no es requerida en el espacio de suministro donde las estructuras de soporte son metálicas o de concreto.

2.11.8.4 Distancia de seguridad desde los pernos pasantes y otros objetos metálicos. Los tramos verticales de los conductores o cables de comunicación deben tener una distancia de seguridad de un octavo de la circunferencia del poste, pero no menos de 50 mm desde los pernos pasantes expuestos y otros objetos metálicos expuestos fijados a los mismos, que se encuentran asociados con el equipo de la línea de suministro.

EXCEPCIÓN: Los tramos verticales de los cables de comunicación puestos a tierra de manera efectiva pueden tener una distancia de seguridad de 25 mm.

2.11.9 Palanca de maniobra. Está permitido que las palancas de maniobra de switches aisladas o puestas a tierra de manera efectiva, pasen a través del espacio de comunicación, pero deben estar ubicadas fuera del espacio de escalamiento.

2.11.10 Reglas adicionales para ménsulas separadoras o “Standoff Bracket”.

2.11.10.1 Las ménsulas separadoras o “Standoff Bracket” pueden utilizarse para sostener conductos metálicos. Es necesario un aislamiento adecuado del cable

para el servicio pretendido; no se debe utilizar conducto no metálico para satisfacer los requerimientos básicos de aislamiento.

2.11.10.2 Las ménsulas separadoras o “Standoff Bracket” pueden utilizarse para sostener los siguientes tipos de cable dentro de una chaqueta o envoltura externa simple (sólo cable sin conducto):

- Comunicación
- Suministro, referido en el numeral 2.2.3.1 (a cualquier tensión)
- Suministro menor de 750 V

Tabla 36. Distancia de seguridad vertical y lateral de conductores expuestos (desnudos)*.

Distancia de seguridad de conductores verticales y laterales expuestos	De 0 a 8,7 kV (mm)	Más de 8,7kV a 50 kV (mm)	Más 50 kV ⁴ (mm)
Desde las superficies de los soportes	75 ^{1,2}	75 más 5 por kV en exceso de 8,7 kV	280 más 5 por kV sobre 50 kV
Desde los alambres de suspensión, mensajeros y retenidas ⁵	150	150 más 10 por kV en exceso de 8.7 kV ³	580 más 10 por kV sobre 50 kV ³

Fuente: NESC

¹ Un conductor neutro que cumple el numeral 2.2.5.1, puede ser unido directamente a la superficie de la estructura.

² Para circuitos de suministro de 0 a 750 V, estas distancias de seguridad pueden reducirse a 25 mm.

³ El multiplicador puede ser reducido a 6,5 mm/kV para templetes anclados.

⁴ La distancia de seguridad adicional para tensiones que sobrepasan los 50 kV especificado en la (Tabla 36), deberán incrementarse en 3% por cada 300 m en exceso de los 1 000 m sobre el nivel del mar.

* Tensión del circuito fase a fase. Véase también los numerales 2.11.5.1 y 2.11.5.2

⁵ Estas distancias de seguridad pueden reducirse en no más de 25% para un templete aislado, con tal que se mantenga la distancia de seguridad total a piezas metálicas del templete o terminación del cable o a cables del templete. La distancia de seguridad para una parte aislada de un templete entre dos aisladores, puede ser reducida en no más de 25% con tal que se mantenga la distancia de seguridad total a la parte aislada del templete.

Tabla 37. Distancia de seguridad entre los conductores verticales expuestos y la superficie del poste*.

Tensión nominal (kV)	Distancia por encima y por debajo de los conductores de suministro abiertas donde se aplican holguras (m)	Distancia de seguridad entre el conductor vertical y la superficie de polo (mm)
0 a 22	1,8	480
22 a 30	1,8	560
30 a 50	1,8	760

Fuente: NESC

* Las tensiones son de fase a tierra para circuitos conectados a tierra de manera efectiva y aquellos otros circuitos donde todas las fallas a tierra son eliminadas por la pronta desenergización de la sección de falla, tanto inicialmente como después de las operaciones subsiguientes del interruptor.

3. SISTEMA DE PUESTA A TIERRA EN INSTALACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO [1], [2], [3], [4], [5], [6]

3.1 VISIÓN GENERAL

Las puestas a tierra son esenciales en las instalaciones eléctricas de todo nivel de tensión debido a que estas brindan solución a dos problemas reales: la seguridad de las personas y la seguridad de los equipos.

En efecto un inadecuado diseño, construcción o instalación de una puesta a tierra puede traducirse en choques eléctricos, situación causal de serias lesiones y hasta la muerte a las personas que las manipulen y/o simplemente a aquellas personas que realicen un contacto accidental con estas. De igual manera, la aparición de sobretensiones afecta el aislamiento y vida útil de los equipos.

En otras palabras los sistemas de puesta a tierra se diseñan, construyen e instalan con el fin de evacuar corrientes provenientes de fallas en los sistemas de potencia, cargas estáticas o descargas eléctricas atmosféricas, sin que se produzcan riesgos para las personas y/o para los equipos.

El Reglamento (RETIE) en su Art 15º, justifica las puestas a tierras en las instalaciones eléctricas, así:

Los objetivos de un sistema de puesta a tierra (SPT) son. La seguridad de las personas, la protección de las instalaciones y la compatibilidad electromagnética.

Las funciones de un sistema de puesta a tierra son:

- Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos.
- Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas.
- Servir de referencia común al sistema eléctrico.
- Conducir y disipar con suficiente capacidad las corrientes de falla, electrostática y de rayo.

- Transmitir señales de RF en onda media y larga.
- Realizar una conexión de baja resistencia con la tierra y con puntos de referencia de los equipos¹.

El propósito de este capítulo es ahondar en los requerimientos de puesta a tierra establecidos por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas -RETIE- para los procesos de suministro eléctrico, con la adopción de parámetros y criterios técnicos de seguridad planteados en los códigos -NESC-, -NTC 2050- y estándares afines. Algunos conceptos y palabras necesitarán de una definición, en tal evento diríjase al Glosario, donde se señalan algunas definiciones de interés.

Con el fin de abarcar el contenido de una manera didáctica y fácil de seguir, se ha dividido el presente tema, en tres grandes grupos a saber:

Primero se establecen los REQUISITOS GENERALES donde se pretende indicar los requerimientos más universales que deben cumplir dichos sistemas en este tipo de instalaciones. Luego, se detallarán un amplio rango de parámetros y criterios, agrupados en lo que aquí se denominarán: PARÁMETROS Y CRITERIOS FÍSICOS DE LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA E INSTALACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA, en instalaciones de suministro eléctrico.

En lo sucesivo, todas las partes de este capítulo donde se encuentre texto en letra cursiva acotada con “*comillas*”, significa que ese fue extraído textualmente del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas -RETIE-.

3.2 REQUISITOS GENERALES

Toda instalación eléctrica cubierta por el Reglamento RETIE,

¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Resolución No. 181294. Bogotá, D.C: 6 Agosto de 2008.

“excepto donde se indique expresamente lo contrario, debe disponer de un Sistema de Puesta a Tierra (SPT), de tal forma que cualquier punto del interior o exterior, normalmente accesible a personas que puedan transitar o permanecer allí, no estén sometidos a tensiones de paso, de contacto o transferidas, que superen los umbrales de soportabilidad del ser humano cuando se presente una falla”.

“La exigencia de puestas a tierra para instalaciones eléctricas cubre el sistema eléctrico como tal y los apoyos o estructuras que ante una sobretensión temporal, puedan desencadenar una falla permanente a frecuencia industrial, entre la estructura puesta a tierra y la red”².

3.2.1 Diseño del sistema de puesta a tierra. El diseño del sistema de puesta a tierra en instalaciones de suministro eléctrico debe cumplir con lo estipulado en los numerales del Capítulo 1 que le apliquen; además de las que a continuación se pautan:

“Para efectos del diseño de una puesta a tierra de subestaciones se debe calcular las tensiones máximas admisibles de paso, de contacto y transferidas, las cuales deben tomar como base una resistencia del cuerpo de 1000 Ω y cada pie como una placa de 200 cm² aplicando una fuerza de 250N”.

“En todas las subestaciones se deben calcular las tensiones de paso, contacto y transferidas, asegurando que no se exponga a riesgo a personas con tensiones por encima del umbral de soportabilidad”.

“El diseñador de sistemas de puesta a tierra para centrales de generación, líneas de transmisión de alta y extra alta tensión y subestaciones, deberá comprobar mediante el empleo de un procedimiento de cálculo reconocido por la práctica de la ingeniería actual, que los valores máximos de las tensiones de paso y de contacto a que pueden estar sometidos los seres humanos, no superen los umbrales de soportabilidad”.

“El operador de red debe entregar a los diseñadores de un proyecto, el valor de la máxima corriente de falla a tierra esperada en el nodo respectivo”³.

3.2.2 Máximos valores de tensión aplicable a un ser humano. La máxima tensión aplicable o de contacto a un ser humano en la instalación no debe superar los valores dados en la siguiente Tabla:

² Ibíd.

³ Ibíd.

Tabla 38. Máxima tensión aplicable a un ser humano*.

Tiempo de despeje de la falla	Máxima tensión de contacto admisible (RMS A.C) según IEC para 95% de la población. (Público en general)	Máxima tensión de contacto admisible (RMS A.C) según IEEE para 50 kg (Ocupacional)
Mayor a dos segundos	50 voltios	82 voltios
Un segundo	55 voltios	116 voltios
700 milisegundos	70 voltios	138 voltios
500 milisegundos	80 voltios	164 voltios
400 milisegundos	130 voltios	183 voltios
300 milisegundos	200 voltios	211 voltios
200 milisegundos	270 voltios	259 voltios
150 milisegundos	300 voltios	299 voltios
100 milisegundos	320 voltios	366 voltios
50 milisegundos	345 voltios	518 voltios

Fuente: RETIE.

$$\text{Máxima tensión de contacto} = \frac{116}{\sqrt{t}} [V] \text{ A.C}$$

3.2.3 Máximos valores de resistencia de puesta a tierra. El sistema de puesta a tierra deberá contar con unos valores de resistencia a tierra; impuestos por el - RETIE- . Véase la (Tabla 39).

Tabla 39. Valores de referencia para resistencia de puesta a tierra.

APLICACIÓN	VALORES MÁXIMOS DE RESISTENCIA DE PUESTA A TIERRA [Ω]
Estructuras de líneas de transmisión o torrecillas metálicas de distribución con cable de guarda.	20
Subestaciones de alta y extra alta tensión	1
Subestaciones de media tensión.	10
Protección contra rayos.	10
Neutro de acometida en baja tensión.	25

Fuente: RETIE

* La columna dos aplica a sitios con acceso al público en general. La columna tres aplica para instalaciones de media, alta y extra alta tensión, donde se tenga la presencia de personal que conoce el riesgo y está dotado de elementos de protección personal. Para el cálculo se tuvieron en cuenta los criterios establecidos en la IEEE 80, tomando como base la siguiente ecuación, para un ser humano de 50 kilos.

3.3 PARÁMETROS Y CRITERIOS FÍSICOS DE LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

Los sistemas de puesta a tierra están constituidos principalmente por: conductores del electrodo de puesta a tierra, conductores de protección o de puesta a tierra de equipos y electrodos de puesta a tierra. A continuación, se detallarán los requerimientos físicos esenciales de cada uno de los ya mencionados elementos de un sistema de puesta a tierra:

3.3.1 Electrodo de puesta a tierra.

3.3.1.1 Tipos y materiales del electrodo de puesta a tierra. Los electrodos de puesta a tierra deben cumplir con los siguientes requisitos adoptados de las normas IEC 60364-5-54, BS 7430, AS 1768, UL 467, UNESA 6501F y NTC 2050” y listados en la (Tabla 40)⁴.

Tabla 40. Requisitos para electrodos de puesta a tierra*.

Tipo de electrodo	Materiales	Dimensiones mínimas			
		Diámetro mm	Área mm ²	Espesor mm	Recubrimiento mm
Varilla	Cobre	12,7			
	Acero inoxidable	10			
	Acero galvanizado en caliente	16			70
	Acero con recubrimiento electrodepositado de cobre	14			100
	Acero con recubrimiento total en cobre	15			2000
Tubo	Cobre	20		2	
	Acero inoxidable	25		2	
	Acero galvanizado en caliente	25		2	55

⁴ Ibíd.

Tabla 40. Continuación

Tipo de electrodo	Materiales	Dimensiones mínimas			
Fleje	Cobre		50	2	
	Acero inoxidable		90	3	
	Cobre cincado		50	2	40
Cable	Cobre o cobre estañado	1,8 para cada hilo	50		
	Acero galvanizado en caliente	1,8 para cada hilo	70		
Placa	Cobre		20000	1,5	
	Acero inoxidable		20000	6	

Fuente: RETIE.

“El espesor efectivo de los recubrimientos exigidos en la (Tabla 40), en ningún punto debe ser inferior a los valores indicados”.

“La puesta a tierra debe estar constituida por uno o varios de los siguientes tipos de electrodos: Varillas, tubos, placas, flejes o cables”.

“No se permite el uso de aluminio en los electrodos de las puestas a tierra”.

“Los fabricantes de electrodos de puesta a tierra deben garantizar que la resistencia a la corrosión del electrodo, sea de mínimo 15 años contados a partir de la fecha de instalación. Para certificar este requisito se podrá utilizar el método de la inmersión en cámara salina durante 1000 horas o usando muestras de suelo preparadas en laboratorio, utilizando arena lavada, greda limpia u otro medio uniforme conocido en electrolitos de solución ácida débil en concentración, que permita simular los suelos más corrosivos donde se prevea instalar los electrodos de acuerdo con la norma ASTM G 162 o la norma ASTM G 1”.

“El electrodo tipo varilla o tubo debe tener mínimo 2,4 m de longitud; además, debe estar identificado con la razón social o marca registrada del fabricante y sus dimensiones; esto debe hacerse dentro los primeros 30 cm desde la parte superior”.

“Se podrán utilizar electrodos de cable de acero galvanizado, siempre que se garanticen las condiciones de seguridad establecidas en el Reglamento”.

El National Electrical Safety Code puntualiza las características físicas y de disposición que pueden llegar a tener algunos tipos de electrodos de puesta a tierra para ser usados en los sistemas de puesta a tierra; categorizándolos en dos grandes grupos a saber:

- **Electrodos existentes.** Los electrodos existentes consisten en conductores separados, instalados para propósitos diferentes a los de puesta a tierra, entre los que se pueden encontrar:
 - *Sistemas de tuberías metálicas de agua.* Amplios sistemas subterráneos de tuberías metálicas de agua fría pueden ser usados como electrodos de puesta a tierra*.

EXCEPCIÓN: los sistemas de agua no metálicos, tuberías que no transportan la corriente o con juntas aislantes, no son adecuadas para el uso como electrodo de puesta a tierra.

- *Sistemas locales.* Pueden usarse, como electrodos de puesta a tierra las tuberías metálicas enterradas y cercadas de agua fría conectadas a pozos que tienen baja medida de resistencia a tierra**.
- *Barras de acero fundidas en concreto como refuerzo de una construcción.* Un efectivo y aceptable tipo de electrodo de puesta a tierra, son las barras de acero fundidas en concreto y en bases de hormigón, que no son aisladas del contacto directo con tierra y que se extiende a por lo menos 900 mm por debajo del nivel del terreno***.
- **Electrodos fabricados o diseñados para puesta a tierra.** Los electrodos fabricados deberán en la medida de lo posible penetrar permanentemente niveles de humedad. Los electrodos fabricados deben ser de metal o combinación de metales, que no se corroan excesivamente bajo las

* *Tales sistemas normalmente tienen muy baja resistencia a tierra y han sido usados ampliamente en el pasado. Cuando son fácilmente accesibles, estos son considerados el tipo de electrodos por preferencia.*

** *Debe tenerse cuidado para asegurar que todas las partes que podrían ser desconectados están unidas de manera efectiva.*

*** *Donde las varas de refuerzo en concreto no son conectadas adecuadamente a la estructura de metal por encima del concreto y la estructura es sujeta a descargas de corriente a tierra, hay probabilidad de riesgo eléctrico al intervenir el concreto a la búsqueda de tierra, (pasando corriente por el concreto).*

condiciones esperadas en su vida de servicio. A continuación se detallan algunos electrodos fabricados o diseñados para puesta a tierra.

Es preciso mencionar que toda la superficie exterior de los electrodos fabricados deberá ser conductiva libre de pinturas, esmaltes u otros recubrimientos de tipo aislante.

- *Varillas clavadas.*

- o Las varillas clavadas pueden ser seccionales. El largo total deberá no ser menor que 2,45 m. Las varillas de hierro o acero deben tener una dimensión seccional no menor de 15 mm. Los revestimiento de cobre o varillas de revestimiento en acero inoxidable deben tener una dimensión seccional de no menos que 12 mm.
- o Varillas más largas o múltiples varillas pueden ser usadas para reducir la resistencia de la tierra. El espaciamiento entre múltiples varillas no debería ser inferior a 1,8 m.

EXCEPCIÓN: otras dimensiones o configuraciones pueden ser usadas si son soportadas adecuadamente por estudios de ingeniería calificados.

- o La profundidad clavada no deberá ser menor a 2,45 m. El extremo superior debe ser a ras o por debajo del nivel del suelo, a menos que se proteja adecuadamente.

EXCEPCIÓN 1: donde se encuentre una roca en el fondo, la profundidad clavada puede ser menor a 2,45 m u otros tipos de electrodos pueden ser utilizados.

EXCEPCIÓN 2: cuando estén contenidos dentro de un equipo pad-mounted, baúles, cajas de inspección o recintos similares, la profundidad clavada puede ser reducida a 2,3 m.

- *Alambres, bandas o laminas enterradas.* En zonas de alta resistividad o superficies rocosas o donde se requiera más baja resistencia que la alcanzada con varillas enterradas, una o más de los siguientes electrodos puede ser de más utilidad:
 - o *Alambre.* Alambres desnudos de 4 mm de diámetro o más, que son adaptados para estar en contacto directo con el terreno y están enterrados a una profundidad no menor a 450 mm, de longitud total no inferior a 30 m, medidos aproximadamente rectos, constituyen un aceptable electrodo fabricado (a menudo designado como un contrapeso). El alambre puede ser de una sola longitud o puede ser de varias longitudes conectadas a los extremos o a algún punto hacia afuera de los terminales. El alambre puede tomar la forma de una malla con varios cables paralelos espaciados en forma de dos dimensiones, como una cuadrícula.

EXCEPCIÓN 1: donde se encuentre una roca en el fondo, la profundidad enterrada puede ser menor a 450 mm.

EXCEPCIÓN 2: otras longitudes o configuraciones pueden ser usadas si son adecuadamente soportadas por estudios de ingeniería calificados.

- o *Bandas o pletinas.* Bandas de metal no menor a 3,0 m, en la longitud total (dos lados) superficie no menor a 0,47 m² enterrados en el suelo a una profundidad no menor a 450 mm constituyen un aceptable electrodo fabricado. Las bandas de material metálico ferroso deberán no ser menores a 6 mm en espesor y aquellas de material metálico no ferrosos, no deben ser menores a 1,5 mm*.
- o *láminas.* láminas de metal que no tienen menos de 0,185 m² en superficie expuesta al suelo y a una profundidad no menor a 1,5 m, constituyen un aceptable electrodo fabricado. Las láminas de material metálico ferroso

* Los electrodos de bandas son frecuentemente útiles en zonas rocosas, donde solo formas irregulares de zanjas se pueden excavar.

deberán ser mayores de 6 mm en espesor y aquellas de material metálico no ferroso deberán ser mayores a 1,5 mm de espesor.

- *Placas en la base del poste y alambre enrollado.* En áreas de muy baja resistividad de suelo, hay dos tipos de configuración de electrodos que pueden proporcionar efectiva funcionalidad como electrodos diseñados de puesta a tierra, estos son: placas en la base del poste y alambre enrollado; sin embargo, son inadecuadas en otras locaciones.
 - o *Placas tipo Pole-Butt (placas en la base del poste).* Una placa en la base de un poste de madera, posiblemente doblado alrededor de la base del poste, puede ser considerado un electrodo de puesta a tierra en lugares donde la resistividad del terreno es baja. Las placas deberán ser no menores a 6 mm de grosor si son de metal ferroso y no menor a 1,5 mm de grosor si son de metal no ferroso. Además, el área de la placa expuesta al suelo debe no ser menor a 0,046 m².
 - o *Alambre enrollado.* Los electrodos fabricados pueden ser de alambre fijado al poste previamente a la puesta o montaje del mismo. El alambre debe ser de cobre u otros metales que no se corroan excesivamente bajo las condiciones existentes y debe tener una longitud expuesta (desnuda) debajo del nivel del suelo no menor de 3,7 m, dicho alambre no debe tener un área menor a (AWG N° 6).

Tanto las placas tipo Pole-Butt y los alambres enrollados pueden ser considerados como electrodos fabricados de puesta a tierra para*:

* Donde se haya demostrado tener suficiente baja resistencia a tierra

- o Los cables mensajeros que sean apropiados como conductores de puesta a tierra del sistema (conectado a tierra como mínimo cada 400 m).
- o Una estructura de soporte no metálica.
- o Los sistemas con múltiples puestas a tierra.
- o Los circuitos primario y secundario que utilizan un sólo conductor como neutro común (conectado a tierra como mínimo cada 400 m).

Excepción: no deben ser considerados como el único electrodo de puesta a tierra en el lugar del transformador.

- *Cable con neutro concéntrico.* Los sistemas que emplean de manera extensa cables enterrados desnudos con neutro concéntricos (30 m de longitud mínima) en contacto con la tierra, pueden emplear el neutro concéntrico como un electrodo de puesta a tierra. El neutro concéntrico puede ser cubierto con una chaqueta semiconductora que tenga una resistividad radial no mayor a 100 [ohm/m] y que permanezca estable en servicio. La resistividad radial del material de la cubierta, es el valor calculado a partir de mediciones en una unidad de longitud del cable, de la resistencia entre el neutro concéntrico y un medio exterior conductivo. La resistividad radial es igual a la resistencia de una unidad de longitud, por el área superficial de la cubierta dividida por el espesor promedio de la cubierta sobre el conductor neutro. Todas las dimensiones están expresadas en metros m.
- *Electrodos embebidos en concreto**. Un cable metálico, varilla, etc., embebido(a) en concreto, que no es aislado(a) del contacto directo con la

* La más baja resistencia por unidad de la longitud del cable, resultará de la instalación sin curvatura del cable. El contorno del concreto no necesita ser regular, puede ajustarse a una situación irregular. Los electrodos encerrados en concreto son frecuentemente más efectivos que las varillas clavadas o placas enterradas directamente a tierra.

tierra, debe constituir un aceptable electrodo a tierra. La profundidad del concreto debajo del piso terminado no deberá ser menor a 300 mm, siendo una profundidad de 750 mm la recomendada.

El cable no debe tener un área inferior a (AWG N° 4) si es en cobre o 9 mm de diámetro o (AWG N°1/0) si es acero. Su longitud no debe ser menor a 6,1 m y debe permanecer completamente embebida en el concreto, excepto para la conexión externa. El conductor debe colocarse tan recto como sea posible.

Los elementos de metal pueden estar compuestos de un número de longitudes más cortas, formando un arreglo dentro del concreto y conectados entre sí (por ejemplo, el sistema de refuerzo en la base de una estructura o cimiento estructural).

EXCEPCIÓN: otras longitudes de cable o configuraciones pueden ser usadas si son adecuadamente soportadas por estudios de ingeniería calificados.

3.3.2 Conductor de protección o de puesta a tierra de equipos.

3.3.2.1 Tipos y materiales del conductor de protección. El código eléctrico colombiano (NTC 2050) determina, que el conductor de puesta a tierra de equipos instalado con los conductores del circuito o encerrado con ellos debe ser uno de los siguientes tipos o combinación de varios de ellos:

- Un conductor de cobre u otro material resistente a la corrosión.
- Un tubo conduit de metal rígido.
- Un tubo conduit metálico intermedio.
- Una tubería metálica eléctrica.
- Un tubo conduit de metal flexible, si tanto el tubo como sus accesorios están certificados para puesta a tierra.
- La armadura de un cable de tipo AC.

- El blindaje de cobre de un cable con recubrimiento metálico y aislamiento mineral.
- El blindaje metálico o la combinación de blindaje metálico y conductores de puesta a tierra en cables de tipo MC.
- Las bandejas portacables, tal como se permiten en los Artículos 318-3.c) y 318-7 del Código Eléctrico Colombiano.
- Las armaduras de los buses de cables tal como permite el artículo 365-2.a) de la NTC 2050.
- Otras canalizaciones metálicas con continuidad eléctrica, certificadas para puestas a tierra.

3.3.2.2 Selección del calibre.

- *Baja tensión.* El conductor de protección o de puesta a tierra de equipos para baja tensión, debe seleccionarse haciendo uso de la (Tabla 41), así:

Tabla 41. Calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones y equipos

Corriente nominal o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorrientes en el circuito, antes de los equipos, tubos conduit, etc. (A)	Sección transversal			
	Alambre de cobre		Alambre de aluminio o de aluminio revestido de cobre	
	mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil
1	2	3	4	5
15	2,08	14	3,30	12
20	3,30	12	5,25	10
30	5,25	10	8,36	8
40	5,25	10	8,36	8
60	5,25	10	8,36	8
100	8,36	8	13,29	6
200	13,29	6	21,14	4
300	21,14	4	33,62	2
400	26,66	3	42,20	1

Tabla 41. Continuación

1	2	3	4	5
500	33,62	2	53,50	1/0
600	42,20	1	67,44	2/0
800	53,50	1/0	85,02	3/0
1 000	67,44	2/0	107,21	4/0
1 200	85,02	3/0	126,67	250 kcmil
1 600	107,21	4/0	177,34	350 kcmil
2 000	126,67	250 kcmil	202,68	400 kcmil
2 500	177,34	350 kcmil	304,02	600 kcmil
3 000	202,68	400 kcmil	304,02	600 kcmil
4 000	253,25	500 kcmil	405,36	800 kcmil
5 000	354,69	700 kcmil	608,04	1 200 kcmil
6 000	405,36	800 kcmil	608,04	1 200 kcmil

Fuente: NTC 2050

- *Media, alta y extra alta tensión. “El conductor de protección o de puesta a tierra de equipos para media tensión, alta tensión y extra alta tensión, debe seleccionarse de forma tal que la temperatura del conductor no supere la temperatura del aislamiento de los conductores activos alojados en misma canalización, tal como se establece en el capítulo 9 de la IEEE 242”⁵.*

El capítulo 9 de la IEEE 242 indica que cualquier aumento de temperatura por una falla a tierra debe ser absorbida por el metal del conductor, sin que se supere la temperatura del material aislante de los conductores activos alojados en la misma canalización; el aumento de temperatura es función del tamaño del conductor metálico, la magnitud de la corriente de falla y el tiempo del flujo de corriente de falla. Estas variables son relacionadas por las siguientes ecuaciones empíricas:

$$\left(\frac{I}{CM}\right)^2 (tF_{ac}) = 0,0297 \log_{10} \frac{T_f + 234}{T_o + 234} \text{ Cobre;}$$

$$\left(\frac{I}{CM}\right)^2 (tF_{ac}) = 0,0125 \log_{10} \frac{T_f + 228}{T_o + 228} \text{ Aluminio.}$$

⁵ IEEE Std. 242-2001, Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial Power Systems.

Para cuyas ecuaciones, las variables son:

T_o : es la temperatura inicial (entre 60°C y 125°C aproximadamente según material aislante).

T_f : es la temperatura final (entre 150°C y 250°C aproximadamente según material aislante).

3.3.2.3 Calibres mínimos específicos. Algunos conductores de protección o de puesta a tierra de equipos utilizados para la puesta a tierra de los circuitos secundarios para transformadores de medida, descargadores de sobretensión, canalizaciones, templetes entre otros, deben cumplir con un área mínima determinada, así como se exponen a continuación:

- El conductor de puesta a tierra para casos de instrumentación y circuitos secundarios para transformadores de medida, no debe ser menor a los conductores con área (AWG N° 12) en cobre o un equivalente.
- Los conductores de puesta a tierra para descargadores de sobretensión deberán tener una adecuada capacidad de corriente en corto tiempo, bajo las condiciones de sobrecorriente causadas por conmutación o descarga eléctrica. Los conductores de puesta a tierra de un descargador de sobretensión no deben ser menor que (AWG N° 6) en cobre o (AWG N° 4) en aluminio.

EXCEPCIÓN: Los conductores individuales de puesta a tierra del descargador de sobretensión pueden ser cables de acero con enchapado en cobre o aluminio, si estos tienen una conductividad superior al 30 % de la conductividad de un cable sólido de cobre o aluminio del mismo diámetro respectivamente.

- Los conductores de puesta a tierra para equipos, canalizaciones, cables mensajeros, templetes y otros encerramientos metálicos de cables deben tener

una capacidad de corriente en corto tiempo adecuada para permitir la corriente de falla y el tiempo de operación de los dispositivos del sistema de protección. En caso de ausencia o falta de protección de sobrecorriente, la capacidad de corriente del conductor de puesta a tierra debe ser determinado por el diseño y condiciones de operación del circuito, pero no debe ser menor de (AWG N° 8) en cobre.

- Se pueden usar cables de acero con áreas no menores a WG N° 5 como conductor de puesta a tierra para cualquier configuración de cerca.

3.3.3 Conductor del electrodo de puesta a tierra o conductor a tierra.

3.3.3.1 Tipos y materiales del conductor a tierra. El conductor del electrodo de puesta a tierra o conductor a tierra, puede utilizar además del cobre otros materiales conductores o combinación de ellos, siempre que se garantice su protección contra la corrosión durante la vida útil de la puesta a tierra y la resistencia del conductor no comprometa la efectividad de la puesta a tierra.

Excepción: No deben ser enterrados conductores a tierra en aluminio.

3.3.3.2 Selección del calibre.

- *Baja tensión.* Tomando como base el Código Eléctrico Colombiano, el conductor a tierra en baja tensión, no debe ser menor a lo especificado en la (Tabla 42):

Tabla 42. Conductor del electrodo de puesta a tierra para sistemas en AC.

Sección Transversal del mayor conductor de acometida o su equivalente para conductores en paralelo				Sección transversal (Calibre) del conductor al electrodo de puesta a tierra			
Cobre		Alambre de aluminio o de aluminio revestido de cobre		Cobre		Alambre de aluminio o de aluminio revestido de cobre	
mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil
33,62 o menor	2 o menor	53,5 o menor	1/0 o menor	8,36	8	13,29	6
42,2 o 53,5	1 o 1/0	67,44 o 85,02	2/0 o 3/0	13,29	6	21,14	4
67,44 o 85,02	2/0 o 3/0	107,21 o 126,67	4/0 o 250 kcmil	21,14	4	33,62	2
107,21 hasta 177,34	4/0 hasta 350 kcmil	152,1 a 253,35	300 a 500 kcmil	33,62	2	53,50	1/0
202,68 a 304,02	400 a 600kcmil	278,68 a 456,03	550 a 900 kcmil	53,50	1/0	85,02	3/0
329,35 a 557,37	650 a 1 100 kcmil	506,70 a 886,73	1 000 a 1 750 kcmil	67,44	2/0	107,21	4/0
608,04 y más	1 200 kcmil y más	912,06 y más	1800 kcmil y más	85,02	3/0	126,67	250 kcmil

Fuente: NTC 2050

- *Media, alta y extra alta tensión.* El conductor de puesta a tierra para media tensión, alta tensión y extra alta tensión, debe ser seleccionado con la siguiente fórmula, la cual fue adoptada de la norma ANSI/IEEE 80.

$$A_{mm^2} = \frac{IK_f \sqrt{t_c}}{1,9737}$$

Para cuya ecuación, las variables son:

A_{mm^2} : Es la sección del conductor en $[mm^2]$.

I : Es la corriente de falla a tierra, suministrada por el Operador Red (rms en $[kA]$).

K_f : Es la constante de la (Tabla 43), para diferentes materiales y varios valores de T_m .

T_m : Es la temperatura de fusión o el límite de temperatura del conductor y una temperatura ambiente de 40 °C.

t_c : Es el tiempo de despeje de la falla a tierra.

Tabla 43. Constantes de materiales*

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD (%)	T_m (°C)	K_f
Cobre blando	100	1083	7
Cobre duro cuando se utiliza soldadura exotérmica	97	1084	7,06
Cobre duro cuando se utiliza conector mecánico.	97	250	11,78
Alambre de acero recubierto de cobre	40	1084	10,45
Alambre de acero recubierto de cobre	30	1084	14,64
Varilla de acero recubierta de cobre	20	1084	14,64
Aluminio grado EC	61	657	12,12
Aleación de aluminio 5005	53,5	652	12,41
Aleación de aluminio 6201	52,5	654	12,47
Alambre de acero recubierto de aluminio	20,3	657	17,2
Acero 1020	10,8	1510	15,95
Varilla de acero recubierta en acero inoxidable	9,8	1400	14,72
Varilla de acero con baño de cinc (galvanizado)	8,5	419	28,96
Acero inoxidable 304	2,4	1400	30,05

Fuente: RETIE

* Se permite el uso de cables de acero galvanizado en sistemas de puestas a tierra en líneas de transmisión y redes de distribución e instalaciones de uso final siempre que en condiciones de una descarga, no se superen los niveles de soportabilidad del ser humano, para su cálculo podrá utilizar los parámetros de varilla de acero recubierta en cinc.

El espesor del recubrimiento en cobre de la varilla de acero, no debe ser menor a 0,25 mm.

3.3.4 Capacidad de corriente y rigidez de los conductores de puesta a tierra.

3.3.4.1 Capacidad de corriente.

- *Sistema de conductores de puesta a tierra, para un solo sistema de puesta a tierra.* El conductor o conductores de puesta a tierra, para un sistema con un electrodo o juego de electrodos exclusivos a un servicio individual, debe tener adecuada capacidad de corriente a corto tiempo, para la corriente de falla que puede fluir a través de estos por el tiempo de operación de los dispositivos del sistema de protección. Si este valor no puede ser determinado, la capacidad de corriente continua del conductor o conductores de puesta a tierra debe no ser menor que la corriente a full carga del transformador del sistema de suministro u otra fuente de suministro.
- *Sistema de conductores de puesta a tierra, para multi-tierras en sistemas de corriente alterna.* El sistema de conductores de protección para un sistema en AC con tierras a más de una ubicación exclusiva y fines individuales de servicio, debe tener continuidad total y capacidad de corriente en cada ubicación no menor que una quinta parte de los conductores al cual ellos son ligados.

En general, para conductores de puesta a tierra *desnudos* la capacidad de corriente en corto tiempo, es la corriente que el conductor puede transportar en el tiempo que dura el flujo de corriente de falla, sin fundirse o afectar las características de diseño del conductor y para conductores de puesta a tierra *con aislamiento* la capacidad de corriente en corto tiempo, es la corriente de falla que el conductor puede transportar, por un tiempo pertinente sin afectar las características de diseño del aislamiento.

El conductor de puesta a tierra, no necesariamente debe ser de una mayor capacidad de corriente que cualquiera de los siguientes parámetros:

- El conductor de fase que podría suministrar la corriente de falla a tierra.
- La máxima corriente que puede fluir por este al electrodo de tierra o electrodos a los cuales es unido. Para un solo conductor a tierra y conectado a un o varios electrodos, la capacidad de corriente deberá ser la tensión suministrada dividido por la resistencia del electrodo (aproximadamente).

Cuando estos conductores estén dispuestos en paralelo, el incremento total de capacidad de corriente puede ser considerado.

3.3.4.2 Rigidez. Todos los conductores de puesta a tierra deben tener adecuada rigidez mecánica para las condiciones a las cuales pueden ser sometidos. Además los conductores de puesta a tierra sin resguardo, deben tener una resistencia a la tracción no menor que la de un conductor de área (AWG N° 8), excepto cuando estos son usados en transformadores de medida. El conductor de puesta a tierra dispuesto adyacentemente en la base del pararrayos, debe proporcionar una adecuada flexibilidad para su correcto funcionamiento.

3.4 INSTALACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE PUESTA A TIERRA

3.4.1 Punto de conexión de los conductores de puesta a tierra.

3.4.1.1 Sistemas D.C que son puestos a tierra.

- *Igual o Inferiores a 750V.* La conexión deberá ser realizada en las estaciones de suministro eléctrico. En sistemas DC de tres conductores o hilos la conexión de puesta a tierra debe ser conectada al neutro.
- *Superiores a 750V.* Se conectará a tierra el neutro del sistema, la conexión deberá ser efectuada en las estaciones de suministro y de la carga. El electrodo

de puesta a tierra puede ser externo o estar ubicado en un punto remoto de cada una de las estaciones.

Una de las dos estaciones (suministro o carga) puede tener su conexión de puesta a tierra a través del pararrayos, si el neutro de la otra estación está puesto a tierra de manera efectiva.

EXCEPCIÓN: Cuando las estaciones no estén separadas una tras la otra como en las estaciones de conversión de AC a DC o viceversa, el neutro del sistema podría estar conectado a tierra en un solo punto.

3.4.1.2 Sistemas A.C. que son puestos a tierra.

- *Iguals o Inferiores a 750V.* El punto de conexión de puesta a tierra de una conexión en estrella trifásica de cuatro conductores o de un sistema monofásico con tres conductores, debe realizarse al conductor neutro. En sistemas de una, dos o tres fases con un circuito o unos circuitos de alumbrado asociados, la conexión a tierra debe ser realizada en el conductor de circuito común asociado a los circuitos de alumbrado.

El punto de conexión a tierra de un sistema trifásico de tres conductores, si deriva de una conexión delta o de un transformador conectado en estrella no puesto a tierra (no usado para alumbrado), puede ser cualquiera de los conductores del circuito.

La conexión a tierra debe hacerse en la fuente (suministro) y en el lado de la línea de todos los equipos de servicio.

- *Superiores a 750V.*
- *No blindados (desnudos o conductores recubiertos o cables aislados sin blindaje).* La conexión a tierra debe hacerse en el neutro de la fuente.

Conexiones adicionales pueden ser realizadas si se desea a través del neutro, cuando este es uno de los conductores del sistema.

- *Conexión entre pararrayos (descargadores de sobretensiones) y cables blindados.* En los puntos donde los cables subterráneos son conectados a las líneas aéreas y existan descargadores de sobretensiones, la puesta a tierra de estos dispositivos será conectada al blindaje o pantalla del cable.
- *Cable blindado sin chaqueta aislante.* La conexión a tierra debe hacerse en el neutro del transformador de alimentación y en los puntos extremos o terminales del cable.
- *Cable blindado con chaqueta aislante.* Se recomiendan uniones adicionales y conexiones entre el cable blindado aislado (o recubierto) y el sistema a tierra. En sistemas multi-tierras con cable blindado, el blindaje incluyendo su envoltura debe ser conectado a tierra en cada unión del cable que sea expuesto al contacto con las personas. Cuando un sistema multi-tierras con cable blindado no pueda ser usado por razones de corriente atrapada o electrólisis, la envoltura blindada y el dispositivo de empalme deben estar aislados para el voltaje que puedan aparecer en condiciones normales de operación. Los sistemas de puesta a tierra con cables aislados y blindados deben ser interconectados con todos los demás equipos de suministro de potencia conectados a tierra, en las cajas de inspección y/o en baúles accesibles.

EXCEPCIÓN 1: Donde la protección catódica o el cruce de uniones del blindaje es compleja, la interconexión puede ser omitida.

EXCEPCIÓN 2: Las uniones de transformadores o reactores pueden ser sustituidas por la conexión directa a tierra en uno de los extremos del cable.

3.4.1.3 Con cables mensajeros. Los cables mensajeros que requieren ser puestos a tierra, deben ser conectados a los conductores de puesta a tierra en los postes o en las estructuras, a intervalos máximos como se lista a continuación:

- Cuatro conexiones por cada 1,6 Km, cuando los cables mensajeros son adecuados para sistemas de conductores de puesta a tierra debido a su capacidad de corriente y resistencia mecánica.
- Ocho conexiones por cada 1,6 Km, cuando los cables mensajeros no son adecuados para sistemas de conductores de puesta a tierra debido a su capacidad de corriente y resistencia mecánica.

3.4.1.4 Puesta a tierra de cables mensajeros y templetes en la misma estructura de soporte.

- En donde los cables mensajeros y templetes se encuentren en la misma estructura de soporte y requieran ser conectados a tierra, estos deben estar unidos y conectados a tierra por la conexión:
 - A un conductor de puesta a tierra que es conectado a tierra en la estructura,
 - A conductores individuales de puesta a tierra o cables mensajeros que son unidos y conectados a tierra en esa estructura,
 - A uno o más conductores de línea conectados a tierra o a los cables mensajeros conectados a tierra que estén: a.) Unidos a la estructura o en otros lugares y b.) multi-tierras en otros lugares.
- En estructuras comunes de cruce, los cables mensajeros y templetes que requieran estar conectados a tierra, deben estos estar unidos a la estructura y conectados a tierra en la misma estructura o en otra ubicación.

EXCEPCIÓN: no aplica a templetes que sean conectados efectivamente al cable de guarda.

3.4.1.5 Con templetes. Los templetes que requieren ser conectados a tierra, deben ser conectados a uno o más de los medios listados a continuación:

- Una estructura metálica conectada a tierra.
- Una tierra efectiva en una estructura de soporte no metálica.
- Un conductor de línea que tiene al menos cuatro conexiones a tierra en cada 1,6 Km de la línea, además de las conexiones a tierra de los servicios individuales.

3.4.1.6 Con cercas. Las cercas que requieran ser conectadas a tierra, deben ser diseñadas para limitar las tensiones de contacto, de paso y de transferencia en conformidad con prácticas industriales. A continuación, se especifican los puntos de conexión de las cercas a los sistemas de puesta a tierra, así:*

- Las conexiones a tierra de las cercas deben ser hechas al sistema de tierra del encerramiento de los equipos o a otra tierra separada.
- Las cercas deben estar conectadas a tierra a cada lado de una puerta o apertura.
- Las puertas deben estar unidas al conductor de puesta a tierra, al puente conductor o a la cerca.

* NOTA: El IEEE Std 80-2000 es una fuente que puede ser utilizada para proporcionar orientación y enlace de estos requerimientos.

- Un puente de unión enterrado debe ser usado para unir el cruce de una puerta o de otra apertura en la cerca, a menos que se use una sección de cerca no conductora en dicha parte de la cerca.
- Si se usan hiladas de cable de púas por encima de las cercas, el cable de púas debe estar unido al conductor de puesta a tierra, al puente conductor o a la cerca.
- Cuando los postes de las cercas son de material conductor, el conductor puesto a tierra debe ser conectado al poste o postes de la cerca, según sea necesario, con los medios de conexión adecuados.
- Cuando los postes de las cercas son de material no conductor, deben hacerse adecuadas conexiones a la malla de la cerca y a las hiladas del cable de púas en cada punto del conductor de puesta a tierra.

3.4.1.7 Unidad de tierra a alta impedancia o sistemas de una sola tierra y sistemas multi-tierras.

- *Unidad de tierra a alta impedancia o sistemas de una sola tierra.* Cuando el neutro secundario no es conectado directamente con el conductor primario del pararrayos, la interconexión puede ser hecha por un “spark gap” o dispositivo que permita una función equivalente. El “gap” o dispositivo debe tener una tensión de ruptura a 60 Hz de al menos dos veces la tensión nominal del circuito primario, pero no necesariamente mayor a 10 kV. Al menos otra conexión a tierra en el neutro del secundario debe ser provista con el electrodo puesto a tierra y localizado a una distancia no menor a 6,1 m del electrodo puesto a tierra del pararrayos, en adición a cada tierra de entrada del servicio al cliente. El conductor primario puesto a tierra o el conductor secundario puesto a tierra, debe ser aislado a 600 V.

- *Sistemas multi-tierras.* En los sistemas multi-tierras se debería interconectar el neutro primario y secundario. Sin embargo, donde sea necesario separar los neutros, la interconexión de los neutros debe ser hecha por un “spark gap” o dispositivo que permita una función equivalente. El “gap” o dispositivo debe tener una tensión de ruptura a 60 Hz y tensión no mayor a 3 kV. Al menos otra conexión a tierra en el neutro secundario, debe ser prevista con el electrodo puesto a tierra localizado a una distancia no menor a 1,8 m del electrodo puesto a tierra del pararrayos, en adición a cada tierra de entrada del servicio al cliente. Cuando el neutro primario y secundario no están directamente interconectados, el conductor primario puesto a tierra o el conductor secundario puesto a tierra o ambos deben ser aislados a 600 V*.

3.4.1.8 Conductor de puesta a tierra independiente. Si se utiliza un conductor de puesta a tierra independiente, este deberá ser conectado ya sea: directamente a través del sistema neutral al transformador de alimentación, a los accesorios del transformador de alimentación o a los accesorios del cable que requieran ser conectados a tierra. Este conductor de puesta a tierra debe ser enterrado junto con el cable o los cables de suministro o será ubicado en un ducto paralelo (o por el mismo ducto de los conductores del circuito, si el ducto es de material magnético).

EXCEPCIÓN: El conductor de puesta a tierra de un circuito que está instalado en un conducto magnético, no tiene por qué estar dentro de este, si el conducto que contiene el circuito está unido al conductor de puesta a tierra independiente en ambos extremos.

3.4.2 Métodos de instalación de los conductores de puesta a tierra.

3.4.2.1 Generalidades. Para la conexión y alambrado de los conductores de puesta a tierra se deben considerar los siguientes requisitos generales:

* Puede existir una diferencia de voltaje, cuando los neutros primarios y secundarios no están directamente interconectados. Por ejemplo, donde un equipo metálico esta unido al conductor secundario puesto a tierra y es instalado en el mismo poste, el conductor primario puesto a tierra deberá estar aislado.

- Los conductores del sistema de puesta a tierra deben ser continuos, sin interruptores o medios de desconexión y cuando se empalmen, deben quedar mecánica y eléctricamente seguros mediante soldadura o conectores certificados para tal uso.
- En ningún caso un dispositivo de apertura debe estar insertado en el conductor de tierra, excepto donde su operación fuera resultado de la desconexión automática desde todas las fuentes de energía al circuito que conduce a los equipos puestos a tierra.

EXCEPCIÓN 1: Para sistemas D.C. por encima de 750 V dispositivos de apertura en el conductor de puesta a tierra pueden ser permitidos, para cambiar entre un electrodo remoto y una tierra local debida a pararrayos.

EXCEPCIÓN 2: Desconexión temporal del conductor de puesta a tierra para propósitos de medida, bajo supervisión competente.

EXCEPCIÓN 3: Desconexión de un conductor puesto a tierra por un pararrayos es permitido cuando es realizado con métodos de desconexión de pararrayos.*

- Los medios de conexión deben ser del tamaño y selección adecuados para el transporte de corriente de falla, sin que dañe el aislamiento de la chaqueta o la envoltura de conexión.
- En pararrayos y detectores de tierra, el conductor o conductores de tierra deben ser lo más cortos, rectos y libre de ángulos agudos.
- “Las conexiones que van bajo el nivel del suelo en puestas a tierra, deben ser realizadas mediante soldadura exotérmica o conector certificado para enterramiento directo y demás condiciones de uso conforme a la guía norma IEEE 837 o la norma NTC 2206”⁶.

* La base del pararrayos puede mantener un potencial desarrollado por la operación de desconexión.

⁶ Op.Cit. RETIE

- Los conductores de puesta a tierra colocados directamente bajo tierra deben ser colocados con cierta holgura o deben ser lo suficientemente rígidos, para permitir movimientos de la tierra.
- En general, si cualquier revestimiento de material no conductor, así como esmalte oxidado o sarro está presente en la superficie de contacto del electrodo en el punto de conexión, tal revestimiento deberá ser completamente removido, cuando se requiera obtener el requisito de buena conexión. Accesorios especiales diseñados para remover tales recubrimientos no conductivos, pueden ser usados.

3.4.2.2 Conexiones equipotenciales. De manera general, los elementos metálicos que no forman parte de las instalaciones eléctricas, no podrán ser incluidos como parte de los conductores de puesta a tierra.

Sin embargo, donde se requiera una baja impedancia, las trayectorias metálicas deben ser provistas para conducir la corriente de falla al terminal de tierra de suministro. Cuando el suministro esté alejado, la ruta metálica debe ser interconectada a los marcos de los equipos y recintos con todos los demás componentes conductivos no energizados al alcance de la mano. Las carcasas de equipos eléctricos metálicos o los marcos de estructuras metálicas de un edificio u estructura pueden servir como parte de un conductor de puesta a tierra, para un electrodo de puesta a tierra aceptable.

3.4.2.3 Recorrido de los conductores de puesta a tierra de equipos y circuitos. El conductor de puesta a tierra de equipos, debe acompañar a los conductores activos durante todo su recorrido y por la misma canalización. De igual manera, en estructuras con elementos magnéticos enlazados, tales como estructuras de acero, tubería, varillas de refuerzo, etc., no se deberán separar los

conductores puestos a tierra de los conductores de fase de los circuitos que ellos sirven.

No obstante, los conductores puestos a tierra de equipos y circuitos de cada una de las siguientes clases, deben ser llevados separadamente al electrodo de puesta a tierra para cada uno de los siguientes tipos:

- Pararrayos de circuitos por encima de 750 V y marcos de cualquier equipo operando sobre 750 V.
- Alumbrado y circuitos de potencia por debajo de 750 V.
- Cables blindados de circuitos de potencia.
- Varillas de descarga atmosférica, a menos que se ligen a tierra por un soporte de estructura metálica.

Alternativamente, los conductores puestos a tierra deben ser llevados separadamente a un barraje de tierra lo suficientemente fuerte o transportado por un cable de un sistema puesto a tierra y que está bien conectado a tierra en más de una ubicación.

Los conductores de puesta a tierra para las siguientes clases de equipos: Pararrayos de circuitos por encima de 750 V, marcos de cualquier equipo que opera por encima de los 750 V, alumbrado y circuitos de potencia por debajo de 750 V y cables blindados de circuitos de potencia pueden ser interconectados utilizando un sólo conductor de puesta a tierra, siempre que:

- Halla una conexión directa a tierra en cada lugar del pararrayos,

- El neutro secundario o el conductor de fase secundario conectado a tierra es común o conectado al neutro del primario o a un cable blindado, que cumple con lo siguiente:
- o Los circuitos primarios y secundarios que utilizan un conductor como un neutro común, deben tener como mínimo cuatro conexiones a tierra por cada 1,6 Km de línea, excluyendo la tierra para equipos de servicio de los clientes.

3.4.2.4 Protección mecánica de los conductores de puesta a tierra. Los conductores de puesta a tierra expuestos a daños mecánicos, deben ser resguardados. Sin embargo, los conductores de puesta a tierra no necesitan ser resguardados donde no sean fácilmente accesible al público.

Donde se requiera resguardar los conductores de puesta a tierra, estos conductores deben ser protegidos por resguardos adecuados para la exposición a cualquiera de ellos a los que razonablemente pudieran ser sometidos. Cuando el resguardo no es requerido, los conductores de puesta a tierra deben ser protegidos si estos están cerca de la superficie del poste u otra estructura en zonas de exposición a daños mecánicos.

El resguardo debe extenderse por no menos de 2,45 m por encima de la superficie o plataforma a la cual los conductores de puesta a tierra sean accesibles al público.

El resguardo usado para los conductores de puesta a tierra de los equipos de protección contra rayos, deben ser de material no metálico si el resguardo encierra completamente el conductor de puesta a tierra.

3.4.3 Métodos de instalación de los electrodos de puesta tierra.

3.4.3.1 Generalidades. Para la instalación de los electrodos se deben considerar los siguientes requisitos generales:

- El fabricante de los electrodos de puesta a tierra debe informar al usuario si existe algún procedimiento específico para su instalación y adecuada conservación.
- Cada electrodo debe quedar enterrado en su totalidad.
- *“El electrodo puede ser instalado en forma vertical, horizontal o con una inclinación adecuada, siempre que garantice el cumplimiento de su objetivo, conforme al numeral 3 del literal c del de la sección 250-83 de la NTC 2050”*
- *“El punto de unión entre el conductor del electrodo de puesta a tierra y la puesta a tierra debe ser accesible y la parte superior del electrodo enterrado debe quedar a mínimo 15 cm de la superficie. Este numeral no aplican a electrodos enterrados en las bases de estructuras de líneas de transmisión ni a electrodos instalados horizontalmente”.*
- *“Para verificar que las características del electrodo de puesta a tierra y su unión con la red equipotencial cumplan las disposiciones del Reglamento, se deben dejar puntos de conexión y medición accesibles e inspeccionables al momento de la medición. Cuando para este efecto se construyan cajas de inspección, sus dimensiones deben ser mínimo de 30 cm x 30 cm o de 30 cm de diámetro si es circular y su tapa debe ser removible”⁷.*
- La unión entre el electrodo y el conductor de puesta a tierra, debe hacerse con soldadura exotérmica o con un conector certificado para enterramiento directo.
- Los electrodos usados para poner a tierra pararrayos en unidades de tierra a alta impedancia, en sistemas de suministro operando a potenciales que

⁷ Op.Cit. RETIE

excedan 15 kV fase a fase, deberían ser localizados a no menos de 6,1 m de los cables de comunicación enterrados. Cuando líneas con menor separación sean construidas, se debería dar aviso a los propietarios u operadores de los sistemas afectados.

- Cuando los electrodos son separados para ser usados por sistemas aislados, se deben separar los conductores de puesta a tierra.
- Cuando múltiples electrodos son usados para reducir la resistencia de puesta a tierra, estos pueden ser unidos a la vez y conectados a un solo conductor de puesta a tierra.

3.4.3.2 Conexión a estructuras con monturas en acero. En estructuras con monturas en acero donde se emplee un electrodo de barras de refuerzo embebidas en concreto, una varilla de acero similar a las barras de refuerzo será utilizada para unir, mediante soldadura, una barra principal vertical de refuerzo a un perno de anclaje. El perno de anclaje debe ser substancialmente conectado a la placa base de la columna de acero soportada en el cimiento o zapata. El sistema eléctrico puede ser conectado (para conexión a tierra) a la montura o marco de la construcción mediante soldadura o por un perno de bronce introducido en un miembro estructural de ese marco.

3.4.3.3 Conexión a estructuras no aceradas. Para marcos de estructuras no aceradas que empleen varillas embebidas en concreto o electrodos de alambre, se conectará un conductor aislado de cobre que cumpla los requerimientos en cuanto a capacidad de corriente y resistencia mecánica (no menor a AWG N° 4), debe ser conectado a la varilla de acero o alambre, usando una abrazadera adecuada para el conductor de acero. Esta abrazadera y todas las partes desnudas del conductor de cobre, incluyendo terminaciones y filamentos expuestos dentro del concreto deben ser completamente cubiertas con masilla o

sellador antes que el concreto sea vertido. El terminal del conductor de cobre debe ser llevado o sacado fuera de la superficie de concreto al lugar requerido para la conexión con el sistema eléctrico. Si el alambre de cobre es transportado más allá de la superficie de concreto, este deberá no ser menor a (AWG N° 2).

De manera alterna, el alambre de cobre puede ser llevado fuera del concreto al fondo de la brecha y ser transportado externamente del concreto al lugar requerido para la conexión.

3.4.3.4 Punto de conexión a sistemas de tuberías. El punto de conexión de un conductor puesto a tierra a un sistema de tubería de agua metálica, debe estar lo más cerca posible a la entrada del servicio de agua de la construcción o cerca de los equipos puestos a tierra y estos deben ser accesibles. Si un contador de agua se encuentra entre el punto de conexión y la tubería de agua subterránea, el sistema de tubería metálico de agua será eléctricamente continuo, mediante un enlace equipotencial de todas las partes desconectadas, tales como medidores y empalmes del suministro de agua.

Las tierras o estructuras conectadas a tierra deberán estar separadas a 3 m o a más de los gasoductos usados para la transmisión de líquido inflamable o de gases operados a altas presiones [1030 kPa o superiores], a menos que estén eléctricamente interconectados y protegidos catódicamente como una unidad. Tierras dentro de los 3 m de tales gasoductos deberán ser evitadas o deben ser coordinadas, de modo que no existan condiciones peligrosas en A.C. y sin que sea anulada la protección catódica de los gasoductos.

RECOMENDACIÓN: es recomendado que los cálculos o pruebas sean usados para determinar la separación requerida de los electrodos de tierra a alto voltaje en corriente directa (HVDC) a sistemas de líquido inflamable o gasoductos de alta presión.*

* *Electrodos a tierra para sistemas (HVDC) por encima de 750 V pueden requerir mayor separación.*

PARTE 2.
PARÁMETROS Y CRITERIOS TÉCNICOS ESPECÍFICOS DE SEGURIDAD DE
LAS INSTALACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO

De acuerdo, a lo ilustrado en la (Figura 1), una de las principales consideraciones a tener en cuenta en el diseño de un sistema eléctrico seguro es: determinar métodos para la instalación y adecuación de los componentes de un proyecto eléctrico, de acuerdo a condiciones técnicas de seguridad propias de cada uno de los procesos involucrados en dichos sistemas, que para efecto del presente documento, estos tipos de sistemas (sistemas de suministro eléctrico) han sido agrupados en tres grandes sistemas a saber: ESTACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO, LÍNEAS AÉREAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO Y LÍNEAS SUBTERRÁNEAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO, con el propósito de recomendar parámetros y criterios técnicos de seguridad asociados a cada uno de los sistemas anteriormente mencionados.

4. ESTACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO Y SUS EQUIPOS [1], [2], [3], [4]

4.1 VISIÓN GENERAL

En este capítulo se referencian los conductores de suministro eléctrico, los tipos de equipos eléctricos que se presentan más comúnmente en las estaciones de suministro eléctrico y las disposiciones estructurales asociadas a este tipo de instalaciones (centrales eléctricas y subestaciones).

El propósito del presente Capítulo es integrar requerimientos establecidos por el Reglamento de Instalaciones Eléctricas en los procesos de Generación y Transformación de la energía eléctrica, con la adopción de parámetros y criterios técnicos de seguridad tomados de normatividad vigente como lo es: el National Electrical Safety Code –NESC- y el Código Eléctrico Colombiano -NTC 2050-.

El lector encontrará en este capítulo una presentación sistemática del contenido, relacionada de la siguiente manera: Primero se establecen los **REQUISITOS GENERALES DE LAS ESTACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO**. En segunda instancia, las **CONDICIONES LOCATIVAS DE LAS ESTACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO**, en donde se encuentran los criterios que deben cumplir los cerramientos, cuartos y espacios. Como tercero, se abordan los requerimientos en cuanto a la **INSTALACIÓN Y ADECUACIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS**. Por último se puntualizan algunos criterios de seguridad a cumplir por los **EQUIPOS** más comúnmente encontrados en este tipo de instalaciones.

4.2 REQUISITOS GENERALES DE LAS ESTACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO

Una estación de suministro eléctrico debe tener implícitas ciertas condiciones de seguridad, tales como distancias de seguridad, espaciamientos de seguridad,

espacios de trabajo, sistemas de puesta a tierra, entre otras, que ayudan a mitigar los riesgos eléctricos latentes en este tipo de instalaciones. Por este motivo, se invita al lector a tener en cuenta los parámetros y criterios expuestos en los capítulos 1, 2, 3, 5 o 6 del presente documento, según le sean aplicables y de acuerdo a la particularidad en el tipo de estación eléctrica a diseñar, construir u operar.

A continuación se indican algunos requisitos generales que deben cumplir las estaciones de suministro eléctrico:

- Toda estación de suministro eléctrico debe contar con el respectivo diseño eléctrico.
- Las estaciones de suministro eléctrico deben cumplir con los reglamentos y/o disposiciones mandatorias establecidas por las autoridades ambientales.

4.3 CONDICIONES LOCATIVAS DE LAS ESTACIONES DE SUMINISTRO ELÉCTRICO

Con el cumplimiento de las condiciones locativas en las estaciones de suministro eléctrico, se genera un entorno adecuado entre el personal y los equipos y/o sistemas eléctricos de la instalación; debido, a que la observancia de este tipo de condiciones facilitan un ambiente seguro para la realización de actividades de operación, inspección y mantenimiento en las estaciones de suministro eléctrico previniendo y minimizando posibles riesgos eléctricos a los que el personal y el sistema puedan estar expuestos.

4.3.1 Cerramiento de equipos.

4.3.1.1 Generalidades. Los cuartos y espacios en los cuales los conductores o equipos de suministro eléctrico son instalados deben ser dispuestos con mallas,

pantallas o paredes en forma de recinto con lo que se limite la probabilidad de entrada a personas no autorizadas o la interferencia de estos con equipos en el interior.

Excepción: Este requisito no se requiere para subestaciones tipo poste, ni de pedestal cuando el incremento de la temperatura exterior del cubículo de esta no supere los 45 °C sobre la temperatura ambiente.

A continuación se presentan algunos parámetros y criterios técnicos de seguridad generales referentes a los cerramientos de los equipos en estaciones de suministro eléctrico:

- Los encerramientos utilizados por los equipos que conforman las estaciones deben alojar en su interior los equipos de corte y seccionamiento; por esta razón, deben ser metálicos y los límites del encerramiento no deben incluir las paredes del cuarto dedicado al alojamiento de la estación. Las ventanas de inspección deben garantizar el mismo grado de protección del encerramiento (IP) y el mismo nivel de aislamiento.
- Las entradas que no están bajo la observación de un encargado o persona autorizada, deben ser mantenidas bajo llave o con cerrojo.

Los requisitos por altura de la malla del cerramiento, pueden ser satisfechos con cualquiera de los siguientes aspectos:

- Malla tejida, de 2,50 m o más en altura.
- Una combinación de 1,8 m o más de malla tejida y una extensión, utilizando tres o más líneas de cables de púas, para lograr una altura total de la malla no menor a 2,50 m.

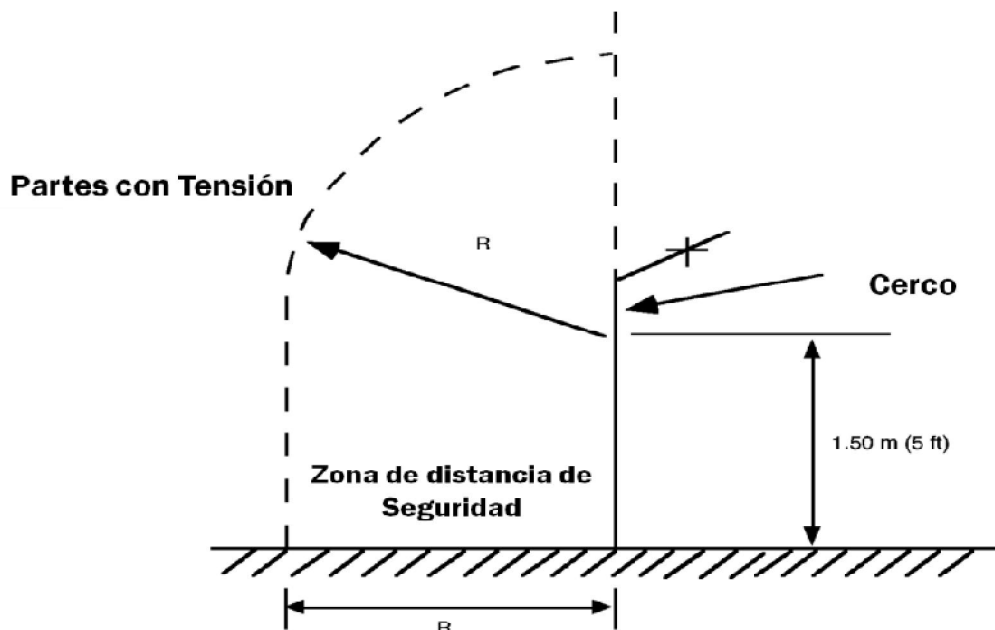
- Otros tipos de construcción tales como material no metálico, que presenta equivalente barrera para entradas no autorizadas.

4.3.1.2 Zona de distancias de seguridad en cerramientos de equipos. Cuando se instalan vallas o muros como barreras para personal no autorizado, estos deben estar localizados tal que la exposición a partes vivas esté fuera de la zona de distancia de seguridad, así como se ilustra en la (Figura 17) y se lista en la (Tabla 44).

EXCEPCIÓN 1: Cuando se tiene una valla o muro sin aberturas por la cual palos u otros objetos pudieran ser alojados, las partes con tensión pueden ser instalados dentro de la zona de distancia de seguridad, si estas están por debajo de la línea horizontal proyectada desde la parte superior de la valla o muro.

EXCEPCIÓN 2: El requisito de la zona de distancia de seguridad no es aplicable al interior de las vallas, que se hallen dentro del perímetro vallado de una estación de suministro eléctrico.

Figura 17. Distancias de seguridad para los cercos de la planta de suministro eléctrico.



Fuente: NESC

Tabla 44. Valores usados en la Figura 17

Tensión nominal entre Fases kV	BIL Típico kV	Dimensión “R” m
151-7200	95	3,0
13800	110	3,1
23000	150	3,1
34500	200	3,2
46000	250	3,3
69000	350	3,5
115000	550	4,0
138000	650	4,2
161000	750	4,4
230000	825	4,5
230000	900	4,7
345000	1050	5,0
345000	1175	5,3
345000	1300	5,5
500000	1550	6,0
500000	1800	6,6
765000	2050	7,1

Fuente: NESC

4.3.2 Cuartos y espacios. Todos los cuartos y espacios en el cual los equipos de suministro eléctrico están instalados, deben cumplir con los siguientes requisitos:

4.3.2.1 Construcción. De acuerdo, al reglamento -RETIE- está prohibido el empleo de materiales combustibles en las proximidades de canalizaciones, máquinas eléctricas o equipos bajo tensión y sólo es permitida su utilización, si los materiales combustibles están alejados de la parte con tensión o debidamente protegidos, como es el caso de instalaciones con planta diesel*.

* No se intenta impedir el uso de postes de madera que se utilizan para apoyar los conductores o equipos en estaciones de suministro eléctrico.

4.3.2.2 Uso. Los cuartos y espacios en los cuales los equipos eléctricos son instalados deben estar en la práctica libres de materiales combustibles, polvo y humos y no deben ser usados para fabricación o para el almacenamiento.

EXCEPCIÓN 1: El equipo o material esencial para el mantenimiento de los equipos instalados pueden ser almacenados, si guardan una separación a las partes energizadas.

EXCEPCIÓN 2: Los materiales relacionados con el trabajo en la construcción o el mantenimiento de los sistemas de suministro eléctrico, pueden ser almacenados en la estación si están situadas en una zona separada por una valla de los equipos de la estación de suministro eléctrico.

EXCEPCIÓN 3: El almacenamiento de material relacionado con el trabajo en curso de la construcción o el mantenimiento de una instalación propia del sistema de suministro eléctrico, puede estar temporalmente localizado en un espacio de almacenamiento de la estación, si cumple todos los siguientes requisitos:

- *Guardado o separado de las partes energizadas como se establece en la protección (resguardos) a partes vivas Véase numeral 4.4.2.2*
- *La estación cumplen los requisitos del numeral 4.3.2.9, en lo concerniente a los accesos (entradas y salidas de la estación de suministro eléctrico)*
- *Las estaciones de suministro eléctrico cumplen las disposiciones dadas en el numeral 4.4.3, para los espacios de trabajo alrededor de los equipos eléctricos.*
- *El acceso es limitado a personal calificado.*
- *El lugar de almacenamiento y el contenido es tal que el riesgo de incendio no pone en peligro injustificadamente la operación de la estación.*

4.3.2.3 Ventilación, humedad y clima. En las estaciones de suministro eléctrico deberá haber suficiente ventilación para mantener la temperatura de operación dentro de los rangos normales de funcionamiento, previniendo al mínimo la acumulación en el área, de agentes contaminantes. Los cuartos y espacios deberían estar secos. En las estaciones al aire libre o estaciones en túneles mojados (húmedos) u otros lugares húmedos o altamente húmedos, los equipos deben ser diseñados adecuadamente para resistir las imperantes condiciones atmosféricas.

4.3.2.4 Señalización e Iluminación. La señalización e iluminación de estaciones de suministro eléctrico representan todo un medio visual de comunicación, que alertan del peligro eléctrico al que pueden estar sometidos tanto al personal calificado de las instalaciones eléctricas, como aquellas personas neófitas en riesgos eléctricos, de ahí la importancia de su observancia y cumplimiento. A continuación se precisan algunos parámetros y criterios técnicos de seguridad con respecto a la señalización de seguridad e iluminación de las estaciones de suministro eléctrico.

- *Señalización.* Se debe disponer de una señal de seguridad en cada entrada. Para el cercado de las estaciones de suministro eléctrico se debe tener una señal de seguridad a cada lado de la misma*.
- En las plantas térmicas que poseen chimeneas de alturas mayores de 25 m, éstas deben pintarse con los requerimientos de la señalización aeronáutica.
- Las rutas de evacuación deberán estar demarcadas con avisos y señales de salida que sean luminosas, con pintura fotoluminiscente y con luces conectadas al circuito de emergencia de la central.
- *Iluminación.* Los cuartos y espacios deben tener medios de iluminación artificial. Los niveles de iluminación no menores a los enlistados en la (Tabla 45) son recomendados para mantener la seguridad durante el trabajo.
- La iluminación en las estaciones de suministro eléctrico debe ser uniforme, evitando en especial el deslumbramiento en la zona de lectura de tableros. No deberán usarse luminarias de sodio de alta presión en zonas donde sea

* NOTA: ANSI Z535.1-1998, ANSI Z535.2-1998, ANSI Z535.3-1998, ANSI Z535.4-1998 y ANSI Z535.5-1998, contienen información con respecto a las señales de seguridad.

necesario realizar trabajos en los cuales se requiera identificar colores de cables.

- Una fuente de iluminación separada de emergencia, con iniciación automática, de un generador independiente, acumulador u otra fuente adecuada, debe ser prevista en cada estación.

La iluminación de emergencia de 11 lux (1 footcandle), debe ser prevista en las partes de salida de todas las áreas de la estación asistida. Debería considerarse el tipo de servicio prestado si es de corta o larga duración. La mínima duración debe ser de 60 minutos. Es recomendado que el circuito de alambrado de emergencia se mantenga independientemente de todos los otros alambrados y equipos.

Tabla 45. Niveles de Iluminación.

LOCACIÓN	LUX	FOOTCANDLES
Estación de Generación		
Equipo de aire acondicionado, precalentador de aire y ventilador de piso, ducto de evacuación de cenizas	55	5
Auxiliares, áreas de baterías, bombas de alimentación de calderas, tanques, compresores, área de medidor	110	10
Plataformas de calderas	55	5
Plataformas de quemadores	110	10
Sala de cable, sistema de recirculación o compartimento de la bomba	55	5
Laboratorio químico	270	25
Cinta transportadora de carbón, trituradora, alimentador, área de escala, pulverizador, zona de ventiladores, torre de transferencia.	55	5
Condensadores, piso desaireador, suelo de evaporadores, suelos de calefacción.	55	5
Salas de control		
Cara vertical de los tableros Simplex o sección del operador dúplex:		
- Tipo A--- Amplia Sala de control centralizado 1,68 m (66 pulgadas) por encima del piso.	270	25

Tabla 45. Continuación.

LOCACIÓN	LUX	FOOTCANDLES
- Tipo B--- Sala de control común de 1,68 m(66 pulgadas) por encima del piso	160	15
- Sección de dúplex de espaldas al operador (facing away from OPERATOR)	160	15
- Tableros de banco (plano horizontal)	270	25
- Área dentro de los tableros dúplex	55	5
Parte posterior de todos los tableros (vertical)	55	5
Plano horizontal (a nivel del escritorio)	270	25
La cara vertical del tablero [1,22 m(48 pulgadas) sobre el suelo, frente al operador]:		
- Sala de despacho de la carga del sistema	270	25
- Sala de despacho secundaria	160	15
Área del distribuidor de hidrógeno dióxido de carbono	110	10
Precipitadores	55	5
Casa de pantallas (screen house)	110	10
Plataforma de sopladora de hollín o desechos	55	5
Coletores y válvulas reguladoras de vapor	55	5
Tablero de interruptores de potencia	110	10
Sala de equipos telefónicos	110	10
Túneles o galerías, tuberías	55	5
Sub-sótano del compartimento de la turbina	110	10
Sala de turbinas	160	15
Galería de visitantes	110	10
Área de tratamiento de agua	110	10
Estación de Generación (exterior)		
Pasillos	22	2
Vertederos de ceniza	2.2	0.2
Área de almacenamiento de carbón	2.2	0.2
Descarga del carbón		
- Dock (zona de carga o descarga)	55	5
- Área de almacenamiento de barcas	5.5	0.5
- Carro dumper	5.5	0.5
Tipple	55	5
Transportadores	22	2

Tabla 45. Continuación.

LOCACIÓN	LUX	FOOTCANDLES
Entradas		
Generación o construcción de servicio:		
- Principal	110	10
- Secundario	22	2
Puerta de casa (Gate house):		
- Entrada para peatones	110	10
- Entrada de Transportadores	55	5
Valla	2.2	0.2
Colector y dispensador de aceite combustible	55	5
Tanques de almacenamiento de aceite	11	1
Patio abierto	2.2	0.2
Plataformas de calderas, cubierta de turbinas	55	5
Clazada		
- Entre o a lo largo de las edificaciones	11	1
- No es bordeada por edificaciones	5.5	5
Subestación		
Horizontal general	22	2
- Vertical específico (on disconnects)	22	2

Fuente: NESC

4.3.2.5 Artefactos. Las disposiciones para artefactos permanentes y tomas deberán ser tal, que los cables portátiles no tienen por qué ser puestos en proximidades peligrosas de partes energizadas o móviles. Todo el alumbrado, debe ser controlado y servido de lugares accesiblemente seguros.

4.3.2.6 Enchufes y tomacorrientes para uso general. Los conductores portátiles deben ser fijados al alambrado, solo a través de enchufes separables que son desconectados de todos los polos en una operación. Los tomas instalados en circuitos derivados de AC monofásicos, bifásicos o trifásicos, deben ser del tipo puesto a tierra. Los tomas conectados a circuitos que tengan diferentes tensiones, frecuencias o tipo de corriente (AC o DC) en el mismo predio, deben ser tal que el

diseño de las fijaciones de los enchufes usados en tales circuitos no sean intercambiables.

4.3.2.7 Tomacorrientes en lugares húmedos o mojados. Todos las tomas permanentes a 120 V en AC en lugares húmedos o mojados, deberán cada uno estar previsto con una protección a tierra (interruptor de falla a tierra (GFI)) o estar en un circuito conectado a tierra que es probado regularmente, como la experiencia muestre que es necesario.

4.3.2.8 Pisos, abertura de pisos, pasillos y escaleras. Todos los lugares de circulación de personas en las estaciones de suministro eléctrico, tales como accesos, salas, pasillos, etc., deben estar libres de objetos que puedan dar lugar a accidentes o interrumpen visiblemente la salida en caso de emergencia. El reglamento -RETIE- prohíbe el uso de pavimentos excesivamente pulidos y el montaje de escaleras estrechas en las proximidades a partes con tensión de las estaciones de suministro eléctrico.

- *Pisos.* Los pisos deben ser superficies planas y proporcionar una base firme. Los pisos o escaleras deslizantes, deberán ser provistos con cubrimiento antideslizante.
- *Pasillos.* Los pasillos, incluyendo escaleras no deben presentar obstáculos y cuando sea práctico, deben proporcionar al menos 2,13 m a la altura del cuarto. Cuando el anterior requisito no sea práctico, la obstrucción debería ser pintada, marcada o indicada por señales de seguridad y el área convenientemente iluminada*

* ANSI Z535.1-1998, ANSI Z535.2-1998, ANSI Z535.3-1998, ANSI Z535.4-1998 y ANSI Z535.5-1998, contienen información con respecto a las señales de seguridad.

- *Pasamanos o barandas.* Todas las aperturas en el piso sin rejillas u otro cubrimiento adecuado, plataformas empinadas y caminos con más de 300 mm de altura, deben ser provista con pasamanos. Las entradas para unidades tales como escaleras fijas y grúas deben tener barandas al igual que se debe proporcionar protección con rejas, cadenas o secciones de tubería deslizante.
- *Resguardo de escaleras.* Todas las escaleras que consistan de cuatro o más peldaños, deben ser provistas con pasamanos*.
- *Parte superior de las barandas.* Todas las partes superiores de las barandas deberán mantenerse libres de obstáculos a una distancia de 75 mm en todas las direcciones, excepto en su apoyo.

4.3.2.9 Accesos.

- *Despeje de salidas.* Cada cuarto o espacio y cada lugar de trabajo cerca de equipos debe tener un medio de salida, el cual debe ser mantenido libre de toda obstrucción. Los pasillos de gran longitud y en general donde exista la posibilidad de producirse arcos eléctricos, deben tener dos accesos como mínimo
- *Puertas de salida.* Las puertas de salida deben moverse hacia afuera y deben estar equipadas con cerraduras antipánico, placas de presión u otro dispositivo que sea cerrado normalmente, pero abierto bajo simple presión.

EXCEPCIÓN: Esta recomendación no aplica a puertas de salida en construcciones y cuartos que contengan sólo bajo voltaje, equipos no explosivos y puertas en mallas, para equipos instalados a la intemperie.

* Para información adicional, ver ANSI A1264.1-1995.

4.3.2.10 Sistemas de protección contra incendios. Toda central de generación debe tener un sistema automático de extinción de incendios y estos sistemas de protección contra incendios deben operar con las mínimas señales de temperatura y humo.

Los equipos de extinción de incendio, que son aprobados para el uso destinado, deben estar localizados convenientemente y marcado de manera visible.

4.4 INSTALACIÓN Y ADECUACIÓN DE EQUIPOS ELÉCTRICOS

4.4.1 Generalidades. Todo equipo eléctrico será construido, instalado y sometido a mantenimiento no solamente con el fin de garantizar un adecuado desempeño operativo o funcional durante la vida útil de los mismos en el sistema eléctrico; sino, para salvaguardar a las personas de eventuales condiciones de peligro que surgen por falta de observancia y cumplimiento de normas, reglamentos, disposiciones, entre otros.

Es por lo anterior, que el presente apartado detallará métodos de la técnica para la instalación y adecuación de los equipos y componentes eléctricos en estaciones de suministro, sean estos de AC o DC; como apoyo en la búsqueda por consolidar sistemas eléctricos seguros.

De manera general, en términos de instalación, todos los equipos estacionarios deben ser apoyados y asegurados de una forma consistente, teniendo en consideración las condiciones de servicio esperadas. Se debe considerar que algunos equipos pesados, así como transformadores pueden ser asegurados en espacios para su peso. Sin embargo, equipos que generan fuerza dinámica, durante su operación, pueden requerir medidas adicionales apropiadas.

Luego de la instalación de los Equipos eléctricos y dispositivos, es preciso pensar en la adecuación de la instalación, es así que un buen ejemplo de este proceso lo representa la identificación de los equipos en el sistema al cual fue instalado, donde dichos componentes deben ser identificados para un uso y funcionamiento seguro. La identificación debe ser uniforme en cualquiera de las estaciones y las marcas de identificación no deben ser puestas en tapas o puertas removibles que puedan ser intercambiadas.

4.4.2 Protección eléctrica y mecánica de partes energizadas y móviles.

4.4.2.1 Protección eléctrica (Puesta a tierra de protección). Todos los equipos eléctricos que tengan exposición a partes metálicas que no son destinadas a transportar corriente, así como marcos de generadores, tableros de interruptores, cajas de transformadores, interruptores, palancas de aperturas, deberán tener una efectiva conexión a tierra o deben estar aislados físicamente. Todas las protecciones metálicas, incluyendo barandas, la cubierta de la valla, etc., alrededor de equipos eléctricos deben estar efectivamente conectadas a tierra.

Todas las puestas a tierra que pretenden ser una medida de protección permanente y efectiva, así como las puestas a tierra de pararrayos, circuitos puestos a tierra, equipos o canalizaciones de cables deben cumplir los métodos planteados en el capítulo 3*.

4.4.2.2 Protección mecánica (Protección de partes energizadas). Las protecciones o guardas deberán ser provistas alrededor de todas las partes energizadas que operen por encima de 150 V a tierra sin adecuado cubrimiento aislante, a menos que su ubicación proporcione suficiente distancia horizontal o

* Para información adicional, ver IEEE std 80-2000

vertical o la combinación de estas distancias, puedan limitar la probabilidad de accidentes por el contacto humano.

Las distancias de seguridad a partes energizadas, de cualquier superficie de apoyo permanente para los trabajadores, deberá ser igual o exceder cualquiera de las mostradas en la (Tabla 46) ilustradas en la (Figura 18).

Cada porción de partes energizadas a potencial indeterminado tales como cables telefónicos, expuestos a inducción de líneas a alto voltaje, conexión del neutro sin poner directamente a tierra, marcos sin poner directamente a tierra, partes de aisladores o de pararrayos que no están puestos directamente a tierra o cajas de instrumentos conectadas directamente a un circuito de alto voltaje, debe ser protegido de acuerdo a la (Tabla 46) e ilustradas en (Figura 18), en base al máximo voltaje que puede presentarse en la superficie de esa porción. La distancia vertical, por encima del nivel, a lo más hondo de tal parte, debe ser no menor a 2,6 m; a menos si es cerrada o protegida.

Las partes sobre o cerca de pasillos por el cual puede ser transportado material o cerca de espacios tales como corredores, almacenes, calderas usados para trabajos no eléctricos deberán ser protegidas o brindar distancias por encima a las especificadas, tal como pueda ser necesario para obtener razonable seguridad. La protección debe ser completamente blindada de tal manera que las partes energizadas queden completamente encerradas sin dejar aberturas. En espacios usados para trabajos no eléctricos, las protecciones debiera ser removible solo por medio de instrumentos o llaves.

4.4.2.3 Tipos de protecciones mecánicas o resguardos.

- *Ubicación y aislamiento físico.* Las partes que tienen igual o mayor distancia a la especificada en la (Tabla 46) son protegidas por ubicación. Las partes que

son protegidas por aislamiento, son cuando todas las entradas a los lugares encerrados, pistas, escaleras fijas y lugares similares son mantenidos cerrados, obstruidos o acordonados y las señales de seguridad son puestas en todas las entradas*.

- *Blindajes (pantallas) o encerramientos (recintos de protección).* No deberán ubicarse a una distancia más cercana de las partes con tensión, que aquella que se indica en la columna 4 de la (Tabla 46), excepto cuando es usado material aislante adecuado en circuitos de menos de 2,500 V a tierra. Las cubiertas o resguardos en cualquier momento deben ser reemplazados mientras las partes que ellos protegen están energizadas y deben ser arreglados de modo que no puedan ser fácilmente puestos en contacto con partes energizadas.
- *Barreras suplementarias o protecciones dentro de estaciones de suministro eléctrico.* Si la distancia vertical en la (Tabla 46) no puede ser obtenida, se puede usar barandas o vallas. Si se usan las barandas o las vallas, estas no deben ser menores a 1,07 m de altura y deben estar localizadas a una distancia horizontal de al menos 900 mm (y preferiblemente a no más de 1,20 m) del punto más cercano a la zona protegida que está a menos de 2,60 m por encima del nivel o piso, ver (Figura 19).
- *Alfombras.* Alfombras de caucho u otro material aislante adecuado, que cumple con la ASRM D 178-88 pueden ser usados en los tableros de interruptores, interruptores o maquinaria rotativa como protección suplementaria.
- *Partes energizadas por debajo de las superficies de apoyo para las personas.* Las superficies de soporte para las personas sobre partes energizadas, no

** ANSI Z535.1-1998, ANSI Z535.2-1998, ANSI Z535.3-1998, ANSI Z535.4-1998 y ANSI Z535.5-1998, contienen información con respecto a las señales de seguridad.

deben tener aberturas. Se debe proveer en todos los caminos piso aislado, como por ejemplo madera (de por lo menos 150 mm de altura) y pasamanos.

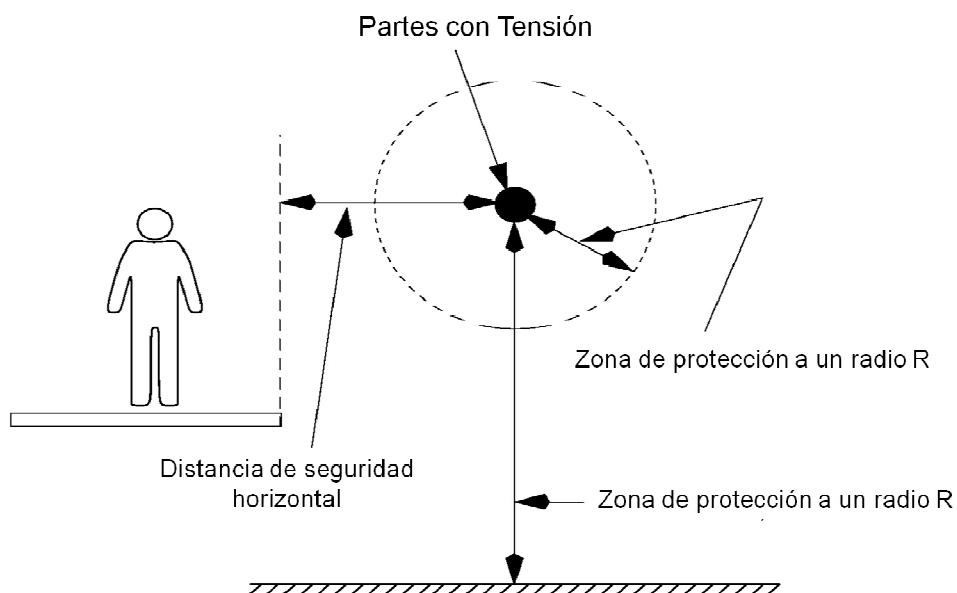
- *Cubrimiento aislante en conductores o partes energizadas.* Los conductores y partes energizadas pueden ser consideradas como protegidas por aislamiento si cada uno(a) tiene lo siguiente:
 - El cubrimiento aislante es de un tipo y espesor adecuado para el voltaje y condiciones bajo las cuales se esperan que operen; y si operan por encima de 2,500 V a tierra, teniendo aislamiento blindado metálico o blindaje semiconductor en combinación con un adecuado drenaje metálico, que es conectado a una tierra efectivamente.

EXCEPCIÓN: los conductores aislados no blindados, listados por una prueba de laboratorio calificado, deben ser permitidos para ser usados hasta 8,000 V (fase a fase) cuando los conductores cumplen los requisitos de la NTC2050 310-6.

- Barreras o cerramientos que son eléctricamente y mecánicamente adecuadas para las condiciones bajo las cuales se esperan que operen.

4.4.2.4 Resistencia mecánica de las protecciones o resguardos. Las protecciones o resguardos deben ser lo suficientemente fuertes y deben ser soportados rígidamente y con suficiente seguridad, para limitar la probabilidad de sus desplazamientos o peligrosas desviaciones causadas por el deslizamiento o caída de una persona contra ellos.

Figura 18. Distancias de seguridad a partes energizadas



Fuente: NESC

Tabla 46. Distancias de seguridad a partes con tensión

Parte A - Baja, media y alta tensión (En base a los factores BIL)²

Máxima tensión de diseño entre fases (1)	Nivel máximo de aislamiento ante el impulso ⁵ (BIL)	Distancia de seguridad vertical entre partes sin protección (2) ¹	Distancia de seguridad Horizontal entre partes sin protección (3) ¹	Distancia de seguridad las guardas a las partes con tensión (4) ¹
kV	kV	m	m	mm
1	2	3	4	5
0,151	-	2,64	1,02	50
2,4	-	2,67	1,02	76
7,2	95	2,69	1,02	101
15	95	2,69	1,02	101
15	110	2,74	1,07	152
25	125	2,77	1,09	177
25	150	2,82	1,14	228
35	200	2,90	1,22	304
48	250	3,00	1,32	406

Parte A - Continuación

1	2	3	4	5
72,5	250	3,00	1,32	406
72,5	350	3,18	1,50	584
121	350	3,18	1,50	584
121	550	3,53	1,85	939
145	350	3,18	1,50	584
145	550	3,53	1,85	939
145	650	3,71	2,03	1117
169	550	3,53	1,85	939
169	650	3,71	2,03	1117
169	750	3,91	2,24	1320
242	550	3,53	1,85	939
242	650	3,71	2,03	1117
242	750	3,91	2,24	1320
242	900	4,19	2,51	1600
242	1050	4,52	2,84	1930

Parte B- Extra alta tensión (en base a los factores de sobretensión transitoria de conmutación)²

Máxima tensión de diseño entre fases (1)	Factor de sobretensión transitoria de conmutación por unidad (A) ⁴	Sobretensión transitoria de conmutación línea a tierra (B) ⁴	Distancia de seguridad Vertical de las partes sin protección (2) ¹	Distancia de seguridad horizontal de las partes sin protección (3) ¹	Distancia de seguridad entre las guardas a partes energizadas (4) ¹
1	2	3	4	5	6
		kV	m	m	m
362 000	2,2 o menos	650	4,7	3,0	2,13
	2,3	680	4,9	3,2	2,30
	2,4	709	5,0	3,4	2,45
	2,5	739	5,2	3,6	2,60
	2,6	768	5,4	3,7	2,80
	2,7	798	5,6	3,9	3,0
	2,8	828	5,8	4,1	3,2
	2,9	857	6,0	4,3	3,4
	3,0	887	6,1	4,5	3,6
550 000	1,8 o menos	808	5,7	4,1	3,2
	1,9	853	5,9	4,3	3,4

Parte B. Continuación.

1	2	3	4	5	6
		kV	m	m	m
	2,0	898	6,2	4,6	3,6
	2,1	943	6,6	4,9	4,0
	2,2	988	6,9	5,2	4,3
	2,3	1033	7,2	5,5	4,6
	2,4	1078	7,5	5,8	4,9
	2,5	1123	7,9	6,2	5,3
	2,6	1167	8,2	6,6	5,6
	2,7	1212	8,6	7,0	6,0
800 000	1,5	980	6,8	5,1	4,2
	1,6	1045	7,3	5,6	4,7
	1,7	1110	7,8	6,1	5,2
	1,8	1176	8,3	6,6	5,7
	1,9	1241	8,8	7,2	6,2
	2,0	1306	9,4	7,7	6,8
	2,1	1372	10,0	8,3	7,4
	2,2	1437	10,6	8,9	8,0
	2,3	1502	11,2	9,5	8,6
	2,4	1567	11,8	10,0	9,2

Parte C- Extra alta tensión (basado en los Factores BIL)²

Máxima tensión de diseño entre fases (1)	Nivel básico de aislamiento ante el impulso ⁵ (BIL) (C) ⁴	Distancia de seguridad vertical a partes sin protección (2) ¹	Distancia de seguridad horizontal a partes sin protección (3) ¹	Distancia de seguridad entre las guardas a partes energizadas (4) ¹
	kV	m	m	m
362 000	1050	4,7	3,0	2,13
362 000	1300	5,2	3,6	2,60
550 000	1550	5,7	4,1	3,2
550 000	1800	6,2	4,6	3,6
800 000	2050	6,8	5,2	4,2

Parte- D Alta Tensión en corriente directa (en base a los factores de sobretensión transitoria)

Tensión Máxima de diseño del conductor a tierra	sobretensión transitoria por unidad (A)⁴	sobretensión transitoria línea a tierra (B)⁴	Distancia de Seguridad Vertical de partes sin protección	Distancia de Seguridad horizontal de partes sin protección	Distancia seguridad entre las guardas a partes energizadas¹
kV		kV	m	m	m
250	1,5 o menos	375	3,81	2,13	1,22
	1,6	400	3,89	2,22	1,30
	1,7	425	3,97	2,30	1,38
	1,8	450	4,05	2,38	1,46
400	1,5 o menos	600	4,54	2,87	1,95
	1,6	640	4,67	3,00	2,08
	1,7	680	4,88	3,21	2,29
	1,8	720	5,12	3,45	2,53
500	1,5 o menos	750	5,29	3,62	2,70
	1,6	800	5,60	3,92	3,01
	1,7	850	5,96	4,29	3,37
	1,8	900	6,35	4,67	3,76
600	1,5 o menos	900	6,35	4,67	3,76
	1,6	960	6,73	5,06	4,14
	1,7	1020	7,13	5,45	4,54
	1,8	1080	7,57	4,89	4,97
750	1,5 o menos	1125	7,90	6,23	5,31
	1,6	1200	8,44	6,76	5,85
	1,7	1275	9,06	7,38	6,47
	1,8	1350	9,72	8,04	7,13

Fuente. NESC

¹ Interpolación para valores intermedios. Las distancias de seguridad en la columna 4 de esta Tabla son únicamente para orientación, en la instalación de protección sin diseño de ingeniería definitivo y no son consideradas como requisito para el diseño de ingeniería. Por ejemplo, las distancias de seguridad en las Tablas citadas anteriormente no tienen la intención de referirse a las distancias de seguridad entre partes energizadas y los muros de las celdas, compartimientos o estructuras similares encerradas. No se aplica a las distancias de seguridad entre barras colectoras y estructuras de soporte, ni a distancias de seguridad entre la cuchilla de un interruptor desconectado y su base. Sin embargo, donde los dispositivos de protección de la fuente, son aplicados para proteger las partes energizadas, la distancia de seguridad vertical, columna 2 de (Tabla 46) parte A, puede ser reducida, proporcionando una distancia de seguridad no menor a 2,6 m mas la distancia eléctrica entre las partes energizadas y la tierra como límite de los dispositivos de protección de la fuente.

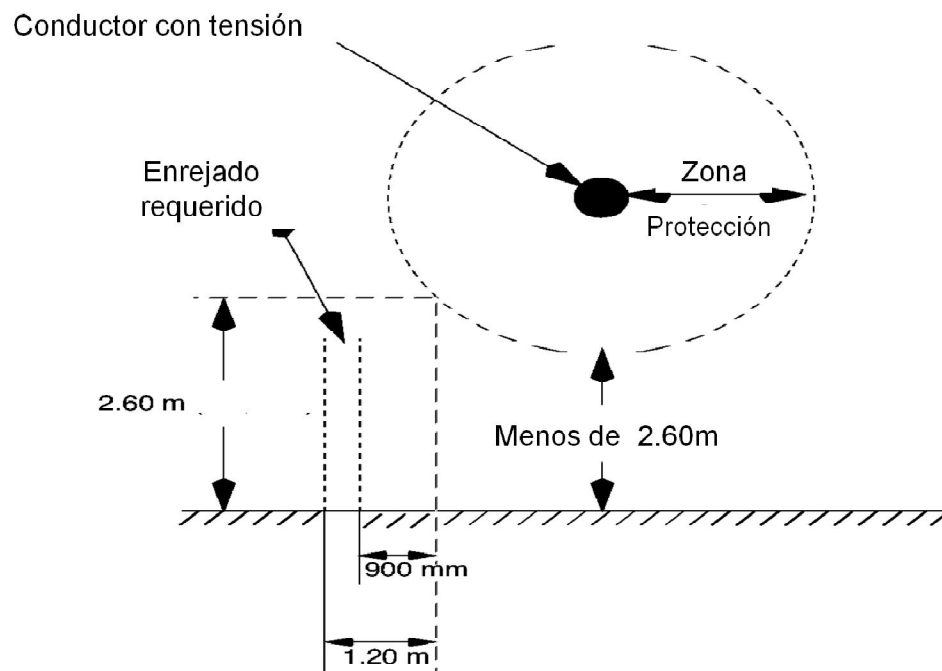
² Las distancias de seguridad deben satisfacer cualquiera de los requerimientos impuestos por sobretensión transitoria de conmutación o BIL, cualquiera que sea mayor.

³ El factor de sobretensión transitoria de conmutación, es una expresión de la máxima tensión de cresta de la sobretensión transitoria de conmutación en términos de la máxima tensión de cresta de operación línea a neutro del sistema de potencia.

⁴ Los valores de las columnas A, B y C son factores de diseño del sistema de potencia, que deben correlacionarse con la selección de las distancias de seguridad. Datos suficientes para apoyar a estos factores de diseño, deberían estar disponibles.

⁵ La selección del BIL de la estación, debe ser coordinado con los dispositivos de protección de la fuente, cuando el BIL es usado para determinar la distancia. BIL (Basic Impulse Insulation Level); para definición y aplicación, ver IEEE Std 1313-1993.

Figura 19. Enrejado utilizado como guarda



Fuente. NESC

4.4.2.5 Protección de los extremos de ejes, poleas, correas y partes móviles.

Las partes de equipos que realicen algún tipo de movimiento, de manera que las personas en las proximidades presenten gran potencial a ser heridas por tal movimiento, deben ser resguardadas o aisladas.

Los métodos para la protección de poleas, correas y otros equipos usados en la transmisión mecánica de potencia, deben ser acordes con ANSI/ASME B15.1-2000.

4.4.3 Espacios de trabajo respecto al equipo eléctrico.

4.4.3.1 En equipos que operan a 600 V o menos. El acceso y el espacio de trabajo deben ser provistos y mantenidos alrededor de los equipos eléctricos para permitir una fácil y segura operación y mantenimiento de tales equipos.

- *Espacios libres.* Cuando normalmente partes energizadas encerradas son expuestas para su inspección o revisión, el espacio de trabajo si es en un pasillo o un espacio generalmente abierto, deberá ser protegido.
- *Acceso y entrada al espacio de trabajo.* Al menos una entrada debe ser provista para dar acceso al espacio de trabajo alrededor de equipos eléctricos.
- *Espacio de trabajo.* El espacio de trabajo en la dirección del acceso a partes energizadas que operan a 600 V o menos, que requieren revisiones, ajuste o mantenimiento mientras esta energizado no debe ser menor a lo indicado en la (Tabla 47). En adición a las dimensiones mostradas en la (Tabla 47), el espacio de trabajo no debe ser menor a 750 mm de ancho en la parte frontal de los equipos eléctricos. Las distancias deben ser medidas de las partes energizadas, si están expuestas o de la caja frontal o la apertura de este. Concreto, ladrillos o muros de ladrillo deben ser considerados conectados a tierra.
- *La altura libre del espacio de trabajo.* La altura libre del espacio de trabajo alrededor de los tableros de interruptores o los centros de control, no debe ser menor a 2,13 m respecto al piso.

- *Espacio de trabajo en la parte frontal de los equipos.* En todos los casos donde hay partes energizadas normalmente expuestas en el frente de los tableros de interruptores o centros de control de motores el espacio de trabajo al frente de tales equipos no debe ser menor a 900 mm.

Tabla 47. Espacio de trabajo

Tensión a Tierra	Distancia		
	(mm) 1	(mm) 2	(mm) 3
0-150	900	900	900
151-600	900	1070	1200

Fuente: NESC

Donde las condiciones son las siguientes:

- 1 *Partes energizadas expuestas por un lado y las partes no energizadas o conectadas a tierra en el otro lado del espacio de trabajo o las partes energizadas expuestas por ambos lados, protegidas de manera efectiva mediante una barrera adecuada de madera u otro material aislante. Cables aislados o barras colectoras aisladas operando a no más de 300 V, no deben ser consideradas como partes energizadas.*
- 2 *Partes energizadas expuestas por un lado y las partes no energizadas o conectadas a tierra en el otro lado.*
- 3 *Partes energizadas expuestas en ambos lados del espacio de trabajo (no resguardadas como se estipula en la condición 1), con el operador en medio.*

EXCEPCIÓN: los espacios de trabajo no deben ser necesarios, en la parte posterior del montaje, así como en frentes muertos de los tableros de interruptores o de los centros de control de motores, donde no hay que cambiar o ajustar partes, tales como fusibles o interruptores en la parte de atrás y donde todas las conexiones son accesibles, desde lugares distintos a su reverso.

4.4.3.2 En equipos que operan a más de 600 V. Los espacios de trabajo deben estar en conformidad con la (Tabla 46) (distancias de seguridad a partes con tensión).

4.4.4 Lugares clasificados. En las instalaciones eléctricas en áreas clasificadas, deben conocerse los requisitos de la NTC 2050 (artículos 500 al 517). Las áreas

clasificadas en conformidad con la NTC 2050 (artículo 500) debe cumplir con los siguientes requisitos:

4.4.4.1 Áreas de manipulación de carbón.

- Espacios sin ventilación por dentro o por encima de depósitos de almacenamiento de carbón u otro cerramiento de almacenamiento de carbón y espacios de manipulación de carbón donde el metano puede acumularse en mezclas inflamables o explosivas, como se define en el artículo 500-5 de la NTC 2050 son clase I, división 1, lugares grupo D. Equipos eléctricos en otros lugares en que gases inflamables pueden existir, deben estar en conformidad con la NTC 2050 artículo 500-5 o el lugar debe ser adecuadamente ventilado.
- Existe adecuada ventilación, cuando el método de ventilación limitará la posibilidad de acumulación de cantidades significativas de concentración de aire de vapor por encima de 25% del límite inferior de inflamabilidad.
- Túneles por debajo de reservas o fuentes apiladas. Espacios dentro, sobre o por debajo de depósitos de almacenamiento de carbón u otras áreas encerradas de almacenamiento o manipulación de carbón, deben ser clase II, grupo F, lugares división 1 o división 2 como se determina por la NTC 2050.
- Secciones encerradas donde solo carbón húmedo es manipulado o secciones encerradas de manera aisladas como para estar libre de cantidades peligrosas de polvo de carbón no son clasificados. El carbón debe ser considerado húmedo, si suficiente chorros de agua son instalados y mantenidos para limitar la concentración atmosférica a 8% del total de volátiles atrapados o menos. (ver ASTM D 3175 para carbón y polvo de coque).

- Lugares completamente herméticos de polvo combustible pulverizado, estos sistemas diseñados e instalados en conformidad con la NFPA 8503-1997 no deben ser considerados como clasificados.
- Lámparas portátiles, para uso en los bunkers de combustibles o carboneras, deberán ser adecuadas para la clase II, lugares división 1.
- Herramientas con chispas eléctricas, no deberán ser usadas donde polvo combustible o nubes de polvo estén presente.
- El conductor de puesta a tierra de un equipo, debe ser llevado con los conductores de potencia y servidos a tierra los marcos de todos los equipos suministrados por ese circuito. El origen del conductor puesto a tierra debe ser:
 - Delta no conectado a tierra directamente o transformador-estrella con su estructura conectada a tierra.
 - Delta conectado a tierra o transformador-estrella conectado a tierra en el secundario.
 - Estrella conectado a tierra mediante un resistor, la conexión a tierra debe hacerse en el lado de la puesta a tierra del resistor.
- Los sistemas no puestos a tierra, deberían ser equipados con un dispositivo indicador de falla a tierra, que brinde a la vez una alarma visual y audible, en el evento en que una falla a tierra en el sistema ocurra.

4.4.4.2 Áreas con líquidos combustibles e inflamables.

- Un líquido inflamable, debe entenderse como un líquido que tiene un punto de inflamación inferior a 38 °C y tiene una presión de vapor que no excede los 275 kPa (absoluto) a 38 °C y debe ser conocido como un líquido clase I.
- Un combustible líquido, debe entenderse como un líquido que tiene un punto de inflamación inferior a 38 °C y tiene una presión de vapor que no excede los 275 kPa (absoluto) a 38 °C.
- Los líquidos clase I son subdivididos como sigue:
 - La clase IA incluye a esos que tienen un punto de inflamación inferior a 23°C y tienen un punto de ebullición inferior a 38°C.
 - La clase IB incluye a esos que tienen un punto de inflamación inferior a 23°C.
 - La clase IC incluye a esos que tienen un punto de inflamación superior a 23°C e inferior a 38°C.
- Los líquidos combustibles son subdivididos como sigue:
 - La clase II incluye a esos que tienen un punto de inflamación igual o superior a 38 °C, pero menor a 60 °C.
 - La clase IIIA incluye a esos que tienen un punto de inflamación igual o superior a 60 °C, pero menor a 93 °C.

- La clase IIIB incluye a esos que tienen un punto de inflamación superior o igual a 93 °C.

Los equipos eléctricos localizados en áreas con líquidos combustibles o inflamables deben ser instalados en conformidad con las secciones aplicables de la NFPA 30-2000 y la NTC 2050.

4.4.4.3 Sistemas de equipos para el suministro de hidrógeno gaseoso.

- En las zonas de almacenamiento al aire libre de hidrógeno gaseoso no debe haber líneas de potencia eléctrica por encima de estas.
- Consideraciones de seguridad en zonas específicas de almacenamiento.

Ubicación de los equipos eléctricos que son adecuados para áreas clasificadas clase I, división 2:

- Dentro de 4,6 m de los espacio de almacenamiento al aire libre.
- Dentro de lugares adecuadamente ventilados o en cuartos especiales para el almacenamiento de hidrógeno.
- Dentro de 7,6 m de un espacio de almacenamiento de hidrógeno en una construcción con adecuada ventilación y usada para otros propósitos.
- El espacio alrededor de los elementos del sistema de aceite de sellado de hidrógeno del generador, no será considerado clasificado para una instalación eléctrica, salvo donde la ventilación externa no sea provista en el sistema de drenaje.

- Espacios alrededor del sistema de tuberías de hidrógeno, más allá del punto donde el sistema de almacenamiento de hidrógeno conecta a la tubería de distribución, no debe ser considerado como clasificado para instalaciones eléctricas.

4.4.4.4 Sistemas de hidrógeno líquido.

- La ubicación del alambrado eléctrico y equipos localizados dentro de 900 mm del punto donde las conexiones y desconexiones son realizadas con regularidad, deben estar en conformidad con la NTC 2050, artículo 501, clase I, grupo B, división 1.
- Salvo lo dispuesto en el anterior párrafo, el alambrado eléctrico y los equipos eléctricos localizados dentro de 7,6 m, de un contenedor de almacenamiento de hidrógeno líquido, debe cumplir lo estipulado en la NTC 2050 artículo 501 para clase I, grupo B, división 2. Cuando los equipos eléctricos aprobados para atmósferas clase I grupo B no estén disponibles comercialmente, el equipo puede ser: (1) ventilado en conformidad con la NFPA 496-1998, (2) intrínsecamente seguro o (3) aprobado para atmósferas clase I, grupo C. Este requisito no aplica para los equipos eléctricos que son instalado en camiones móviles de suministro o carro-tanques para los cuales el contenedor de almacenamiento es completamente llenado.

4.4.4.5 Equipos móviles de hidrógeno. Las unidades móviles de suministro de hidrógeno que son usadas para reaprovisionar un sistema de hidrógeno deben ser unidas al sistema de puesta a tierra y a las partes conectadas a tierra del sistema de hidrógeno.

4.4.4.6 Azufre. El alambrado eléctrico y los equipos localizados en áreas donde el polvo de azufre está en suspensión, en mezclas inflamables o explosivas durante el funcionamiento normal, deberán ser adecuadas para la clase II, división 1, grupo G.

4.4.4.7 Oxígeno. Instalaciones con volúmenes de Oxígeno no son consideradas como lugares clasificados.

4.4.4.8 Gas licuado de petróleo (LPG). El alambrado eléctrico y equipos eléctricos instalados en áreas usadas para la manipulación, almacenamiento o utilización del LPG, deben ser instalados en conformidad con las secciones aplicables de la NFPA 58-1998, NFPA 59-1998 y la NTC 2050.

4.4.4.9 Gas natural (Metano). El alambrado eléctrico y equipos instalados en áreas usadas para la manipulación, almacenamiento o utilización del gas natural, deben ser instalados en conformidad con las secciones aplicables de la NFPA 59-1990 y la NTC 2050*.

4.4.4.10 Calderas. Al almacenar, manipular o quemar aceite combustible que tenga un punto de inflamación inferior a 38°C, la instalación debe ser conforme a la NFPA 30-2000 y a la NTC 2050**.

* La NFPA 497M-1997 [B41] y API RP500, 7 de enero 1998 [B9], proporciona guía adicional, para la clasificación de esas áreas.

** Se debe prestar atención a las instalaciones eléctricas en áreas donde vapores o gases inflamables puedan estar presentes en la atmosfera. Lugares típicos son las áreas de quema, áreas de equipos para la manipulación de combustible, áreas de almacenamiento de combustible, hoyos, sumideros y bajo los puntos donde fugas de combustible o vapores puedan ser acumulados. La NTC 2050 artículo 500 proporciona la clasificación de tales áreas y define los requisitos para las instalaciones eléctricas en las áreas que se clasifican como tal. Los hornos frente a tuberías y equipos deben ser diseñados y construidos para eliminar los riesgos de concentración de gases inflamables que existan continuamente, intermitentemente o periódicamente bajo condiciones normales de operación. Los hornos son completamente purgados antes de la separación para la limpieza, las operaciones de mantenimiento en frente de hornos no causaran concentraciones riesgosas de vapores inflamables que existen con frecuencia. Con tales disposiciones, el frente de horno no es normalmente clasificado más restrictivamente que el de una atmosfera clase I, división 2.

4.5 EQUIPOS ELÉCTRICOS

4.5.1 Equipos Rotativos.

4.5.1.1 Generalidades. Los equipos rotativos incluyen generadores, motores, motor generador y convertidores rotativos, los cuales deberían disponer de los siguientes criterios de seguridad.

4.5.1.2 Dispositivos de parada y control de velocidad.

- *Dispositivo de disparo automático de exceso de velocidad, para máquinas motrices.* Cuando puedan ocurrir sobre velocidades dañinas, los principales equipos impulsores de generación deberán estar provistos de dispositivos de disparo automáticos de exceso de velocidad, además de sus gobernadores (reguladores).
 - *Dispositivos manuales de detención.* Un dispositivo de iniciación y detención debe ser provisto para cualquier maquina que maneje un generador eléctrico de potencia o una maquina rotativa de suministro de potencia ininterrumpida (motor-generador). El dispositivo de iniciación y detención debe ser accesible al operador durante condiciones de operación normal. Controles manuales que se utilizaran en situaciones de emergencia para las máquinas y el equipo eléctrico, estos debe ser localizado de tal manera que proporcionen protección al operador en el evento de una emergencia.
 - *Límite de velocidad para motores.* Los siguientes tipos de máquinas deben ser previstas con dispositivos limitadores de velocidad, a menos que sus características inherentes a la carga, al igual que la conexión mecánica sean tales que limitan de manera segura la velocidad.
- Motores D.C. de excitación separada.

- Motores en serie.
- *Motores de velocidad ajustable.* Los motores de velocidad ajustable controlados por medio de la regulación del campo deberán en adición a los dispositivos limitadores de velocidad, estar equipados y conectados a ese campo, de forma tal que este no pueda ser debilitado lo suficientemente como para permitir velocidades peligrosas.
- *Protección de los circuitos de control.* Cuando los dispositivos limitadores de velocidad y/o sistemas de detención son operados eléctricamente, los circuitos de control por medio de los cuales dichos dispositivos son accionados deben estar protegido de daños mecánicos. Tales dispositivos y sistemas deberían ser de tipo desconexión automático.

4.5.1.3 Control del motor. Todos los arreglos de motores que dispongan de un arranque inesperado del motor y que puedan crear una exposición del personal a accidentes deben tener un circuito de control de motor, diseñado para bloquear la re-energización inesperada del motor después de una interrupción del suministro de potencia, a una suficiente duración para que el equipo móvil comience a quedar estacionario. El control del motor debe ser tal que un operador pueda tomar alguna acción para reiniciar el motor o mediante un reinicio automático precedido por señales de advertencia a un periodo de retardo suficiente, como para que el personal actúe y limite la posibilidad de lesión. Estos requisitos no aplican a aquellos motores para uso de emergencia y donde la apertura del circuito pueda causar condiciones menos seguras.

4.5.1.4 Protección contra cortocircuito. Se debe disponer de medios que desconecten automáticamente un motor eléctrico de la fuente de suministro, en el evento de una alta magnitud de corriente de cortocircuito dentro del motor.

4.5.2 Acumuladores.

4.5.2.1 Generalidades. Las disposiciones aquí recomendadas están orientadas a aplicarse a todas las instalaciones estacionarias de almacenamiento de baterías o acumuladores en estaciones de suministro eléctrico.

En este tipo de instalaciones se debe dejar espacio alrededor de las baterías para una segura inspección, mantenimiento, prueba, remplazo de celdas y dejar espacio encima de las celdas para permitir la operación de levantamiento del equipo y/o cuando se requiera adicionar agua y tomar medidas.

4.5.2.2 Ubicación. El almacenamiento de baterías debe ser localizado dentro de un recinto protegido o área accesible solo a personas calificadas, dichos espacios no deben estar sujetos a vibraciones perjudiciales que puedan originar desprendimientos de gases y desgastes prematuros. Un recinto protegido puede ser un cuarto de baterías, una carcasa o cerca que proteja los equipos y limiten la posibilidad de contacto inadvertido con partes energizadas.

En los cuartos de baterías no debe existir vapores de alcohol, amoníaco, ácido acético, clorhídrico, nítrico o residuos volátiles y dichos cuartos no deben tener comunicación directa con el centro de control

4.5.2.3 Ventilación. Los cuartos de almacenamientos de baterías deben permanecer secos y ventilados ya sea natural o por un sistema de ventilación por motor, para limitar la acumulación de hidrógeno por debajo de una mezcla explosiva.

4.5.2.4 Racks (Bastidores). Los racks se refieren a marcos diseñados para soportar las celdas o bandejas. Los racks deben estar firmemente anclados,

preferiblemente al piso. No se recomienda anclar al piso y a las paredes a la vez. Los racks (Bastidores) hechos de metal deben ser conectados a tierra.

4.5.2.5 Pisos en zonas de baterías. Los pisos en zonas de baterías debieran ser de un material resistente al acido, pintado con pintura resistente al acido. Debe disponerse de un contenedor para el derrame de electrolito.

4.5.2.6 Iluminación para zonas de baterías. Los accesorios de iluminación deben ser protegidos de daños físicos por resguardo o separación. Receptáculos e interruptores de iluminación deben estar ubicados fuera de la zona de baterías.

4.5.2.7 Facilidades de servicio.

- Se debe disponer de ropa adecuada y protección para los ojos en la zona de baterías para el mantenimiento e instalación, además de los siguientes implementos:
 - Gafas protectoras o protección facial.
 - Guantes resistentes al acido.
 - Delantales protectores y cubre zapatos.
 - Instalaciones de agua móvil o estacionaria o un agente neutralizador para el enjuague de ojos y piel.
- Se proporcionará señales de seguridad dentro y fuera de las salas de baterías, además de avisos con leyendas de prohibido fumar, encender chispas o fuego*.

* ANSI Z535.1-1998, ANSI Z535.2-1998, ANSI Z535.3-1998, ANSI Z535.4-1998 y ANSI Z535.5-1998, contienen información con respecto a las señales de seguridad.

4.5.3 Transformadores y reguladores.

4.5.3.1 Generalidades. La intención de las recomendaciones aquí planteadas, es establecer métodos o medios para la instalación y protección de este tipo de equipos eléctricos, un ejemplo de tales consideraciones puede ser: la de proporcionar protección contra los efectos por apertura accidental o daño de los conductores del circuito secundario de los CT's en la vecindad de circuitos primarios energizados a más de 600 V. Una apertura accidental o daño de los conductores del circuito secundario de los CT's pueden causar una tensión excesiva y posibles fenómenos disruptivos (arcos).

4.5.3.2 Protección de los circuitos secundarios del transformador de corriente cuando se exceden los 600 V. Los circuitos secundarios cuando están en la vecindad de circuitos primarios que exceden los 600 V deberían tener el cableado secundario debidamente protegido por medio de: conductos, una cubierta o alguna otra protección, excepto, para cortas longitudes del conductor dirigidas directamente a los terminales del transformador. Cualquier cobertura metálica usada debe ser efectivamente conectada a tierra, dando apropiada atención a las corrientes circulantes. Los transformadores de corriente deberán estar provistos para cortocircuitar el bobinado secundario.

4.5.3.3 Puesta a tierra de los circuitos secundarios de los transformadores de medida. Los circuitos secundarios de los transformadores de medida deben estar efectivamente conectados a tierra, donde los requerimientos funcionales lo permitan.

4.5.3.4 Ubicación y disposición de los transformadores y reguladores de potencia.

- *Instalaciones al aire libre.*

- Transformadores y reguladores de potencia deberán ser instalados de manera tal que todas las partes energizadas estén encerradas o protegidas, a fin de limitar el riesgo de contacto inadvertido. La cubierta o carcasa debe estar efectivamente conectada a tierra o resguardada.
- La instalación de los transformadores llenos de líquido deberá utilizar uno o más de los siguientes métodos para minimizar los peligros de incendio. El método que le aplique, deberá estar de acuerdo con el grado de riesgo de incendio. Algunos métodos son el uso de: líquidos menos inflamables, espacio de separación, barreras resistentes al fuego, sistema de extinción automática, camas de absorción y recintos que confinen el líquido por la ruptura del tanque del transformador.
- *Instalaciones internas.*
 - Los transformadores y reguladores de 75 kVA y superiores que contengan una apreciable cantidad de líquido inflamable y localizado en interiores, deben ser instalados en cuartos ventilados o bóvedas separadas por muros cortafuegos. Las puertas al interior de la construcción deben estar equipadas con puertas cortafuegos y deben tener medios para contener el líquido.
 - Transformadores y reguladores de tipo seco o que contengan un líquido o gas no inflamable pueden ser instaladas en construcciones sin recintos a prueba de fuego. Cuando se instalen en una construcción usada para fines distintos de la estación, la carcasa o el recinto debe ser diseñado de modo tal que todas las partes energizadas estén encerradas y el cubrimiento conectado a tierra. Como alternativa la unidad de entrada puede ser cerrada a fin de limitar el riesgo de contacto inadvertido de personas con cualquier parte del cubrimiento o cableado. Cuando se instale el conducto de alivio de presión en una unidad que contenga un líquido no biodegradable, este debe ser equipado con un medio para la absorción de gases tóxicos.

- Transformadores que contengan menos líquido inflamable, pueden ser instalados en una estación de suministro, de tal manera que se reduzca al mínimo los riesgos de incendio. La cantidad de líquido contenido, el tipo de protección eléctrica y el tanque de ventilación, deben ser considerados en la selección de estructuras o del espacio de separación de los materiales combustibles, líquido confinado, barreras resistentes al fuego, cerramientos o sistemas de extinción.

4.5.3.5 Protección de cortocircuito para los transformadores de potencia.

Los transformadores de potencia deben estar provistos con medios de desconexión automática de la fuente de suministro de corriente, para una alta magnitud de cortocircuito (falla), dentro del transformador.

Los dispositivos para la desconexión automática de la fuente de suministro, puede ser: un interruptor automático de circuito, un dispositivo de maniobra de circuitos, fusible, tiristor de bloqueo u otro método razonable de forma local o remota conectado al transformador. Esto incluye desconectar la fuente generadora del campo eléctrico junto con la fuente de energía mecánica en caso de detectar una falla, sea arriba del generador o en la estación auxiliar del transformador. La eliminación de una sola fase en lugar de las tres fases para extinguir la corriente de corto circuito es aceptable.

EXCEPCIÓN: Los transformadores que no sean transformadores de potencia están exentos de esta recomendación.

4.5.4 Dispositivo de protección contra sobretensiones (pararrayos fase a tierra).

4.5.4.1 Generalidades. En caso de que sean necesarios los descargadores de sobretensiones (pararrayos fase a tierra), estos deberán de estar ubicados tan cerca como sea posible de los equipos que protegen*.

* Ver IEEE Std C62.1-1989 [B37] y IEEE Std C62.11-1999 para información adicional.

Deberá tenerse en cuenta lo que se desea proteger, la influencia de la altitud de instalación, el tipo de conexión del sistema eléctrico, el manejo de energía y la importancia de la influencia del medio circundante al dispositivo protección.

4.5.4.2 Ubicación en interiores. Los pararrayos, si son instalados en el interior de edificios deben ser encerrados o deben estar localizados bien lejos de pasillos y partes combustibles.

4.5.4.3 Conductores de puesta a tierra. Los conductores puestos a tierra deberán estar dispuestos lo más directamente entre el pararrayos y la tierra, estos deben ser de baja impedancia y amplia capacidad de transporte de corriente, al igual que deben estar conectados a tierra en conformidad con los métodos descritos en el capítulo 3.

4.5.4.4 Instalación. Los pararrayos deben ser instalados de tal manera que el lugar no esté expuesto a gases, ni que la desconexión del pararrayos se realice directamente sobre partes con tensión en su proximidad.

4.5.5 Circuit breakers, reclosers, switches y fusibles.

4.5.5.1 Generalidades. Los circuitos breakers, reclosers, switches y fusibles deberían ser utilizados en lo que respecta a sus asignaciones de tensión y corrientes continuas y momentáneas. Los dispositivos que son destinados para interrumpir corriente de falla, deben ser capaz de interrumpir seguramente la máxima corriente de cortocircuito, que estén destinados a interrumpir y para las circunstancias bajo las cuales son diseñados para operar. La capacidad de interrupción deberá ser revisada antes de cada cambio significativo del sistema.

4.5.5.2 Disposición. Los circuitos breakers, reclosers, switches y fusibles deben ser instalados de modo que solo sean accesibles a personal calificado para su

operación y mantenimiento. Muros, barreras, puertas con cerradura, ubicación, separación, u otros medios deben ser proporcionados para proteger las personas de partes energizadas y/o de arcos eléctricos. Marcas visibles (tales como números / letras / símbolos), deben ser proporcionados en cada dispositivo, a fin de facilitar la identificación por parte de los trabajadores autorizados para operar el dispositivo. La identificación de los dispositivos no debe ser duplicada dentro de la misma estación de suministro. Cuando las partes de contacto de un dispositivo de conmutación no están normalmente visibles, el dispositivo debe estar equipado con un indicador que muestre la posición normal de operación.

4.5.5.3 Circuitos breakers, reclosers y switches, que contengan aceite. Los dispositivos de circuitos interruptivos contenidos en líquido inflamable, deben estar adecuadamente separados de otros equipos y construcciones, para limitar daños en el caso de una explosión o un incendio. La separación puede ser proporcionada por espaciamiento, por barreras de muros resistentes al fuego o por cubículos de metal.

Las rejillas de escape de gas deberían ser equipadas con dispositivos separadores de aceite o por tubos a un lugar seguro. Deben ser proporcionados medios para el control del aceite que puede ser descargado por escapes o por ruptura del tanque. Esto puede lograrse mediante camas de absorción, pozos, desagües o por una combinación de los mismos. Construcciones o cuartos que alojen estos equipos deben ser construcciones resistentes al fuego.

4.5.5.4 Switches y dispositivos de desconexión.

- *Capacidad.* Los switches deben ser de adecuada tensión y corriente, impuestos por el circuito al cual son instalados. Switches usados para interrumpir la corriente de carga, deben estar marcados o rotulados con la corriente nominal que interrumpen.

- *Disposiciones para la Desconexión.* Switches y seccionadores deben estar dispuestos, para que puedan ser bloqueados en las posiciones abierto y cerrado o claramente etiquetados donde no sea práctico instalar cerraduras. Para dispositivos que son operados remotamente y automáticamente, el circuito de control debe ser provisto con un medio seguro de desconexión cerca del aparato para limitar la posibilidad de operación accidental del mecanismo.
- *Switch de apertura visible.* Un switch de apertura visible o seccionador debe ser insertado en cada conductor no conectado a tierra (o conductor de fase), entre el equipo de suministro eléctrico o las líneas y las fuentes de energía a más de 600 V, si el equipo o las líneas tienen que trabajar sin la protección de puesta a tierra mientras las fuentes puedan estar energizadas.

4.5.5.5 Desconexión de fusibles. Fusibles en circuitos a más de 150 V a tierra o a más de 60 A, deben ser clasificados como fusibles de desconexión o serán dispuestos antes de su manipulación:

- Los fusibles pueden ser desconectados de todas las fuentes de energía eléctrica, o
- Los fusibles pueden ser convenientemente removidos por medio de manijas aislantes. Los fusibles pueden ser usados para desconectar la fuente cuando estén indicados para ello.

4.5.6 Switchgear (dispositivos de maniobra).

4.5.6.1 Requisitos generales para todo Switchgear. A continuación se indicarán algunas condiciones generales para el montaje, la instalación, adecuación y el

mantenimiento que debe cumplir cualquier dispositivo de maniobra, en las estaciones de suministro eléctrico, así:

- Para reducir al mínimo movimientos, todo switchgear debe estar asegurado de una manera consistente con las condiciones de servicio y con las instrucciones del fabricante.
- El cable enrutado al switchgear debe estar soportado para minimizar fuerzas aplicadas a los terminales del conductor.
- Las tuberías que contenga líquidos, corrosivos o gases peligrosos, no debe ser enrutado en la vecindad del switchgear, a menos que adecuadas barreras sean instaladas para proteger el switchgear de daños, en el evento de una falla de la tubería.
- Los switchgear no deben estar localizados donde gases o líquidos inflamables o corrosivos ajenos a su índole sean normalmente y rutinariamente descargados. Equipos tales como transformadores y switchgear no se consideran foráneos.
- Los switchgear no deberían ser instalados en lugares que aun están en construcción, especialmente donde se requiera soldar y fundir directamente encima. Especiales precauciones deberían ser observadas para minimizar la incidencia de residuos, limaduras de metal, humedad, polvo o partículas calientes.

EXCEPCIÓN: Los switchgear pueden ser instalados en un área de construcción, si una adecuada protección temporal es proporcionada para minimizar el riesgo asociado con las actividades de construcción.

- Deben ser tomadas las precauciones para proteger el switchgear energizado de daños, cuando se realice mantenimiento en el área.
- La base de la caja del switchgear no debe ser usada como soporte físico para cualquier artículo, a menos que específicamente se diseñe para tal propósito.
- El interior del recinto no debe ser usado como área de almacenamiento, a menos que específicamente se diseñe para tal propósito.
- Las carcasas metálicas de instrumentos deben estar conectados a tierra y encerrados en cubiertas de metal conectadas a tierra o de material aislante.

4.5.6.2 Recinto metálico para switchgear de potencia.

- Los switchgear no deben estar localizados dentro de 7,6 m horizontalmente en interiores o a 3 m en exteriores de contenedores de almacenamiento, recipientes, equipos de utilización o dispositivos que contengan líquidos o gases inflamables.

EXCEPCIÓN: Si es instalada una barrera diseñada para minimizar los potenciales efectos de los líquidos o gases inflamables, las distancias listadas arriba no aplican. Las restricciones no están destinadas a aplicarse a los transformadores de potencia que suministran al switchgear.

- Los cuartos o recintos de los switchgear, deben tener como mínimo dos medios de salida, uno a cada extremo del área, no necesariamente en paredes opuestas. Las puertas deben oscilar hacia fuera y estar equipadas con barras de anti pánico, chapas de presión, u otros dispositivos que son normalmente asegurados, pero abiertas bajo simple presión.

EXCEPCIÓN: una puerta puede ser usada cuando sea requerido por las limitaciones físicas, si son previstos medios para no obstaculizar la salida durante emergencias.

- Debe ser mantenido el espacio en frente del switchgear para permitir a los breakers ser retirados y cambiados sin obstrucción.
- Debe ser mantenido el espacio posterior del switchgear para permitir la apertura de la puerta al menos abierta 90 grados o un mínimo de 900 mm sin obstrucción, cuando se utilizan paneles extraíbles.
- Dispositivos montados permanentemente tal como tableros, etc., localizados en las paredes, no deben invadir el espacio posterior del switchgear.
- Columnas que se extienden en el cuarto más allá de la superficie de la pared, la cara de la columna no deben invadir el espacio posterior del switchgear.
- Cables o conductores de baja tensión, excepto esos que están conectados a equipos dentro del compartimiento, no deben ser enrutados por las divisiones de medio o alto voltaje del switchgear, a menos que se instalen en un conducto de metal rígido o estén separado por barreras de metal rígido.
- Conductores de baja tensión en la ruta de secciones de medio o alto voltaje del switchgear, deben terminar en secciones de bajo voltaje antes de que sean dirigidas al exterior del switchgear.
- Los conductores que entran al switchgear deben ser aislados para el más alto voltaje de operación de ese compartimiento o ser separados de conductores aislados de otros voltajes nominales.
- Los recintos de switchgear deben ser adecuados para el medio al cual son instalados.

- Una señal de seguridad debe ser colocada en cada cubículo que contenga más de una fuente de alta tensión*.
- La ubicación de los dispositivos de control debe ser fácilmente accesible al personal. Instrumentos, relays y otros dispositivos que requieren lectura o ajustes, deberían ser colocados de manera que la actividad pueda ser realizada fácilmente en el espacio de trabajo.

4.5.6.3 Frente muerto de tableros de potencia. El frente muerto de tableros de potencia sin aislamiento en las conexiones posteriores, deberá ser instalado en cuartos o espacios que sean aptos para ser bloqueados, con acceso limitado a personal calificado.

4.5.6.4 Centros de control de motores.

- Los centros de control de motores no deben ser conectados a sistemas con mayor capacidad de cortocircuito que aquella que su barra pueda resistir. Donde se empleen fusibles para limitar la corriente en el lado de la fuente de la barra, la resistencia de la barra y el valor de interrupción nominal del breaker se determinarán por la máxima característica de paso del fusible limitador de corriente.
- Una señal de seguridad debe ser colocada en cada cubículo que contenga más de una fuente tensión*.

* ANSI Z535.1-1998, ANSI Z535.2-1998, ANSI Z535.3-1998, ANSI Z535.4-1998 y ANSI Z535.5-1998, contienen información con respecto a las señales de seguridad.

* *Ibíd.*

4.5.6.5 Tableros de control.

- Gabinetes que contengan dispositivos lógicos de estado sólido, tubos electrónicos o relays, dispositivos lógicos o analógicos, computadoras, inversores, etc., son cubiertas bajo estas reglas.
- Donde se instalen tapetes en cuartos que contengan tableros de control, estos deben ser de tipo antiestático y deben minimizar la corrosión, los gases tóxicos etc., bajo cualquier condición.
- El diseño de la instalación debe proporcionar espacio suficiente al frente o detrás de los paneles como sea aplicable, a fin de permitir leer las medidas sin el uso de taburetes o dispositivos auxiliares.
- Cuando sea necesario el acceso del personal a los paneles de control, tales como tableros de banco, los cuales deberán ser instalados a través de aberturas separadas del acceso al personal. Los paneles desmontables, deslizantes o paneles con bisagras, serán instalados cerca del acceso al personal cuando no estén siendo utilizados.

4.5.7 Recintos metálicos para barrajes.

4.5.7.1 Requisitos generales para todo tipo de barraje. Los recintos de barrajes metálicos deben ser aprobados para su uso, deben estar instaladas solo en áreas accesibles a personal calificado; no deben ser instalados donde estén sujetos a daños físicos o a vapores corrosivos, en sitios donde se levante carga pesada o en cualquier lugar clasificado como peligroso, ni en exteriores o en lugares húmedos.

En el sitio de anclaje de los recintos de barrajes metálicos debe mantenerse cerrado y estos deberán ser marcados con el voltaje y corriente nominal para el cual son diseñados, de tal manera que sea visible después de la instalación.

4.5.7.2 Barra de fase aislada.

- La mínima distancia de seguridad entre la barra de fase aislada y cualquier material magnético debe ser la distancia recomendada por el fabricante para evitar el sobrecalentamiento del material magnético.
- El conducto no magnético deberá ser usados para proteger los conductores para los dispositivos de alarma de la barra, tal como termocuplas (termopares), calentadores de ambiente etc., si son dispuestas dentro de las distancias mínimas recomendadas por el fabricante para materiales magnéticos y en paralelo al recinto de la barra de fase aislada.
- Cuando se proporcionen desagües en el recinto de la barra de fase aislada, necesariamente se deben proveer tuberías para desviar el agua lejos de los equipos eléctricos.
- Las placas de pared para separar la barra de fase aislada, no deben ser magnéticas, tales como aluminio o acero inoxidable.
- los conductores de puesta a tierra para los accesorios de la barra de fase aislada, no deberían ser enrutados a través de conductos ferrosos.

4.5.8 Conductores.

4.5.8.1 Generalidades. Los cables y pasa tapas deben ser de materiales retardantes a la llama o con aislamiento de material auto extinguido donde exista la posibilidad de producirse arcos eléctricos o cuando estén expuestos a medios adversos.

Los conductores deben ser adecuados para la ubicación, uso y tensión. Los conductores deben tener la capacidad de corriente adecuada para su aplicación.

4.5.8.2 Protección eléctrica.

- *Requisitos para la protección contra la sobrecorriente.* Los conductores y el aislamiento, deberán ser protegidos contra el calentamiento excesivo mediante el diseño del sistema y a través de dispositivos de sobrecorriente, alarma, indicación o desconexión.
- *Conductores conectados a tierra.* Los conductores normalmente conectados a tierra para la protección de personas deben ser dispuestos sin protección de sobrecorriente, u otro método que pueda interrumpir su continuidad a tierra.
- *Aislamiento de cables de potencia.* Los circuitos con cables de potencia aislados, deberán ser provistos con protección contra cortocircuito que separe o aisle el cortocircuito de la fuente de alimentación o suministro.

4.5.8.3 Protección mecánica y apoyo.

- Todos los conductores deben estar adecuadamente soportados para resistir fuerzas causadas por la máxima corriente de cortocircuito a las cuales pueden estar sujetas. Cuando los soportes de los conductores estén extendidos fuera

de la estación de suministro eléctrico, tales conductores y sus soportes, deben cumplir con los requerimientos del grado de construcción, resistencia y carga.

- Donde los conductores, el aislamiento de conductores o los soportes de conductores puedan estar sujetos a daños mecánicos, carcasas, armaduras, u otro medio debe ser empleado para limitar la posibilidad de daño o perturbación.

4.5.8.4 Separación. Todos los conductores aislados no apantallados a más de 2500 V a tierra y conductores desnudos a más de 150 V a tierra, deben estar separados por elevación y protegidos.

4.5.8.5 Terminales del conductor.

- *Aislamiento.* Las terminaciones y uniones de conductores aislados, salvo que se protejan adecuadamente, deben tener cubrimiento aislante equivalente a las otras partes del conductor.
- *Revestimiento de metal o cable blindado.* El aislamiento de los conductores donde deja el revestimiento de metal o el blindaje, deberá estar protegido de daños mecánicos, humedad y excesivo esfuerzo eléctrico.

5. LÍNEAS AÉREAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO [1], [2], [3], [4]

5.1 VISIÓN GENERAL

Este capítulo brinda parámetros y criterios técnicos de seguridad necesarios para garantizar la seguridad en las líneas aéreas de suministro eléctrico, las líneas de comunicaciones asociadas a líneas aéreas de suministro eléctrico. Las recomendaciones propuestas en el actual capítulo se basan, entre otras en: la ubicación, la accesibilidad, la protección eléctrica y mecánica, las distancias de seguridad, la señalización de seguridad y la identificación de los componentes de estos tipos de instalaciones.

En este capítulo, las recomendaciones para la instalación y adecuación de las líneas aéreas de suministro eléctrico serán agrupadas y nominadas, así: **PARÁMETROS Y CRITERIOS GENERALES DE LAS LÍNEAS AÉREAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO, RELACIONES ENTRE LAS DIVERSAS CLASES DE LÍNEAS Y EQUIPOS, AISLAMIENTO DE LA LÍNEA**. Los parámetros y criterios presentados incluyen disposiciones físicas de las líneas y sus elementos, espacios y aislamiento.

Es necesario tener en cuenta, la dependencia del presente Capítulo con lo establecido en el -RETIE-. Además, serán tomados como referencia las recomendaciones dadas en el Capítulo 1, las distancias de seguridad dadas en el (Capítulo 2) del presente documento, los Métodos de puesta a tierra planteados en el (Capítulo 3).

5.2 PARÁMETROS Y CRITERIOS GENERALES PARA LÍNEAS AÉREAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO

5.2.1 Accesibilidad. Todas las partes que deban ser examinadas o ajustadas durante su funcionamiento, deben ser dispuestas de manera tal que sean

accesibles al personal autorizado, por la provisión de adecuados espacios de escalamiento, espacios de trabajo, instalaciones de trabajo y distancias entre conductores, (Ver Capítulo 2).

5.2.2 Puesta a tierra de circuitos y puesta a tierra de protección eléctrica en estructuras de soporte y equipos. Las líneas de suministro eléctrico deberían cumplir con lo dispuesto en el capítulo 3 “Sistemas de Puesta a Tierra para Instalaciones de Suministro Eléctrico”.

5.2.2.1 Métodos. Los requisitos para la puesta a tierra, debe estar en conformidad con la aplicación de los métodos dados en el capítulo 3.

5.2.2.2 Uso de la tierra como parte del circuito.

- Los circuitos de suministro no deberán ser diseñados para usar normalmente la tierra como único conductor de cualquier parte del circuito.
- El funcionamiento mono-polar de un sistema HVDC bipolar es admisible para emergencias y periodos limitados de mantenimiento.

5.2.2.3 Partes no destinadas a transportar corriente.

- *General.* Las estructuras de soporte metálicas o estructuras de soporte reforzadas en metal, incluyendo postes de luz, conductos metálicos y canalizaciones, cable con revestimiento metálico, cables mensajeros, marcos metálicos, perchas de los equipos, cajones, switches de manivela metálica, varas de operación deben estar efectivamente conectadas a tierra.

EXCEPCIÓN 1: Esta recomendación no aplica a marcos metálicos, perchas de los equipos, cajones, switches de manivela metálica, varas de operación que están a 2,45 m o por encima de las superficies de fácil acceso o de lo contrario serán aisladas o protegidas.

EXCEPCIÓN 2: Esta recomendación no aplica a los recubrimientos de equipos separados o protegidos en ciertas aplicaciones especiales, así como capacitores en serie, donde es necesario que la envoltura del equipo este o sin conectar a tierra o conectado al circuito. Tales recubrimientos deben ser considerados como energizados y deben estar adecuadamente identificados.

EXCEPCIÓN 3: Esta recomendación no aplica a recubrimientos de equipos, marcos, perchas de equipos, conductos, mensajeros, canalizaciones y cables con funda o que soporte solo conductores de comunicación, con tal que no estén expuestos al contacto abierto con conductores de suministro superiores a 300 V.

- *Templetes de vano y anclaje.* Los templetes de vano y anclaje deberán ser efectivamente conectados a tierra si estos están dispuestos en estructura que transportan cualquier conductor de suministro a más de 300 V o si es vulnerable a una energización accidental por tales conductores debido a un conductor o templete flojo.

EXCEPCIÓN: Cuando los templetes tienen uno o más aisladores, estos no requieren ser puestos a tierra.*

- *Alambres de suspensión que soportan luminarias o semáforos.* Los alambres de suspensión que soportan luminarias o semáforos deben ser conectados a tierra de manera efectiva.

EXCEPCIÓN: Cuando uno o más aisladores de alambre de suspensión, que cumplen con las recomendaciones del numeral 5.4.10.2, están insertados en un alambre de suspensión de luminaria o de semáforo, el alambre de suspensión no requiere ser puesto a tierra.

- *Alambres de suspensión que soportan conductores de contacto de trole o de vía férrea eléctrica.* Los alambres de suspensión que soportan conductores de contacto de trolebús o de vía férrea eléctrica, deben ser conectados a tierra de manera efectiva, en las estructuras.

EXCEPCIÓN: Cuando uno o más aisladores de alambre de suspensión, que cumplen con las recomendaciones del numeral 5.4.10.2., están insertados en un alambre de suspensión de conductores de contacto, el alambre de suspensión no requiere ser puesto a tierra.

Para propósitos de este criterio, si un templete de vano y su templete de anclaje asociado están enlazados juntos, estos pueden ser considerados como un solo templete.

- *Uso de aisladores en templetes de anclaje, templetes de vano y en alambres de suspensión que soportan luminarias y semáforos.* Cuando se usan los aisladores en lugar de la conexión a tierra, en los templetes de anclaje, templetes de vano o en alambres de suspensión que soportan luminarias y semáforos, los aisladores deben ser instalados como sigue:
 - Todos los aisladores del templete o aisladores de alambres de suspensión deberán ser ubicados en una posición tal, que la parte inferior del aislador no quede a menos de 2,5 m sobre el suelo, cuando el templete o el alambre de suspensión se rompa debajo del aislador.
 - Los aisladores deben ser ubicados de tal forma que, en caso de que cualquier templete o alambre de suspensión haga contacto con o sea contactado por un conductor o parte energizada, la tensión no sea transferida a otras instalaciones en la estructura o estructuras.
 - Los aisladores deben ser ubicados de tal forma que en caso de que algunas flechas del templete o de alambres de suspensión caigan sobre otra, los aisladores no se vuelvan ineficaces.
- *Uso de aisladores en alambres de suspensión que soportan conductores de contacto de trole o de vía férrea eléctrica.*
 - Todos los alambres de suspensión que soportan conductores de contacto de trole o de vía férrea eléctrica, incluyendo los alambres de suspensión en la ménsula, deberán tener un aislador apropiado (además de un soporte de suspensión aislado en caso de ser usado) insertado entre cada punto de apoyo del alambre de suspensión y la luminaria o conductor de contacto de trole soportado.

EXCEPCIÓN 1: Se puede permitir aisladores simples, provisto tal como un soporte de suspensión aislado, cuando el alambre o ménsula de suspensión es sostenido en postes de madera que soportan sólo trole, alimentador de vías férreas o conductores de comunicación utilizados en la operación de la vía férrea involucrada.

EXCEPCIÓN 2: No se requieren aisladores, si el alambre de suspensión está puesto a tierra de manera efectiva.

EXCEPCIÓN 3: Esta recomendación no se aplica a las derivaciones de los alimentadores aislados utilizados como alambres de suspensión.

- En caso de que no se utilicen soportes de suspensión aislados, el aislador deberá estar ubicado de tal manera que en caso un alambre se rompa, la parte del alambre de suspensión con energía aplicada no pueda ser alcanzada desde el piso.
- *Aisladores usados para limitar la corrosión galvánica**. Un aislador en el cable del templete usada exclusivamente para la limitación de la corrosión galvánica de metales, en las varillas de puesta a tierra, anclajes, varillas de anclaje o tuberías en un sistema efectivamente puesto a tierra, deberá cumplir las recomendaciones del numeral 5.4.10.1 y se instalará de modo que:
 - La parte superior se conecte a tierra de manera efectiva, de acuerdo con el numeral 4.2.2.3.
 - La parte superior de los aisladores usados para limitar la corrosión galvánica, debe ser instalada a una altura que quede debajo de los conductores y sus partes energizadas.
- *Múltiples cables mensajeros en la misma estructura*. Los cables mensajeros de comunicación expuestos a contactos con potencia, a tensiones inducidas o a rayos, deben ser enlazados juntos, a los intervalos especificados en el Capítulo 3.

* Véase el numeral 5.4.10.1

5.2.3 Distancias de Seguridad. Las líneas aéreas de suministro eléctrico deberán cumplir con lo dispuesto en el capítulo 2.

5.2.4 Estructuras de soporte de líneas aéreas de suministro eléctrico.

5.2.4.1 Generalidades de estructuras de transmisión. En cuanto a estructuras de apoyo de líneas de transmisión, la empresa propietaria de una estructura o apoyo de línea de transmisión, debe asegurarse que las mismas cumplan los siguientes requisitos⁸:

- *Por diseño.*
 - *Quien diseñe la estructura deberá demostrar mediante cálculos, que ésta cumple los requerimientos para la aplicación prevista, basados en las características técnicas de los elementos componentes, previamente certificados.*
 - *En su diseño constructivo siempre se debe tener en cuenta la accesibilidad a todas sus partes por el personal calificado, de modo que pueda ser realizada fácilmente la inspección y conservación de la misma.*
 - *En la etapa de diseño se deben considerar las condiciones sísmicas de la zona donde se instalan las estructuras y de acuerdo a las mismas, escoger los materiales de las estructuras o apoyos de transmisión y preparar la construcción e instalación.*
- *Por material y condiciones físicas.*

⁸ Op.Cit. RETIE

- *Los materiales empleados en la fabricación de las estructuras deben garantizar los requerimientos mecánicos apropiados para la aplicación y presentar una resistencia elevada a la corrosión y en el caso de no presentarla por sí mismos, deben recibir los tratamientos protectores para tal fin, los materiales o productos terminados deben cumplir los requisitos de norma técnica internacional, de reconocimiento internacional o NTC que les aplique y debe demostrarlo mediante certificado de producto.*
- *Siempre deben cumplir las condiciones de resistencia y estabilidad necesarias al empleo a que se destinen.*

5.2.4.2 Generalidades de estructuras de distribución. Por otra parte las redes de distribución se soportarán sobre estructuras tales como torres, torrecillas, postes de concreto en cualquiera de sus técnicas de construcción (armado o pretensado); postes de hierro, postes de madera, acrílicos u otros materiales; siempre que cumplan con los siguientes requisitos adoptados por el Reglamento Técnico de Instalaciones eléctricas –RETIE- de normas tales como NTC 1329, NTC 776, NTC 1056, NTC 2222, ASTM D 4923 ⁹.

- *Por material y condiciones físicas.*
- *Los postes, torres o torrecillas usados como soportes de redes de distribución deberán tener una tensión de rotura de al menos 2,5 veces la suma de las tensiones mecánicas resultantes de la interacción de los diferentes esfuerzos a que este sometida la estructura, para lo cual se debe tener en cuenta los esfuerzos de los cables de la red eléctrica y los demás cables y elementos que actúen sobre la estructura.*

⁹ Op.Cit. RETIE

- *Deben utilizarse postes o estructuras con dimensiones y tensión de rotura estandarizadas.*
- *Los postes de madera y todos los elementos de madera usados en las redes de distribución deberán estar debidamente tratados para la protección contra hongos y demás agentes que aceleran su deterioro.*
- *Las torrecillas o postes metálicos deberán estar protegidas contra la corrosión, para soportar una vida útil no menor a 25 años y los que soporten redes de media tensión deben estar sólidamente puestos a tierra.*
- *Los postes que presenten fisuras u otros deterioros que comprometan las condiciones mecánicas y la seguridad de la estructura, deberán ser cambiados.*
- *Los postes, torrecillas o en general las estructuras de soporte de redes de distribución deberán demostrar el cumplimiento del RETIE mediante certificado de producto expedido por un organismo de certificación de producto acreditado por la SIC.”*
- *Se deben usar postes de dimensiones estandarizadas de 8, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 18, 20 o 22 metros, con tolerancias de más o menos 50 mm, de tal forma que se garanticen las distancias mínimas de seguridad establecidas en el Artículo 13º del presente Reglamento.*
- *Los postes de materiales distintos a madera deben ser especificados y probados para cargas de rotura mínimas de 5001 N, 7355 N, 10300N, 13240 N, 17640 N, 19600 N o sus equivalentes 510, 750, 1050 o 1350, 1800 o 2000 kgf. Si las condiciones específicas de la instalación exigen cargas de rotura o*

longitudes mayores a las establecidas en el presente Reglamento, el usuario justificará su uso y precisará las especificaciones técnicas requeridas.

- *Los postes de concreto de sección circular o poligonal deben presentar una conicidad entre 2 y 1,5 cm/m de longitud, conforme la NTC 1329.*
- *El poste debe tener en la parte superior perforaciones diametrales, sobre un mismo plano a distancias uniformes con las dimensiones y tolerancias para ser atravesadas por pernos hasta de 19 mm de diámetro, estas no deben dejar expuesta las partes metálicas de la armazón, el número y distancias de las perforaciones dependerá de las dimensiones de los herrajes utilizados en la estructura. Algunas de estas perforaciones deben tener un ángulo que permitan el paso al interior del poste de los conductores de puesta a tierra.*
- *Los postes con núcleo hueco deberán suministrarse con dos perforaciones de diámetro no menor a 2 cm, localizadas a una distancia entre 20 y 50 cm por debajo de la marcación de enterramiento, con el fin de permitir el paso de conductor de puesta a tierra por dentro del poste y facilitar su conexión al electrodo de puesta a tierra.*
- *Los postes de concreto deben ser contruidos con las técnicas de mezclas y materiales reconocidos por el Código Sismo resistente o las normas técnicas para este tipo de requerimientos, no deben presentar partes de su armadura expuestas a la corrosión, la profundidad del hierro no debe ser menor a 25 mm para uso en ambientes salinos y 20 mm para uso en ambientes normales, para postes armados vibrados la profundidad para ambientes salinos o corrosivos se aumentará en 5 mm o el valor determinado en una norma técnica internacional, de reconocimiento internacional o NTC aplicable a poste de*

concreto. Igualmente, no deben presentar fisuras o grietas que comprometan la vida útil y la seguridad mecánica. El fabricante deberá tener en cuenta las condiciones ambientales del lugar donde se vaya a instalar el poste y tomará las medidas constructivas para contrarrestar la corrosión.

- *El factor de seguridad de los postes, calculado como la relación entre la carga mínima de rotura y la tensión máxima aplicada (carga máxima de trabajo), no puede ser inferior a 2.*
- *El poste, bajo la acción de una carga aplicada a 20 cm de la cima, con intensidad igual al 40% de la carga mínima de rotura, no debe producir una flecha superior al 3% de la longitud libre.*
- *Los postes de madera, concreto u otro material no deben presentar fisuras u otras anomalías que con el tiempo puedan comprometer sus condiciones mecánicas.*
- *Los postes de madera deberán cumplir los siguientes requisitos: ser tratados contra hongo y demás agentes que les puedan reducir su vida útil, las dimensiones, esfuerzo de flexión no debe ser menor a los valores establecidos en las normas técnicas internacionales o NTC tales como la NTC 776, NTC 1056, NTC 2222, NTC 1093, NTC 1057, NTC 2083, NTC 1966, NTC 5193.o NTC 172. Igualmente debe probarse el máximo contenido de humedad.*
- *Los postes o torrecillas metálicas o de otros materiales susceptibles a la corrosión deberán ser protegidos contra esta y garantizar una vida útil no menor a 25 años, Normas como la ASTM – A 123, ASTM B 633, ASTM A 653, ISO 9223 son plenamente aplicables para verificar este requisito de protección contra corrosión.*

- *Por Instalación*

- *Longitud de empotramiento o enterramiento: el poste debe ser empotrado a una profundidad igual a 60 cm más el 10% de la longitud del poste y en todo caso se debe verificar que no presente peligro de volcamiento. El fabricante debe marcar con pintura permanente la sección transversal donde se localice esta distancia.*
- *Centro de gravedad del poste: El fabricante debe marcar con pintura permanente la sección trasversal donde se encuentre el centro de gravedad del poste, esto con el fin de permitir su manipulación e izaje con el menor riesgo para el operario.*
- *Los postes o estructuras metálicas deben instalarle una puesta a tierra, excepto los destinados a baja tensión.*
- *Por identificación o rotulado: Los postes y torrecillas deben llevar en bajo relieve o en una placa visible, embebida al concreto si es de concreto, localizada a dos metros de la señal de empotramiento, la siguiente información:*
 - *Nombre o razón social del fabricante,*
 - *Longitud del poste o torrecillas en metros*
 - *Carga mínima de rotura en N o kgf*
 - *Peso del poste.*
 - *Fecha de fabricación.*

Parágrafo 1. Los postes de concreto se deben aceptar en cualquiera de sus formas (tales como tronco de cono, tronco de pirámide o sección en I) y técnicas constructivas (armado o pretensado, vibrado o centrifugado), siempre y cuando cumplan los anteriores requisitos que les aplique.

Parágrafo 2. Cuando el poste quede instalado en lugares aledaños a vías de alta velocidad vehicular, susceptibles de ser impactados por vehículos, los usuarios deberán determinar y utilizar la tecnología constructiva que presente el menor riesgo para pasajeros y vehículos.

5.2.4.3 Protección de estructuras.

- *Daños mecánicos.* Apropiaada protección física debe ser proporcionada a las estructuras de soporte, sujetas a daños por tráfico de vehículos que afecten materialmente su resistencia.
- *Incendio.* Las estructuras de soporte deben estar localizadas y mantenidas a fin de ser expuestas lo menos posible a factores que ocasionen un incendio.
- *Fijaciones en los puentes.* Las estructuras de soporte dispuestas en puentes, con el propósito de transportar conductores de suministro que excedan los 600 V, deben ser puestas con apropiadas señales de seguridad*.

5.2.4.4 Estructuras de soporte fácilmente escalables.

- Estructuras de soporte fácilmente escalables, así como postes, torres, etc., que transporten conductores de suministro a más de 300 V, los cuales colindan con caminos, regularmente recorridos por vías peatonales o lugares donde las personas frecuentemente se congregan (así como escuelas o lugares de juego), deben estar equipadas con barreras, para evitar que sean escaladas por personas no calificadas y dispuestas con apropiadas señales de seguridad.

EXCEPCIÓN: Esta recomendación no aplica, donde el acceso a las estructuras de soporte es limitado por una malla a la altura citada en las recomendaciones del...numeral 4.3.1.2....

* ANSI Z535.1-1998, ANSI Z535.2-1998, ANSI Z535.3-1998, ANSI Z535.4-1998 y ANSI Z535.5-1998, contienen información con respecto a las señales de seguridad.

- *Escaleras.* Las escaleras instaladas permanentemente en estructuras de soporte no deben estar a menos de 2,45 m al terreno u otra superficie accesible.

EXCEPCIÓN 1: Esta recomendación no aplica donde las estructuras de soporte están separadas.

EXCEPCIÓN 2: Esta recomendación no aplica, donde el acceso a las estructuras de soporte es limitado por una malla a la altura citada en el numeral 4.3.1.2.

- *Peldaños de apoyo.* Los peldaños de apoyo en estructuras de soporte, deben ser organizados de tal forma que no haya menos de 2,45 m entre cualquiera de lo siguiente:
 - El escalón más bajo y el terreno u otra superficie accesible,
 - Los dos escalones más bajos.

EXCEPCIÓN: No aplica, donde las estructuras de soporte están separadas

- *Identificación.* Las estructuras de soporte, incluyendo las ubicadas en los puentes donde son mantenidos los conductores de suministro y de comunicación deben ser construidas de tal forma, que se encuentren marcadas o numeradas a fin de facilitar la identificación por los empleados autorizados para el trabajo en estas.
- *Obstrucciones.* Anuncios, carteles, letreros y otras adhesiones no deben ser ubicados en las estructuras de soporte, sin consentimiento del propietario. Las estructuras de soporte deberán mantenerse libres de cualquier riesgo para el escalamiento, tales como taches, clavos, enredaderas y pernos pasantes que no estén adecuadamente ajustados.
- *Iluminación decorativa.* No se colocará iluminación decorativa en las estructuras sin previo consentimiento de los propietarios y ocupantes.

5.2.5 Soportes inusuales de conductores. Cuando los conductores estén sujetos a estructuras que no sean aquellas que se utilizan principalmente como soporte, deberá tomarse las precauciones necesarias para evitar daños a las estructuras o lesiones a las personas que las usan. El soporte de conductores en árboles y techos, deberían ser evitados.

5.2.6 Protección y señalización de templetes. La base donde se sitúa el anclaje del templete que está expuesta a tráfico peatonal, deberá disponer de marcación llamativa*.

Cuando un anclaje es ubicado en un área establecida para el parqueo automotor, el templete deberá disponer de protección contra el contacto vehicular o la debida señalización del área.

No se requiere de protección o señalización de los anclajes de templetes ubicados fuera de aéreas de parqueo, autopistas y carreteras**.

5.2.7 Disposición de los switches.

5.2.7.1 Accesibilidad. Los Switches o sus mecanismos de control, deben ser instalados de tal manera que sean accesibles sólo a personal calificado.

5.2.7.2 Indicación de posición abierta o cerrada. La posición del switch debe ser visible o claramente indicada.

5.2.7.3 Bloqueo. Los mecanismos de funcionamiento del switch que son accesibles a personal autorizado, deben tener provisto un bloqueo en cada posición de operación.

* La visibilidad de las marcaciones puede ser mejorada con el uso de colores que den contraste con el entorno.

** la experiencia ha mostrado que no es práctico proteger los templetes del contacto de vehículos fuera de control, en autopistas y carreteras.

5.2.7.4 Posición uniforme. Las palancas o los mecanismos de control para todos los switches a través de cualquier sistema, deben tener posiciones coherentes cuando se abre y posiciones uniformemente diferentes cuando se cierran, con el fin de minimizar los errores de operación. Donde esta práctica no es seguida, los switches deberán ser marcados para reducir los errores en operación.

5.2.7.5 Dispositivos a control remoto. Los dispositivos de conmutación automática a control remoto, de las líneas aéreas de suministro eléctrico, deberán tener disposiciones locales para hacer el control remoto o los controles automáticos inoperables.

5.2.8 Manejo de la vegetación. El recorrido de la línea se deberá mantener libre de ramas o arboles inclinados o volcados que puedan caer en esta.

- Los árboles que pueden interferir con la conexión a tierra de los conductores de suministro, deberían ser recortados o removidos*.
- Donde el recorte o la remoción no sea práctica, el conductor debería ser separado del árbol con materiales adecuados, para evitar daños en el material por raspaduras y que el circuito se ponga a tierra a través del árbol.

5.3 RELACIONES ENTRE LAS DIVERSAS CLASES DE LÍNEAS Y EQUIPOS.

Los niveles en que las diferentes clases de conductores se encuentran, deben ser estandarizados por acuerdo de las empresas de servicios públicos implicadas.

* El normal crecimiento de los arboles, el movimiento combinado de árboles y conductores bajo condiciones ambientales adversas, voltaje y pandeo de conductores a elevadas temperaturas son entre los factores, para ser considerados en la decisión de recortar árboles.

5.3.1 Niveles de instalación relativos a conductores de suministro y de comunicación.

5.3.1.1 Niveles preferentes. Cuando los conductores de suministro y de comunicación se cruzan entre sí o están ubicados en la misma estructura, los conductores de suministro deben ser transportados en el nivel superior.

EXCEPCIÓN: Esta recomendación no aplica a los mecanismos de alimentación del tranvía, el cual puede estar localizado por aproximada conveniencia al nivel del conductor de contacto del tranvía.

5.3.1.2 Construcción especial para circuitos de suministro a tensiones de 600V o menores y que no transportan potencia superior a 5kW. (Relacionados con los circuitos de señales de ferrocarril). Cuando se involucren circuitos de comunicación en el uso de tales estructuras, estos debieran ser instalados cumpliendo las distancias de seguridad entre conductores y bajo las siguientes condiciones:

- Que dichos circuitos de suministro son de conductores recubiertos, no menores a AWG N° 8 de cobre duro o su equivalente en resistencia y contruidos con los requisitos de los circuitos de suministro de la misma clase.
- Que los circuitos de suministro estén colocados en los soportes tipo espiga extremos y adyacentes en el brazo de soporte más bajo y que se mantenga un espacio de escalamiento de 750 mm desde el piso hasta un punto ubicado a 600 mm sobre los circuitos de suministro. Los circuitos de suministro deberán de estar visibles y fáciles de identificar por el uso de aisladores de diferente forma o color o indicando la tensión mediante caracteres metálicos u otro material resistente a la intemperie.
- Debe haber una distancia vertical de al menos 600 mm entre el brazo de soporte que transporta esos circuitos de suministro y el siguiente brazo de

soporte superior. Los otros soportes tipo espigo del brazo que transporta los circuitos de suministro pueden ser ocupados por circuitos de comunicación usados en la operación o el control de un sistema de señales u otro sistema de suministro, si es propiedad de la misma compañía que opera los circuitos de suministro o esta misma efectúa labores de operación y mantenimiento.

- Tales circuitos de suministro deben ser equipados con pararrayos y fusibles instalados en el extremo del circuito de suministro y donde el circuito de señal sea en AC, la protección debe ser instalada en el lado secundario del transformador de suministro. Los pararrayos deben ser diseñados a fin de actuar aproximadamente a dos veces el voltaje entre los conductores del circuito, pero el voltaje de ruptura del pararrayos no tiene por qué ser inferior a 1 kV. Los fusibles deben tener un nominal no superior de aproximadamente dos veces la máxima corriente de funcionamiento del circuito. Pero el nominal no tiene por qué ser inferior a 10 A. Los fusibles seguramente en todos los casos debe tener un nominal de al menos 600 V y cuando el transformador de suministro opere como reductor de tensión, deberán ser capaces de abrir el circuito con éxito en el caso de que la tensión primaria del transformador sea aplicada a los mismos.
- Tales circuitos de suministro con cable citados en los numerales 2.2.3.1., 2.2.3.2. y 2.2.3.3, pueden ser instalados por debajo de la fijación de comunicación, a no menos de 400 mm de separación vertical entre el cable de suministro y el más bajo acoplamiento de comunicación. Los circuitos de comunicación distintos a los empleados en relación con el funcionamiento de los circuitos de suministro no deben ser transportados en el mismo cable con los circuitos de suministro.
- Cuando tales conductores de suministro son transportados debajo de los conductores de comunicación, los transformadores y otros aparatos asociados

con estos, deben ser fijados sólo a los lados del brazo de soporte, entre el espacio comprendido y no a un nivel más alto que tales cables de suministro.

- Los movimientos laterales de tales circuitos de suministro que son transportados en una posición por debajo del espacio de comunicación, deben ser protegidos por un molde de madera o un recubrimiento equivalente o deben ser transportados en cable de conductor múltiple aislado y tales corrimientos laterales deben estar ubicados en la parte inferior del brazo de soporte.

5.3.2 Niveles de instalación relativos a líneas de suministro de diferentes clasificaciones de tensión.

- *En los cruces o conflictos.* Cuando los conductores de suministro de diferentes clasificaciones de voltaje se cruzan entre sí o existe un conflicto de estructura, las líneas de mayor tensión deberán ser transportadas en el nivel más alto.
- *En estructuras usadas solo por conductores de suministro.* Donde los conductores de suministro de diferentes clasificaciones de voltaje están en la misma estructura, los niveles deberían ser como siguen:
 - Cuando todos los circuitos son de propiedad de una empresa de servicio público, los conductores de más alta tensión deberían estar puestos arriba de los de más baja tensión.
 - Donde los diferentes circuitos son propiedad de distintas empresas de servicio público, los circuitos de cada empresa pueden ser agrupados y un grupo de circuitos pueden ser puestos por encima de otro grupo, siempre que los circuitos en cada grupo estén ubicados a fin de que los de más alta tensión

estén en los niveles más elevados y que cualquiera de las siguientes condiciones se cumpla:

- o Un espaciamiento vertical no menor a los requeridos por la (Tabla 29) es mantenido entre los conductores de línea más cercanos de las respectivas empresas.
- o Los conductores de clasificación de bajo voltaje, puestos a un nivel superior a esos de clasificación de alto voltaje, deben estar ubicados en el lado opuesto de la estructura.
- o Los circuitos de propiedad de cada empresa de servicio público y el nivel de tensión deben ser notablemente exhibidos.

5.3.3 Identificación de los conductores aéreos. Todos los conductores de suministro eléctrico y líneas de comunicación deberán en la medida de lo posible, ser arreglados para ocupar posiciones totalmente uniformes o deberán ser construidas, ubicadas, marcadas, numeradas o fijadas a diferentes aisladores o a crucetas a fin de facilitar la identificación a empleados autorizados para el trabajo respectivo. Esto no prohíbe la transposición sistemática de conductores.

5.3.4 Identificación de equipos en estructuras de soporte. Todos los conductores de suministro eléctrico y líneas de comunicación debieran en la medida de lo posible, ser arreglados para ocupar posiciones totalmente uniformes o deberán ser construidos, ubicados, marcados y numerados a fin de facilitar su identificación al personal autorizado para el trabajo en ellos.

5.3.5 Prevención de conflictos. Dos líneas separadas, donde cualquiera de las dos transporte conductores de suministro deben estar tan separadas que ninguna genere conflicto con la otra. Si esto no es práctico, la línea o líneas en conflicto,

deben estar separadas en la medida de lo posible y deben ser construidas adecuadamente o las dos líneas debieran ser combinadas en la misma estructura.

5.3.6 Uso común de estructuras. El uso común o colectivo de estructuras debiera ser considerado por los circuitos a lo largo de carreteras, caminos, calles y callejones. La elección entre el uso común de estructuras y líneas separadas debe ser determinado por consideración cooperativa de todos los factores que intervienen, incluyendo las características de los circuitos, el número total y peso de los conductores, condiciones de los árboles, número y lugar de las derivaciones, conflicto de estructuras, disponibilidad del derecho de vía etc.

5.3.7 Circuitos de comunicación localizados dentro del espacio de suministro y circuitos de suministro localizados dentro del espacio de comunicación.

5.3.7.1 Circuitos de comunicación localizados en el espacio de suministro.

- Los circuitos de comunicación ubicados en el espacio de suministro, deben estar instalados y mantenidos por personal autorizado y calificado para el trabajo en espacios de suministro.
- Los circuitos de comunicación ubicados en el espacio de suministro, deben satisfacer las siguientes requisitos de espacio, según sea el caso:
 - Los cables de comunicación aislados soportados por un mensajero efectivamente conectado a tierra, deben tener las mismas distancias de seguridad que los neutros citados en el numeral 2.2.5.1, desde los circuitos de comunicación localizados en el espacio de comunicación y desde los conductores de suministro localizados en el espacio de suministro.

- Los cables de fibra óptica localizados en el espacio de suministro, deben cumplir las recomendaciones del numeral 2.2.6.
- Los circuitos de comunicación con conductores expuestos y permitidos para estar en el espacio de suministro, deben tener las mismas distancias de los circuitos de comunicación localizadas en el espacio de comunicación y desde otros circuitos ubicados en el espacio de suministro, como es recomendado por el apartado 2.7 para conductores de suministro expuestos de 0 - 750 V.

EXCEPCIÓN: Las acometidas citados a continuación, pueden originarse en el espacio de suministro de la estructura de una línea o en el vano y terminar en el espacio de comunicación de la estructura abastecida.

- Los circuitos de comunicación ubicados en el espacio de suministro de una parte del sistema, pueden ser situados en el espacio de comunicación de otra parte del sistema, si se cumplen las siguientes recomendaciones:
- Cuando el circuito de comunicación están en cualquier punto ubicado encima de un conductor o cable de suministro energizado, el circuito de comunicación deberá estar protegido con pararrayos sin fusibles, bobinas de descarga, u otros dispositivos adecuados para limitar el voltaje normal del circuito de comunicación a 400 V o menos a tierra.
- La transición o transiciones entre el espacio de suministro y el espacio de comunicación debe suceder en una única estructura; no debe ocurrir ente las estructuras de las líneas.

EXCEPCIÓN: Las acometidas que cumplan lo anteriormente establecido, se pueden originar en el espacio de suministro de una estructura de línea o en el vano y terminar en el espacio de comunicación sobre la edificación o estructura abastecida.

- La construcción y protección deben ser seguidas consecuentemente por toda la extensión del sistema de comunicación.

5.3.7.2 Circuitos de suministro usados exclusivamente en el funcionamiento de circuitos de comunicación. Los circuitos usados para suministrar potencia solamente a aparatos que forman parte de un sistema de comunicación, deben ser instalados como sigue:

- Los circuitos de alambre desnudo, deben tener el grado de construcción, distancia, aislamiento, etc., prescritos en otras partes de estas reglas, para circuitos de suministro o de comunicación a la tensión concerniente.
- Circuitos especiales que operan a tensiones mayores de 90 V AC o 150 V DC y que son usados para suministrar potencia solamente a equipos de comunicación, pueden ser incluidos en los cables de comunicación bajo las siguientes condiciones:
 - Tales cables deben tener una cubierta conductiva o pantalla que es conectada a tierra efectivamente y cada circuito debe ser llevado en conductores, que son individualmente encerrados con una pantalla protectora realmente conectada a tierra.
 - Todos los circuitos de tales cables, deben ser operados por una cuadrilla y deben ser mantenidos solo por personal calificado.
 - Los circuitos de suministro incluidos en tales cables deben ser terminados en puntos accesibles solo a personal calificado.
 - Los circuitos de comunicación llevados fuera de tales cables, si estos no terminan en una estación repetidora o en una oficina final, deben estar protegidos o dispuestos de tal manera que en el evento de falla dentro del cable, el voltaje en el circuito de comunicación no exceda los 400V a tierra.

- Los equipos terminales para el suministro de potencia deben ser adaptados de manera tal que las partes energizadas sean inaccesibles cuando tales circuitos están energizados.

EXCEPCIÓN: No aplican a circuitos de comunicación donde la transmisión de potencia no sea superior a 150 W.

5.4 AISLAMIENTO DE LA LÍNEA

5.4.1 Aplicación. Estos requerimientos se aplican únicamente a las líneas de suministro de conductor expuesto.

5.4.2 Material y marca. Los aisladores para la operación de los circuitos de suministro, deberán ser fabricados de porcelana de proceso húmedo u otro material que proporcione resistencia mecánica y eléctrica equivalente o mejor. Los aisladores para 2,3 kV o más deberán ser marcados por el fabricante con su nombre o marca de fábrica y marcas de identificación que permitan la determinación de las propiedades eléctricas y mecánicas. La marca deberá ser aplicada de tal manera que no reduzca la resistencia eléctrica o mecánica del aislador*.

5.4.3 Relación de la tensión disruptiva con la tensión de perforación dieléctrica. Los aisladores deberán ser diseñados de tal manera que la relación de su tensión disruptiva en seco a baja frecuencia, con la tensión de perforación dieléctrica a baja frecuencia, esté de acuerdo con las Normas ANSI C22.9 o normas internacionales aplicables. Cuando no exista una norma, esta relación no deberá exceder de 75%.

* La marca de identificación puede ser un número de catálogo, número de fabricación u otros medios de tal modo que las propiedades de la unidad puedan determinarse ya sea a través de catálogos u otra literatura.

EXCEPCIÓN: Los aisladores diseñados específicamente para ser utilizados en áreas de alta contaminación atmosférica, pueden tener una tensión disruptiva en seco de baja frecuencia, nominal no mayor de 80% de su tensión de perforación dieléctrica de baja frecuencia.

5.4.4 Nivel de aislamiento. La tensión disruptiva en seco nominal del aislador o aisladores, cuando sean sometidos a pruebas de acuerdo con la norma ANSI C29, 1, no deberá ser menor que la que se indica en la (Tabla 48), a menos que esté basado en un estudio de ingeniería calificado. Se deberán utilizar niveles de aislamiento más altos que aquellos que se muestran en la (Tabla 48) u otros medios efectivos, cuando existan fuertes descargas eléctricas, alta contaminación atmosférica, corrección por altitud u otras condiciones desfavorables. Los niveles de aislamiento para las tensiones del sistema, mayores a las indicadas, deberán basarse en un estudio de ingeniería.

5.4.5 Pruebas de fábrica. Cada aislador o parte aislante del mismo que se va a utilizar en la operación de circuitos a 2,3 kV o más entre conductores, deberá ser aprobado por el fabricante de acuerdo a la NTC que le apliquen.

5.4.6 Aplicaciones especiales del aislador.

5.4.6.1 Aisladores para circuitos de corriente constante. Los aisladores que se van a utilizar en los circuitos de corriente constante deberán ser seleccionados, tomando como base la tensión de carga nominal del transformador de suministro.

Tabla 48. Requerimientos del nivel de aislamiento

Tensión Nominal (entre fases) (kV)	Tensión nominal de flameo (disruptiva) en seco de los aisladores ¹ (kV)	Tensión nominal (entre fases) (kV)	Tensión nominal de flameo (disruptiva) en seco de los aisladores ¹ (kV)
0,75	5	115	315
2,4	20	138	390
6,9	39	161	445
13,2	55	230	640
23,0	75	345	830
34,5	100	500	965
46	125	765	1145
69	175		

Fuente NESC.

5.4.6.2 Aisladores para circuitos monofásicos conectados directamente a circuitos trifásicos Los aisladores que se van a utilizar en circuitos monofásicos conectados directamente a los circuitos trifásicos, (sin intervención de los transformadores de aislamiento) deberán tener un nivel de aislamiento no menor del requerido para el circuito trifásico.

5.4.7 Protección contra la formación de arcos y otros daños. Cuando se realice la instalación o mantenimiento de aisladores y conductores, se deberán tomar precauciones para prevenir en la medida que resulte práctico, cualquier daño que podría rendir al conductor u ocasionar su caída. Se deberán también tomar precauciones para prevenir, en la medida que resulte práctico, la formación de arcos y asimismo prevenir que la formación de arcos dañe o queme alguna parte de las estructuras de soporte, aisladores o conductores.

5.4.8 Resistencia mecánica de los aisladores.

5.4.8.1 Requerimientos de resistencia. Los aisladores deberán soportar todas las cargas aplicables, sin exceder los siguientes porcentajes de resistencia a la rotura nominal, para la aplicación específica:

- Voladizo (cantilever) 40%
- Compresión 50%
- Tensión 50%

5.4.8.2 Cargas fuertes. En las áreas donde se conoce presencia de cargas especiales (atípicas) o se sospecha de su existencia, se deberá aplicar las cargas más fuertes previsibles.

5.4.8.3 Definición de resistencia del aislador.

- *Aisladores de tipo de suspensión.* Se deberá considerar la resistencia a la rotura nominal en los aisladores de tipo de suspensión como:
 - Aisladores de porcelana o vidrio endurecido. "Resistencia mecánica y eléctrica combinada" del fabricante según sea determinado por la norma ANSI C29.1.
 - Para los aisladores compuestos, "carga mecánica especificada", del fabricante según sea determinado por ANSI C29.11.
- *Aisladores de tipo soporte.* La resistencia a la rotura nominal de los aisladores de soporte de porcelana, resistencia nominal del fabricante según ANSI C29.7 y ANSI C29.9.

5.4.9 Sistemas de cable aéreos.

5.4.9.1 Requerimientos eléctricos.

- Los conductores cubiertos o aislados que no cumplan con las recomendaciones de los numerales 2.2.3.1, 2.2.3.2 o 2.2.3.3, deberán ser considerados como conductores desnudos para todos los requerimientos de aislamiento.
- Los aisladores o soportes de aislamiento deberán cumplir con las recomendaciones del numeral 5.4.4
- Los sistemas serán diseñados e instalados de tal manera que minimicen el deterioro a largo plazo debido al esfuerzo eléctrico.

5.4.9.2 Requerimientos mecánicos.

- Los aisladores que no sean espaciadores utilizados para soportar los sistemas de cable aéreos, deberán cumplir con las recomendaciones del numeral 5.4.8.
- Los espaciadores de aislamiento o separadores utilizados en los sistemas de cable con espaciadores deberán soportar las cargas especificadas en la Sección 25 sin exceder 50% de su resistencia a la rotura nominal.

5.4.10 Aisladores de retenida y vanos.

5.4.10.1 Aisladores.

- *Propiedades de los aisladores de retenida.* Cuando los aisladores de retenidas son usados de acuerdo con el numeral 5.2.2.3 los aisladores de retenida deben cumplir los siguientes requerimientos:

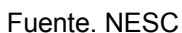
- *Material.* Los aisladores deberán ser fabricados de porcelana por el método de proceso húmedo o polímero sobre fibra de vidrio reforzada u otro material de adecuadas propiedades mecánicas y eléctricas.
- *Resistencia eléctrica.* La tensión disruptiva en seco de los aisladores para retenidas, no deberá ser inferior al doble de la mayor tensión entre conductores de la línea en que se usen y su tensión disruptiva bajo lluvia deberá ser por lo menos igual a dicha tensión. Un aislador de retenida puede constar de una o más unidades*.
- *Resistencia mecánica.* La resistencia mecánica de los aisladores para retenidas no deberá ser menor que la requerida para la retenida en la que se instalen.

5.4.10.2 Aislamiento para la corrosión galvánica y el BIL.

- *Limitación de la corrosión galvánica* Un aislador en el cable de la retenida utilizado exclusivamente para limitar la corrosión galvánica del metal en las varillas de puesta a tierra, anclajes, varillas de anclaje o tuberías de un sistema puesto a tierra de manera efectiva, no deberá ser clasificado como un aislador de retenida y no reducirá la resistencia mecánica de la retenida.
- *Aislamiento para cumplir con el BIL.* Un aislador en el cable de retenida utilizado exclusivamente para cumplir con los requerimientos del BIL para la estructura de un sistema puesto a tierra de manera efectiva, como se muestra en la (Figura 20) no deberá ser clasificado como un aislador de retenida y la resistencia mecánica del aislador debe ser tal que, se cumpla...el numeral 5.4.10.1...y se cumplan ambas de las siguientes prevenciones:

* En cuanto se refiere a la resistencia eléctrica, los aisladores para retenidas deberán tener las mismas características que los aisladores de la línea, considerando los factores de corrección por altitud y contaminación cuando corresponda.

- Figura 20. Aislador usado para aislamiento BIL**



306

- *Material.* Los aisladores deberán ser fabricados de porcelana por el método de proceso húmedo o polímero sobre fibra de vidrio u otro material de adecuadas propiedades mecánicas y eléctricas.
- *Resistencia mecánica.* La resistencia a la rotura nominal del aislador de alambre de suspensión deberá ser por lo menos igual a la resistencia requerida del alambre de suspensión en la cual está ubicada.

6. LÍNEAS SUBTERRÁNEAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO [1], [2], [3], [4]

6.1 VISIÓN GENERAL

El presente Capítulo tiene aplicación en los sistemas y componentes eléctricos subterráneos o enterrados. Las recomendaciones encontradas aquí abarcan las disposiciones asociadas y la extensión de dichos sistemas hacia las edificaciones, las cuales están basadas en la protección eléctrica y mecánica de los componentes del sistema, accesibilidad, distancias de seguridad etc., que sirven para establecer condiciones técnicas de seguridad necesarias para garantizar la seguridad de las líneas subterráneas de suministro eléctrico.

Se debe tener en cuenta, la dependencia de este capítulo con lo establecido en el -RETIE-. Además, serán tomados como referencia las recomendaciones dadas en los capítulos 1 y 3 del presente documento.

6.2 REQUISITOS GENERALES PARA LÍNEAS SUBTERRÁNEAS DE SUMINISTRO ELÉCTRICO

6.2.1 Puesta a tierra de los circuitos y de los equipos.

6.2.1.1 Métodos. De manera general, los métodos que se utilizarán para la puesta a tierra de los circuitos y equipos se indican en el capítulo 3.

6.2.1.2 Partes conductoras que serán puestas a tierra. Se deberán poner a tierra de manera efectiva las cubiertas conductoras y pantallas metálicas, los marcos, cajas o carcasas de equipos (incluyendo los dispositivos montados en pedestal o plataforma), las partes conductoras, postes conductivos, las guardas o ductos de cables de subida que encierran líneas de suministro eléctrico o que

están expuestas a contacto con conductores expuestos de suministro con tensión mayor de 300 V, deben ser puestos a tierra de manera efectiva.

EXCEPCIÓN: Cuando el poste de material conductivo, esté a tal profundidad en contacto con el terreno y tenga una protección resistente a la corrosión no aislante y se comporte como un electrodo de puesta a tierra, satisfaciendo las exigencias de seguridad contra riesgo eléctrico, podrá no instalarse un electrodo adicional.

6.2.1.3 Circuitos. Los componentes eléctricos de circuitos de suministro eléctrico subterráneo, tales como conductores neutros, pararrayos deberán ser puestos de manera efectiva a tierra, siguiendo las consideraciones del capítulo 3.

EXCEPCIÓN: Los circuitos diseñados para la detección de falla a tierra y los limitadores de corriente por impedancia.

- *Empleo de puesta a tierra como parte del circuito*
- Los circuitos de suministro no serán diseñados para que utilicen normalmente la tierra como único conductor para cualquier parte del circuito.
- El funcionamiento monopolar de un sistema HVDC bipolar, es permitido para instalaciones de emergencia y en limitados periodos de mantenimiento.

6.2.2 Accesibilidad. Todas las partes que deban ser examinadas durante la operación, deberán estar dispuestas de tal manera que presenten fácil acceso para las personas autorizadas, mediante la previsión adecuada de espacios de trabajo, equipos de trabajo y distancias de seguridad.

6.3 SISTEMAS DE CONDUCTOS^{*,**}

6.3.1 Ubicación de los sistemas de conductos.

6.3.1.1 Ruta.

- *Generalidades.*
 - Los sistemas de conductos deberán estar sujetos a por lo menos la mínima perturbación práctica. Los sistemas de conductos que se extiendan en paralelo a otras estructuras subterráneas o cimientos, no deberán de ubicarse directamente encima o debajo de éstos. En caso de que esto no sea práctico, se optará por su separación.
 - El alineamiento del conducto será de tal manera que no haya protuberancias o salientes que podrían dañar el cable.
 - Donde sean necesarias curvas, el radio de curvatura será lo suficientemente amplio como para que se elimine las posibilidades de daño al cable que se está instalando en la tubería.
- *Peligros naturales.* Se evitará las rutas a través de suelos inestables tales como, fango, suelo movedizo, etc. o a través de suelos altamente corrosivos. En caso de que sea necesario, la construcción en estos suelos, el conducto será construido de tal manera que minimice el movimiento y la corrosión.

^{*} Aunque en la práctica se emplea a menudo ducto y conducto indistintamente, ducto, tal como se utiliza en el presente documento, es una canalización cerrada, simple, para conductores o cables; conducto es una estructura que contiene uno o más ductos; y el sistema de conductos es la combinación de conductos, buzones de inspección, buzones de registro, y/o cámaras subterráneas unidos para formar un conjunto integrado.

^{**} Para cables instalados en un ducto simple que no es parte de un sistema de conductos, se aplican las reglas de los cables directamente enterrados.

- *Carreteras y calles.* Cuando el conducto debe ser instalado longitudinalmente por debajo de una calzada, éste deberá ser instalado en la acera lateral, si esto no es práctico, el conducto deberá ser instalado dentro de los límites de una vía de tráfico, cumpliendo con las disposiciones mandatorias al respecto.
- *Puentes y túneles.* El sistema de conductos deberá estar ubicado de tal manera que se limite las posibilidades de daño debido al tráfico. Éste deberá estar ubicado de tal manera que proporcione un acceso seguro para la inspección o mantenimiento de la estructura y el sistema de conductos.
- *Cruce de vías férreas.*
 - La parte superior del sistema de conductos debiera estar ubicada a no menos de 900 mm, por debajo de la parte superior de los rieles de un tren urbano o 1,27 m por debajo de la parte superior de los rieles de una vía férrea. Cuando se presenten condiciones poco usuales o donde la construcción propuesta podría interferir con las instalaciones existentes, será necesario una profundidad mayor que la antes especificada.

EXCEPCIÓN: Cuando no resulte práctico o existan otras razones, se puede reducir esta separación mediante un acuerdo entre las partes implicadas. Sin embargo, en ningún caso la parte superior del conducto o cualquier protección del conducto se extenderán más arriba, que la parte inferior de la sección del balasto que está sujeto a obras y limpieza.

- En cruces bajo vías férreas, las cámaras de inspección, de registro y bóvedas no deberían en la práctica estar ubicadas en el lecho de la vía.
- *Cruces submarinos.* Los cruces submarinos deberán ser enrutados y/o instalados de manera que se vean protegidos de la erosión debido a la acción de la marea o las corrientes. Éstos no deberán ser ubicados donde normalmente anclan los barcos.

6.3.1.2 Separación desde otras instalaciones subterráneas.

- *Generalidades.* La separación entre un sistema de conductos y otras estructuras subterráneas puestas en paralelo, será lo suficientemente amplia para que permita el mantenimiento del sistema sin ocasionar daños a las estructuras puestas en paralelo. Un conducto que cruce sobre otra estructura subterránea o cimiento tendrá una separación suficiente para limitar las posibilidades de daño a cada estructura. Estas separaciones serán determinadas por las partes implicadas.

EXCEPCIÓN: Cuando el conducto cruce una cámara de inspección, una cámara subterránea o una bóveda de túnel subterráneo, éste deberá ser soportado directamente en la bóveda, con el acuerdo de todas las partes implicadas.

- *Separaciones entre los sistemas de conductos de suministro y comunicación.*
Los sistemas de conducto que van a ser ocupados por los conductores de comunicación, serán separados de los sistemas de conductos que se utilizarán para los sistemas de suministro por:
 - 75 mm de concreto
 - 100 mm de mampostería
 - 300 mm de tierra bien apretada.

EXCEPCIÓN: Separaciones menores pueden ser utilizadas donde se pongan de acuerdo las partes.

- *Alcantarillas, red sanitaria y sumidero de lluvia*
 - En caso que se requiera la instalación de un conducto paralelo directamente sobre una red sanitaria, alcantarilla o sumidero de lluvia, éste puede hacerse siempre que las empresas involucradas estén de acuerdo con el método.

- Donde el conducto cruce sobre una alcantarilla, el conducto será diseñado con soportes a cada lado de la alcantarilla, a fin de reducir las posibilidades de transferencia de cualquier carga directa sobre la alcantarilla.
- *Red de distribución de agua.* El conducto deberá ser instalado tan lejos como sea posible de una tubería principal de agua, a fin de protegerlo de la socavación en caso de que se quiebre la tubería principal de agua. El conducto que cruza una tubería principal de agua deberá ser diseñado, de tal manera que tenga un soporte adecuado en cada lado según sea necesario, para reducir las posibilidades de transferencia de cualquier carga directa a la tubería principal de agua.
- *Tuberías de gas u otros combustibles.* El conducto deberá tener suficiente separación de las tuberías de gas y de otros combustibles, para permitir el uso de equipo de mantenimiento de tuberías. El conducto no deberá ingresar en la misma cámara de inspección, cámara de registro o cámara subterránea, junto con las tuberías de gas u de otros combustibles.
- *Tuberías de vapor.* El conducto deberá ser instalado de tal modo que limite la probabilidad de transferencia de calor perjudicial entre los sistemas de conducto y las tuberías de vapor.

6.3.2 Excavación y relleno.

6.3.2.1 Zanjas. La parte inferior de la zanja deberá ser uniforme, nivelada y compactada en toda su longitud. Donde la excavación sea en roca, el conducto deberá yacer sobre una capa protectora de relleno compactado limpio.

6.3.2.2 Calidad del relleno. Todo relleno deberá estar libre de materiales que puedan dañar el sistema de conductos.

RECOMENDACIÓN: El relleno dentro de los 150 mm alrededor del conducto, deberá estar libre de material sólido de bordes afilados que puedan dañarlo. El material de relleno deberá estar adecuadamente compactado.

6.3.3 Ductos y uniones

6.3.3.1 Generalidades. El material del ducto deberá ser resistente a la corrosión y adecuado para el ambiente previsto. Tanto los materiales del ducto como la construcción del mismo o ambos serán diseñados de tal manera que una avería en el cable instalado en ducto, no dañe al conducto, ya que se podrían ocasionar daños a los cables en los ductos adyacentes. La superficie interna del ducto deberá estar libre de bordes afilados o protuberancias, que podrían dañar el cable de suministro.

El sistema de conducto será diseñado para soportar fuerzas externas a las cuales puede estar sometido debido a las cargas superficiales establecidas; a excepción que la carga de impacto puede reducirse en una tercera parte por cada 300 mm de cobertura, de modo que no sea necesario considerar la carga de impacto donde la cobertura sea de 900 mm o más.

6.3.3.2 Instalación.

- *Empotramiento.* El conducto, incluyendo terminales y curvas, deberán ser adecuadamente empotrados con relleno, capaz de concreto, anclajes u otros medios, a fin de mantener su posición de diseño durante el esfuerzo debido a los procedimientos de instalación, las operaciones de tracción de cables y otras condiciones, tales como asentamiento, levantamiento hidráulico o de congelación.
- *Uniones.* Los conductos serán unidos de tal manera que impidan la entrada de material sólido a los conductos. Las uniones deberán formar una superficie

interior lisa continua entre las secciones del conducto, de modo que el cable de suministro no sea dañado al ser jalado al interior del conducto.

- *Conducto revestido externamente.* Cuando las condiciones sean tales que sea necesario un conducto revestido externamente, el revestimiento será resistente a la corrosión y deberá ser inspeccionado y/o probado, para que el revestimiento permanezca continuo e intacto antes del relleno. Se deben tomar las precauciones para prevenir daños al revestimiento durante el relleno.
- *Paredes de construcción.* Los conductos instalados a través de una pared de construcción, deberán tener sellos internos y externos a fin de limitar la posibilidad de entrada de gas a la construcción. El empleo de sellos puede ser provisto además por dispositivos de salida de gases, para reducir la formación de presiones de gas en el conducto.
- *Puentes.*
 - El conducto instalado en puentes deberá incluir la capacidad de permitir la expansión y contracción del puente.
 - El conducto que pase a través de un estribo de puente, será instalado de tal manera que evite o resista cualquier corte, debido al asentamiento del terreno.
 - El conducto de material conductivo instalado en los puentes será puesto a tierra de manera efectiva.
- *En las proximidades de las cámaras de inspección.* Al ingresar a una cámara de inspección el conducto deberá ser instalado sobre suelo compactado o

apoyado de cualquier otra forma, a fin de reducir las posibilidades de esfuerzo de corte, en el punto de ingreso de la cámara de inspección.

6.3.4 Cámaras de inspección, cámaras de registro y bóvedas.

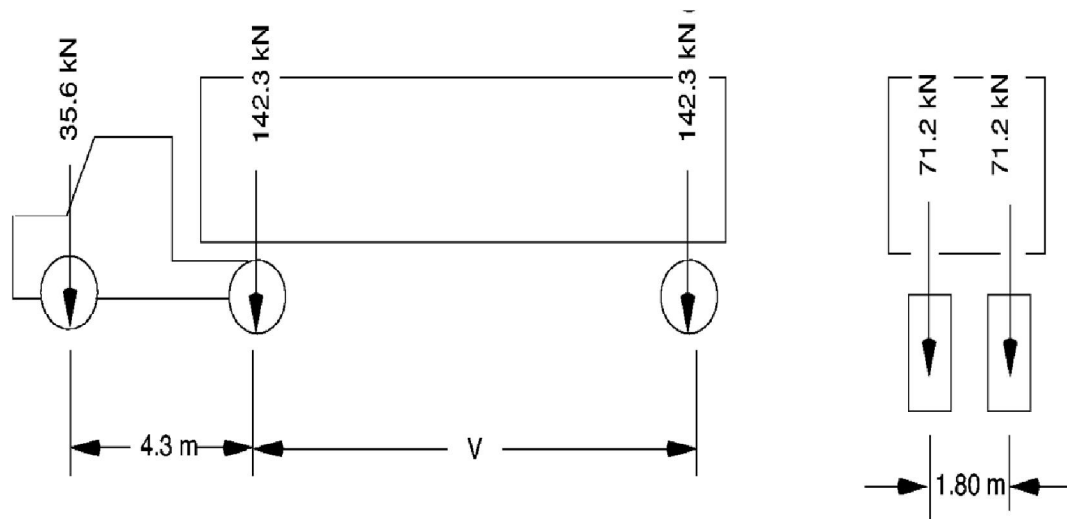
6.3.4.1 Resistencia. Las cámaras de inspección, de registro y las cámaras subterráneas serán diseñadas para soportar todas las cargas esperadas que puedan ser impuestas a la estructura. Las cargas de diseño, horizontales y/o vertical deben consistir de: carga muerta, carga viva, carga del equipo, impacto, carga debido a capas freáticas, escarcha y cualquier otra carga que se espera imponer sobre la estructura, que ocurra adyacente a la estructura o ambos. La estructura soportará la combinación de la carga vertical y lateral que produce los máximos esfuerzos de corte y momentos de flexión.

- En las áreas de calzadas, la carga viva constará del peso de un camión tractor semitrailer tal como se ilustra en la (Figura 21). La carga de la rueda del vehículo será considerada aplicada a un área tal como se indica en la (Figura 22). En el caso de pavimentos de autopistas, la estructura soportará la combinación de las cargas que tengan como resultado cargas de estructura verticales y laterales que producen los máximos cortes y momentos de flexión en la estructura*.
- En el diseño de estructuras no sujetas a la carga vehicular, la carga viva de diseño no será menor a 14,5 kPa.
- Las cargas vivas deben ser incrementadas en un 30 % por el impacto.

* Las cargas impuestas por el equipo utilizado en la construcción de carreteras puede exceder a las cargas a las cuales pueda estar sujeta la carretera terminada.

- Cuando se encuentre empuje hidráulico, de congelamiento u otros, la estructura será de suficiente peso o será contenida de modo que resista esta fuerza. El peso del equipo instalado en la estructura no se considera como parte del peso de la estructura.
- Donde se suministren dispositivos de tiro de hierro (ancla o anclajes), estos serán instalados de tal modo que resistan el doble de la carga esperada que se aplicará al dispositivo.

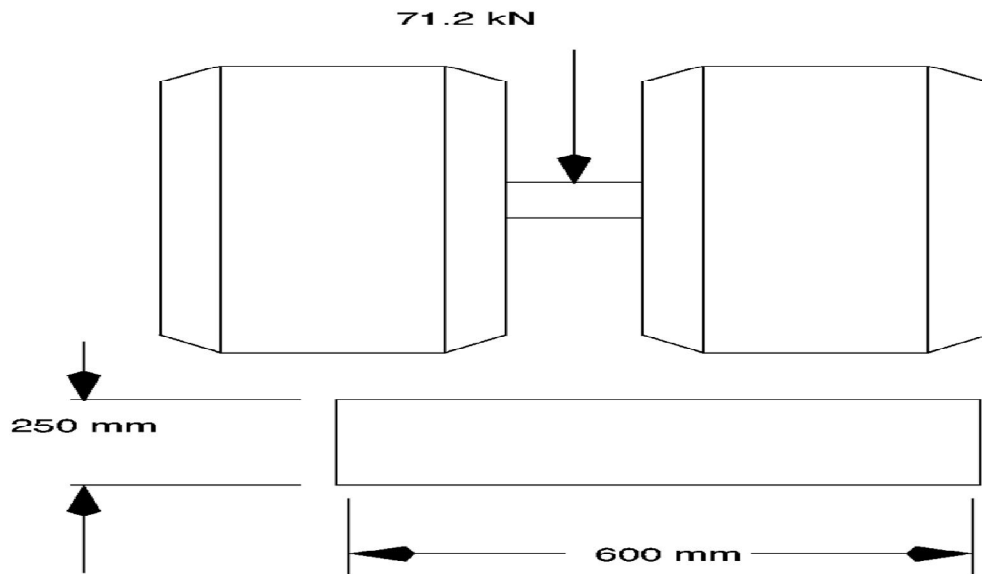
Figura 21. Carga del Vehículo



V= Espacio variable, 4,3 m a 9,0 m inclusive el espaciamiento que debe ser empleado es en que resultan las cargas verticales y laterales donde se produce el máximo momento en la estructura.

Fuente. NESC

Figura 22. Área de carga de las ruedas



Fuente. NESC

6.3.4.2 Dimensiones. Las cámaras de inspección deberán cumplir con los siguientes requerimientos: Se debe mantener un espacio de trabajo seguro suficiente para llevar a cabo los trabajos necesarios. Las dimensiones horizontales del espacio de trabajo seguro no deberán ser menores a 900 mm. Las dimensiones verticales no deberán ser menores a 1,83 m, salvo en cámaras de inspección donde la abertura está dentro de los 300 mm horizontalmente, de la pared del lado interior adyacente de la cámara de inspección.

EXCEPCIÓN 1: Donde el límite del espacio de trabajo se ubica en una pared no ocupada y el límite opuesto consta únicamente de cables, el espacio de trabajo horizontal entre estos límites puede reducirse a 750 mm.

EXCEPCIÓN 2: En las cámaras de inspección que contengan sólo cables de comunicación, equipo o ambos, puede reducirse una dimensión horizontal del espacio de trabajo a no menos de 600 mm, siempre que la otra dimensión horizontal sea incrementada de tal modo que la suma de las dos dimensiones sea por lo menos 1,83 m.

6.3.4.3 Acceso a la cámara de inspección.

- Las aberturas circulares de acceso en una cámara de inspección, que contengan los cables de suministro, no deben ser menores a 650 mm en diámetro. Las aberturas circulares de acceso, en cualquier cámara de inspección, que contengan sólo los cables de comunicación o las cámaras de inspección que contengan cables de suministro y que tengan una escalera fija que no obstruya la abertura, no deberá ser menor a 600 mm en diámetro. Las aberturas rectangulares de acceso deberán tener dimensiones no menores de 650 mm X 560 mm.
- Las aberturas deberán estar libres de salientes que lastimen al personal o impidan salidas rápidas.
- Las aberturas de una cámara de inspección estarán ubicadas de tal manera que se proporcione un acceso seguro. En las carreteras, éstas deberán estar ubicadas siempre que sea práctico fuera de la calzada pavimentada. Éstas deberán estar ubicadas siempre que sea práctico, fuera del área de las intersecciones de las calles y los cruces peatonales, a fin de reducir los peligros del tránsito a los trabajadores que laboren en estas ubicaciones.
- Las aberturas de acceso al personal deberán estar ubicadas de modo que ellas no se encuentren directamente sobre el cable o equipo. Cuando estas aberturas interfieran con barandillas, etc. Éstas pueden ubicarse sobre el cable si es que se proporciona lo siguiente:
 - Una señal de seguridad visible
 - Una barrera protectora sobre el cable
 - Una escalera fija

- Cualquier cámara de inspección con una profundidad mayor de 1,25 m, deberá ser diseñado para que se pueda ingresar por medio de una escalera de mano u otro medio de escalamiento conveniente. Los equipos, cables y soportes no son medios apropiados de escalamiento.

6.3.4.4 Tapas.

- Las cámaras de inspección y de registro, cuando no se esté trabajando en ellas, deberán ser cerrados de manera segura mediante tapas de peso suficiente o diseño adecuado de modo que no puedan ser retiradas fácilmente sin herramientas.
- Las tapas deberán ser diseñadas de manera adecuada para que no puedan caer dentro o sobresalgan de los buzones de inspección y queden suficientemente lejos del contacto con el cable o equipo.
- La resistencia de las tapas y su estructura de soporte, deberán por lo menos ser suficientes para resistir las cargas aplicables.

6.3.4.5 Acceso a cámara subterránea y a túnel de servicio público.

- Las aberturas de acceso deberán estar ubicadas de tal manera que se proporcione un acceso seguro.
- Las aberturas de acceso al personal en las cámaras subterráneas deberán estar ubicadas, de modo que no se encuentren directamente encima o se abra directamente hacia el equipo o el cable. En las cámaras subterráneas, se pueden ubicar otros tipos de aberturas (no para el acceso al personal) a fin de facilitar el trabajo, el reemplazo o la instalación de equipos.

- Donde sea accesible al público, las puertas de acceso hacia los túneles de servicio público y a cámaras subterráneas, deberán de estar cerradas, a no ser que personas calificadas estén de servicio para restringir la entrada de personas no calificadas. Asimismo –antes del ingreso- deberán disponer de señal de seguridad contra riesgo eléctrico.
- Dichas puertas serán diseñadas de tal manera que una persona que se encuentre dentro pueda salir cuando la puerta haya sido cerrada desde fuera.

EXCEPCIÓN: Esta recomendación no aplica cuando el único medio de cerradura es con candado y el pasador está dispuesto de tal manera que el candado puede dejarse cerrado en el pasador, a fin de impedir el cierre de la puerta desde afuera.

6.3.4.6 Requerimientos de la(s) escalera(s). Las escaleras fijas deberán ser resistentes a la corrosión. Las escaleras portátiles podrán ser usadas.

RECOMENDACIÓN: Las escaleras deberán ser conformes a ANSI A14.1-1994, ANSI A14.2-1990, ANSI A14.3-1992], ANSI A14.5-1992.

6.3.4.7 Drenaje. Cuando el drenaje se produzca hacia las alcantarillas, se deberá proporcionar separadores, trampas u otros medios a fin de limitar la probabilidad de que ingrese gas a las cámaras de inspección, a las cámaras subterráneas o a los túneles.

6.3.4.8 Ventilación. Se proporcionará una ventilación de aire libre para las cámaras de inspección, las cámaras subterráneas y los túneles, contando con aberturas en las áreas cerradas utilizadas por el público. En recintos de protección que alojen transformadores, interruptores, reguladores, etc., el sistema de ventilación deberá ser limpiado a intervalos necesarios.

EXCEPCIÓN: Esto no se aplica a las áreas encerradas debajo del agua o en otras ubicaciones donde resulta poco práctico el acceso.

6.3.4.9 Protección mecánica. Los cables de suministro y el equipo deberán ser instalados o protegidos de tal manera que se evite el daño debido a objetos que caen o que son empujados a través del enrejado.

6.3.4.10 Identificación. Las tapas de las cámaras de inspección y de registro, deberán tener una marca de identificación que indique la propiedad o el tipo de servicio público.

6.4 CABLE DE SUMINISTRO

6.4.1 Generalidades. El cable de suministro deberá cumplir con lo dictaminado en el Reglamento técnico de instalaciones eléctricas –RETIE-, que a grandes rasgos establece:

6.4.1.1 En el diseño y construcción de los conductores, aislamiento, cubiertas y pantallas, deberán ser considerados los esfuerzos mecánicos, térmicos, ambientales y eléctricos previstos durante el período de instalación y operación.

6.4.1.2 El cable estará diseñado y fabricado de tal manera, que conserve las dimensiones especificadas y la integridad estructural durante su fabricación, enrollamiento, almacenamiento, manipulación e instalación.

6.4.1.3 El cable estará diseñado y construido de tal manera que cada componente esté protegido de efectos dañinos de otros componentes.

6.4.1.4 El conductor, el aislamiento y apantallamiento deberán ser diseñados para resistir los efectos de la magnitud y duración de la corriente de falla, salvo en la proximidad inmediata de la falla.

6.4.2 Aislamientos y cubiertas. Los aislamientos y cubiertas serán provistos de un envolvente aislante o pantalla, cuando sea necesario para proteger de la humedad y otras condiciones ambientales adversas.

6.4.3 Apantallamiento.

6.4.3.1 Generalidades.

- El apantallamiento del conductor y el apantallamiento del aislamiento, debe cumplir con las especificaciones dadas en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas -RETIE-.

EXCEPCIÓN: No se requiere apantallamiento para los puentes cortos, que no hacen contacto con la superficie conectada a tierra dentro de los recintos de protección o cámaras subterráneas, siempre que los puentes se encuentren protegidos o aislados.

- El apantallamiento del aislamiento puede ser seccionado siempre que cada sección se encuentre efectivamente conectada a tierra.

6.4.3.2 Material.

- El sistema de apantallamiento puede constar de materiales semiconductores, metales no magnéticos o ambos. El apantallamiento adyacente al aislamiento, estará diseñado para que permanezca en íntimo contacto con el aislamiento en toda condición de operación.
- El material de apantallamiento estará diseñado para resistir la corrosión excesiva durante las condiciones esperadas de operación, de no ser así, deberá estar protegido.

6.4.4 Accesorios y empalmes del cable. Los accesorios y empalmes del cable estarán diseñados para resistir esfuerzos mecánicos, térmicos, ambientales y eléctricos esperados durante el período de operación.

Los accesorios y empalmes del cable estarán diseñados, contruidos para mantener la integridad estructural de los cables a los cuales son pertenecen y para resistir la magnitud y duración de la corriente de falla esperada durante el período de operación.

6.5 EL CABLE EN ESTRUCTURAS SUBTERRÁNEAS

6.5.1 Generalidades. En sistemas que operen por encima de 2 kV, el diseño de los conductores o cables instalados en conducto no metálico, se debe considerar la necesidad de una pantalla con puesta a tierra efectiva, una cubierta protectora exterior o ambas.

6.5.2 Instalación.

6.5.2.1 Generalidades. Entre las consideraciones más importantes para la instalación del cable en estructuras subterráneas, se tiene:

- La flexión del cable de suministro durante su manipulación, instalación y operación deberá estar controlada a fin de evitar daños.
- Las tensiones de tracción y las presiones de superficie laterales en el cable de suministro deberán limitarse a fin de evitar daños*.
- Los ductos deberán estar limpios de material extraño que podría dañar el cable de suministro durante las operaciones de tracción.
- Los lubricantes del cable no deberán ser perjudiciales para el cable o los sistemas de conducto.

* Las recomendaciones del proveedor pueden ser usadas como guía.

- En las pendientes o recorridos verticales, los cables deben estar debidamente soportados.
- Los cables de suministro no deberán instalarse en el mismo ducto con los cables de comunicación, a menos que todos los cables sean operados y mantenidos por la misma empresa.
- Pueden instalarse cables de comunicación en conjunto en el mismo ducto, siempre que todas las empresas involucradas estén de acuerdo.

6.5.2.2 El cable en cámaras de inspección y cámaras subterráneas

- *Soportes*
 - Los soportes del cable estarán diseñados para resistir tanto la carga viva como la estática y deberán ser compatibles con el medio ambiente.
 - Los soportes deberán estar previstos para mantener las distancias de seguridad especificadas entre los cables.
 - Los cables de suministro, en su recorrido horizontal deberán estar soportados por lo menos 75 mm sobre el piso o protegidos de manera adecuada.

EXCEPCIÓN: Esta recomendación no aplica a los conductores de puesta a tierra o de enlace equipotencial.

- La instalación deberá permitir el movimiento del cable sin provocar concentración de esfuerzos destructivos. El cable deberá permanecer en los soportes durante la operación*.

* Puede ser necesario una protección especial en la entrada del ducto.

- *Distancia de seguridad*

- Se debe proporcionar un espacio de trabajo adecuado.
- Entre las instalaciones de suministro y comunicación (cable, equipo o ambos):
 - o Donde se va a instalar el cable, equipo o ambos en una cámara de inspección o una cámara subterránea de uso conjunto, se efectuará únicamente con la concurrencia de todas las partes implicadas.
 - o Los cables de suministro y comunicación deberán estar montados en bastidores desde paredes separadas. Se deberán evitar los cruces.
 - o Donde los cables de suministro y comunicación deban ser montados en bastidores en la misma pared, los cables de suministro deberán ser montados en bastidor debajo de los cables de comunicación.
 - o Las instalaciones de suministro y comunicaciones deberán ser montadas de tal manera, que permitan el acceso a cualquiera de ellas sin mover la otra.
 - o Las distancias de seguridad no serán menores a aquellas especificadas en la (Tabla 49).

Tabla 49. Distancia de Seguridad entre las instalaciones de suministro y de comunicaciones en buzones de inspección y cámaras subterráneas de uso común

Tensión de alimentación Fase a fase V	Superficie a superficie
	(mm)
0 a 15 000	150
15 001 a 50 000	230
50 001 a 120 000	300
Mayor de 120 001	600

Fuente. NESC

EXCEPCIÓN 1: Estas distancias de seguridad no se aplican a los conductores de puesta a tierra.

EXCEPCIÓN 2: Estas distancias de seguridad pueden reducirse mediante un mutuo acuerdo entre las partes implicadas, cuando se instalen barreras adecuadas o guardas.

- *Identificación*

- *Generalidades*

- o Los cables deberán estar permanentemente identificados, mediante marcas o de cualquier otra forma, en cada cámara de inspección u otras aberturas de acceso del sistema de conductos.
- o Toda identificación deberá ser de material resistente a la corrosión y adecuada para el medio ambiente.
- o Toda identificación será de buena calidad, perdurable y estará ubicada de tal manera que sea legible con alumbrado auxiliar.
- *Las cámaras de inspección y cámaras subterráneas de uso conjunto.* Los cables en cámaras de inspección o cámaras subterráneas que son operadas y mantenidas por diferentes titulares de empresas de servicio público, deben ser identificados mediante marcas o etiquetas permanentes, que denoten el nombre de la empresa y el tipo de cable usado.

6.5.3 Puesta a tierra y conexión equipotencial. Las pantallas sobre el aislamiento del cable y de los empalmes serán puestas a tierra de manera efectiva.

Las cubiertas metálicas del cable o las pantallas que se encuentran conectadas a tierra en una cámara de inspección, serán enlazadas o conectadas a una tierra común.

Los conductores de puesta a tierra y de enlace equipotencial deberán ser de material resistente a la corrosión, adecuados para el medio ambiente o apropiadamente protegidos.

6.5.4 A prueba de fuego. Aunque no sea un requisito la resistencia al fuego, esto estará previsto de acuerdo con la práctica de confiabilidad del servicio, a fin de proporcionar protección contra fuego externo y en ciertos casos fuego interno.

6.5.5 Cables de comunicación que contienen circuitos de suministro especiales.

6.5.5.1 *Circuitos especiales que operan a tensiones mayores de 90 V AC o 150 V DC y que son utilizados para el suministro de energía únicamente para equipos de comunicaciones, pueden ser incluidos en cables de comunicación bajo las siguientes condiciones:*

- Dichos cables tendrán una cubierta conductiva o pantalla puesta a tierra de manera efectiva y cada circuito continuará en conductores que estén cubiertos de manera individual con una pantalla puesta efectivamente a tierra.
- Todos los circuitos de dichos cables serán de propiedad o serán operados por una misma parte y sólo trabajadores calificados efectuarán su mantenimiento.
- Los circuitos de suministro, incluidos en dichos cables, terminarán en puntos sólo accesibles para los empleados calificados.
- Los circuitos de comunicación derivados de dichos cables, si es que no terminan en una estación repetidora o una oficina terminal, serán protegidos o

dispuestos de tal manera que en el evento de falla dentro del cable, la tensión del circuito de comunicación no sobrepase los 400 V a tierra.

- El borne de conexión del aparato para el suministro de energía estará dispuesto de tal manera, que las partes con tensión se encuentren inaccesibles cuando dichos circuitos de suministro estén energizados.
- Dichos cables deberán estar identificados según los requerimientos pertinentes del...numeral 6.5.2.2

EXCEPCIÓN: Los requerimientos del...numeral 6.6.5.... no se aplican a los circuitos de comunicaciones donde la potencia transmitida no sobrepase de 150 [W].

6.6 CABLE DIRECTAMENTE ENTERRADO

6.6.1 Generalidades. En este apartado deben ser tenidas en cuenta las consideraciones del apartado 6.4, para aquellos cables de suministro directamente enterrado.

Se debe precisar que todos los cables que operen por encima de 600 V a tierra deberán tener una pantalla metálica continua, cubierta o conductor neutro concéntrico conectado a tierra de manera efectiva.

EXCEPCIÓN: En un empalme o unión, el camino de paso de la corriente de la cubierta metálica, pantalla o el conductor neutro deberá ser continuo pero no necesita ser concéntrico.

Los cables que operan a más de 600 V a tierra y que poseen una pantalla metálica, cubierta o conductor neutro concéntrico con puesta a tierra efectiva, del mismo circuito de suministro, pueden ser enterrados sin ninguna separación intencional. Los cables del mismo circuito que operen a menos de 600 V a tierra, sin ninguna cubierta o pantalla puesta efectivamente a tierra, deben ser colocados muy cerca uno de otro (sin separación intencional).

Se debe proporcionar conexiones equipotenciales entre todos los equipos metálicos de comunicaciones y de potencia instalados sobre el suelo (pedestales, terminales, carcasas de equipos, carcasas de transformador, etc.), que se encuentren separados por una distancia de 1,8 m o menos.

Toda cubierta de cable de suministro directamente enterrado, que cumpla Los cables que operen por encima de 600 V a tierra deberá tener una pantalla metálica continua, cubierta o conductor neutro concéntrico con puesta a tierra efectiva y todos los cables de comunicación directamente enterrados, deberán tener un marcado legible.

Las reglas de este apartado también aplican a cables de suministro y de comunicación directamente enterrados instalados en ductos que no son parte de un sistema conduit.

6.6.2 Ubicación y ruta.

6.6.2.1 Generalidades. Los cables directamente enterrados deberán estar colocados de tal manera que se encuentren sometidos a la mínima alteración práctica. Cuando los cables van a ser instalados de forma paralela, directamente sobre o debajo de otras estructuras subterráneas se permite la aplicación de las recomendaciones de separación dadas en los numerales 6.6.4 o 6.6.5, según sea el caso.

Los cables deberán ser instalados lo más rectos posible. Cuando se requieran curvaturas, el radio de la flexión será lo suficientemente amplio como para limitar la probabilidad de daño al cable que se está instalando.

Los sistemas de cable deberán ser trazados de tal manera que permitan un acceso seguro para la construcción, inspección y mantenimiento. Deberá

determinarse previamente a las operaciones de apertura de zanjas, surcos o perforaciones - en cuanto sea práctico – los obstáculos o estructuras en el trayecto de la ruta proyectada del cable.

6.6.2.2 Peligros naturales. Las rutas a través de suelo inestable tal como fango, terrenos movedizos, suelos corrosivos u otros peligros naturales deberán ser evitadas. En caso de instalar cables directamente enterrados en áreas que presenten peligros naturales, estos cables deberán ser fabricados e instalados de tal manera que se encuentren protegidos de cualquier daño. Dichas medidas de protección deberán ser compatibles con otras instalaciones en el área.

6.6.2.3 Otras condiciones

- *Piscinas.* El cable de suministro no deberá ser instalado dentro de 1,5 m de una piscina o su equipo auxiliar, si una distancia de 1,5 m no es alcanzable, se deberá proporcionar protección mecánica suplementaria.
- *Edificaciones y otras estructuras.* El cable no deberá ser instalado directamente debajo de cimientos de edificaciones o de tanques de almacenaje. Cuando sea necesario instalar un cable debajo de dichas estructuras, la estructura deberá estar adecuadamente apoyada a fin de reducir la probabilidad de que se transfiera carga perjudicial al cable.
- *Vías férreas.*
 - Se deberá evitar la instalación del cable longitudinalmente por debajo de la sección del balasto de las vías férreas. Donde se deba instalar el cable longitudinalmente por debajo de la sección del balasto de una vía férrea, éste deberá ser ubicado a una profundidad no menor de 1,27 m por debajo de la parte superior del riel.

EXCEPCIÓN: Cuando resulte poco práctico esta distancia de seguridad puede reducirse mediante un acuerdo de las partes implicadas.*

- Cuando un cable directamente enterrado cruce bajo vías férreas, se deben aplicar las mismas distancias de seguridad indicada...en el numeral 6.3.1.1...
- *Carreteras y calles.* Se evitará la instalación del cable longitudinalmente por debajo de las superficies de las carreteras y calles muy transitadas. Cuando el cable deba ser instalado longitudinalmente bajo la carretera, este debería ser instalado en el arcén.
- *Cruces submarinos.* Los cruces submarinos serán desplazados, instalados o ambos, de manera que se vean protegidos de la erosión debido a la acción de la marea o las corrientes. Éstos no se ubicarán donde por lo general anclan los barcos.

6.6.3 Instalación.

6.6.3.1 Zanjas. La parte inferior de las zanjas que recibe al cable directamente enterrado, deberá ser relativamente plana, con tierra o arena bien apisonada. Cuando la excavación sea en roca o suelos rocosos, el cable deberá ser tendido sobre una capa protectora de relleno bien apisonado. El relleno dentro de los 100 mm por debajo y por encima del cable deberá estar libre de materiales que puedan dañar el cable. El relleno restante deberá ser adecuadamente compactado. No se deberá utilizar la compactación a máquina dentro de los 150 mm del cable.

6.6.3.2 Surcos. La instalación del cable en surcos excavados en suelos que contienen rocas u otros materiales sólidos, deben ser hechos de tal manera que el

* Cuando se presentan casos poco comunes o cuando la construcción propuesta interfiera con las instalaciones existentes, se requerirá una profundidad mayor que la especificada anteriormente.

material sólido no dañe al cable, ya sea durante la operación de excavación de surcos o después de la misma.

El equipo para la instalación del cable en surcos estará diseñado apropiadamente para que en la operación de excavación e instalación, el cable no se dañe debido a la flexión, presión lateral superficial o excesiva tracción sobre el cable.

6.6.3.3 Perforación. Cuando un sistema de cable va a ser instalado mediante perforación, el suelo y las condiciones de carga superficiales sean tales que el material sólido en esa ubicación pueda dañar el cable, éste deberá ser adecuadamente protegido.

6.6.3.4 Profundidad de instalación. La distancia entre la parte superior de un cable y la superficie por debajo de la cual se ha instalado (profundidad de instalación), deberá ser lo suficiente para proteger el cable de los daños impuestos por el uso esperado de la superficie.

Las profundidades de instalación, tal como se indica en la (Tabla 50), son consideradas adecuadas para los conductores o cables de suministro, excepto para lo planteado a continuación:

- En áreas donde las condiciones de baja temperatura podrían dañar los cables, puede ser conveniente mayores profundidades de instalación que las antes indicadas.
- Se pueden utilizar profundidades menores que las antes indicadas donde se prevea una protección adicional.
- Cuando la superficie no corresponda al nivel terminado del suelo, por debajo de la cual se va a instalar el cable, éste deberá ser colocado de tal manera que cumpla o sobrepase los requerimientos indicados anteriormente, tanto al

momento de su instalación como con posterioridad de la misma, cuando la rasante definitiva del terreno se haya alcanzado.

Tabla 50. Profundidad de instalación del cable o conductor de suministro eléctrico

Tensión (fase a fase)	Profundo bajo tierra
	(mm)
0 a 600	600
601 a 50 000	750
Por encima de 50 001	1070

Fuente. NESC

EXCEPCIÓN: Donde existan conflictos con otras instalaciones subterráneas, los cables de alumbrado que funcionan a no más de 150 V a tierra pueden estar a una profundidad de instalación no menor a 450 mm.

6.6.4 Separaciones deliberadas - Iguales o mayores a 300 mm de estructuras subterráneas u otros cables.

6.6.4.1 Generalidades. Estas reglas se aplican a la separación radial de cables o conductores de suministro y comunicaciones, entre ellos y de éstos a otras estructuras subterráneas tales como las alcantarillas, redes de distribución de agua, tuberías de gas y otros combustibles, cimientos de edificaciones, tuberías de vapor, etc., cuando la separación es igual o mayor que 300 mm *. En general, la separación radial deberá ser suficiente para permitir el acceso y mantenimiento de las instalaciones y limitar el daño a otra.

6.6.4.2 Cruces. A continuación se precisan algunas consideraciones útiles, cuando los cables directamente enterrados cruzan estructuras subterráneas, así:

- En donde un cable cruce por debajo de otra estructura subterránea, la estructura deberá estar apoyada de manera adecuada a fin de prevenir la transferencia de carga perjudicial hacia el sistema de cables.

* Para separación radial menor de 300 mm,... Véase numeral 6.6.5

- Si un cable directamente enterrado cruza sobre otra estructura subterránea, el cable deberá estar adecuadamente apoyado para limitar la probabilidad de transferencia de carga perjudicial hacia la estructura.
- Se podrá proporcionar un soporte adecuado mediante la instalación de dispositivos con suficiente separación vertical.

6.6.4.3 Instalaciones en paralelo. Se deberá mantener una separación vertical adecuada que permita el acceso a cada instalación y su mantenimiento sin que se dañen entre ellas, siendo la separación mínima de 300 mm.

EXCEPCIÓN. En el caso de tuberías de combustible líquido o gas, la distancia radial será lo más lejano práctico posible y un mínimo de 500 mm de la superficie externa de la tubería o tanque.

6.6.4.4 Protección térmica. El cable deberá de ser instalado con suficiente separación desde otras estructuras subterráneas, tales como las tuberías de vapor o criogénicas, a fin de evitar el daño térmico al cable. Donde no sea práctico proporcionar una distancia de seguridad adecuada, se colocará una barrera térmica apropiada entre las dos instalaciones.

6.6.5 Separación aleatoria – separación menor a 300 mm de estructuras subterráneas u otros cables.

6.6.5.1 Generalidades. Las siguientes recomendaciones aplican a los cables o conductores de suministro y de comunicación, cuya separación radial entre ellos y de éstos a las estructuras subterráneas tales como tuberías de agua, cimientos de edificios, tuberías de vapor, etc., sea menor de 300 mm, así:

- La separación radial de cables o conductores de suministro y de comunicación, a tuberías de vapor, gas y otras tuberías de combustible no deberá ser menor de 300 mm y deben cumplir con el numeral 6.6.4.

- Los circuitos que operan sobre los 300 V a tierra o 600 V entre los conductores, serán contruidos, operados y mantenidos de tal manera que, cuando presenten una avería, deberán ser inmediatamente des-energizados en un inicio o luego de la operación subsiguiente del dispositivo de protección (fallas fase a tierra en circuitos puestos a tierra, fallas fase a fase para circuitos no puestos a tierra).
- Los cables, conductores de comunicación y los cables, conductores de suministro, enterrados con separación aleatoria pueden ser tratados como un sistema, cuando se considere la separación desde otras estructuras o instalaciones subterráneas.

6.6.5.2 Cables o conductores de suministro. Los cables o conductores de un circuito de suministro y aquellos de otro circuito de suministro pueden ser enterrados juntos a la misma profundidad, sin ninguna separación intencionada entre las instalaciones, siempre que en cualquier parte de su trayecto puedan ser debidamente identificados.

6.6.5.3 Cables o conductores de comunicación. Los cables o conductores de un circuito de comunicación y aquellos de otro circuito de comunicación, pueden ser enterrados juntos y a la misma profundidad sin ninguna separación intencionada entre las instalaciones, siempre que todas las partes implicadas estén de acuerdo.

6.6.5.4 Cables o conductores de suministro y comunicación. Los cables o conductores de suministro y los cables o conductores de comunicación, pueden ser enterrados juntos en la misma profundidad sin ninguna separación deliberada entre las instalaciones, siempre que todas las partes implicadas estén de acuerdo y cumplan las recomendaciones dadas en el presente numeral.

EXCEPCIÓN: Los cables de comunicación de fibra óptica totalmente dieléctricos pueden ser enterrados juntos a la misma profundidad sin ninguna separación deliberada con los conductores o

cables de suministro, siempre que todas las partes implicadas estén de acuerdo y cumplan las recomendaciones dadas en el presente numeral.

- Generalidades

- Los sistemas de suministro puestos a tierra no deben ser operados a tensiones superiores de 22,000 V a tierra.
- Los sistemas de suministro no puestos a tierra, no deben operar en exceso de 5,300 V fase a fase.
- Los cables de un sistema de suministro no puestos a tierra que operan por encima de 300 V deben tener una construcción de pantalla concéntrica con puesta a tierra efectiva. Dichos cables deben ser mantenidos muy cerca uno de otro.
- Los circuitos de suministro no puestos a tierra, que operan a más de 300 V entre conductores y con separación aleatoria con los conductores de comunicación, deberán estar equipados con un sistema de indicación de falla a tierra.
- Los cables de comunicación y los conductores de acometida de comunicación, que tienen conductores o componentes metálicos, deberán contar con una pantalla metálica continua debajo de la cubierta protectora exterior del conductor.

EXCEPCIÓN: Este requerimiento no se aplica al numeral 6.6.5.3

- Los dispositivos de protección de las comunicaciones deberán ser adecuados, para la tensión y corrientes esperadas que se aplicarán a los mismos en caso que ocurra un contacto con los conductores de suministro.

- Se proporcionará una conexión equipotencial adecuado entre el conductor o conductores de suministro con puesta a tierra efectiva y la pantalla o cubierta del cable de comunicación, a intervalos que no deberían exceder de 300 m.
- En las proximidades de las estaciones de suministro donde puedan fluir grandes corrientes a tierra, el efecto de estas corrientes en los circuitos de comunicación, deberá ser evaluado antes de colocar los cables de comunicación a separaciones aleatorias con los cables de suministro.
- Cables de suministro con neutro o con chaqueta semiconductor desnudo y puesto a tierra
- Una instalación de suministro que opere a más de 300 V a tierra deberá incluir un conductor desnudo puesto a tierra o con chaqueta semiconductor en contacto con tierra. Este conductor debe ser adecuado para la magnitud y duración de la corriente de falla esperada, que pueda imponerse, pudiendo ser cualquiera de los siguientes:
 - o Una cubierta, una pantalla de aislamiento o ambos.
 - o Conductores concéntricos múltiples espaciados circunferencialmente próximos.
 - o Un conductor enterrado y muy próximo al cable, donde dicho cable o cables cuentan con una cubierta puesta a tierra o una pantalla, no necesariamente en contacto con la tierra. La cubierta y la pantalla o ambas, así como también el conductor serán los adecuados para la magnitud y la duración de las corrientes de falla esperada que puedan imponerse*.

* Esto es aplicable cuando un cable en un conducto no metálico, es considerado como una instalación de cable directamente enterrado y es conveniente una separación aleatoria.

EXCEPCIÓN: Cuando un cable enterrado pase a través de una sección corta del conducto tal como debajo de calzada, puede omitirse el contacto con la tierra del conductor puesto a tierra, siempre que el conductor puesto a tierra sea continuo a través del conducto.

- El conductor o los conductores desnudos que estén en contacto con tierra, deberán ser de material apropiado resistente a la corrosión. El conductor forrado con una chaqueta semiconductora será compatible con el material que conforma la chaqueta protectora exterior**.
- La resistividad radial de la chaqueta semiconductora no deberá ser mayor a $100 \Omega \cdot m$ y debe mantenerse estable en servicio. La resistividad radial del material de la chaqueta, es el valor calculado por la toma de medidas en una unidad de longitud del cable, de la resistencia entre el neutro concéntrico y un medio conductivo circundante. La resistividad radial es igual a la resistencia de una unidad de longitud multiplicada por el área superficial de la chaqueta, dividida entre el promedio del grosor de la chaqueta sobre los conductores neutros. Todas las dimensiones son expresadas en metros.
- *Cables de suministro con neutro puesto a tierra y con chaqueta aislante.* Cada conductor de fase de un sistema de suministro con varias puestas a tierra, que opera a más de 300 V a tierra y que cuenta con una chaqueta aislante, deberá tener un conductor concéntrico de cobre con puesta a tierra efectiva que cumpla con los siguientes requerimientos:
 - Una conductancia no menor que la mitad de la del conductor de fase.
 - Una adecuada conductancia para la magnitud y duración de la corriente de falla esperada que puede ser impuesta.

** La práctica ha demostrado que en muchas áreas geográficas, los neutros conformados por conductores de cobre desnudos concéntricos, experimentan una fuerte corrosión.

- Una conductancia de puesta a tierra de acuerdo...con el numeral 6.2.1... y conectado a tierra en tramos no menores a ocho en cada 1,6 Km en promedio de la sección enterrada, sin incluir las puestas a tierra de las acometidas individuales.
- *Cables de suministro con neutro puesto a tierra con cubierta aislante en ducto no metálico.* Los cables de suministro con neutro puesto a tierra con cubierta aislante que cumplan con el numeral 6.6.5.4 al momento de instalarse en el ducto no metálico, pueden tenderse de manera aleatoria con los cables de comunicación.

6.6.5.5 Cables y conductores de comunicación y suministro y líneas no metálicas de alcantarillado y de agua. Los cables, conductores de suministro y líneas no metálicas de alcantarillado o de agua pueden estar enterrados juntos, sin separación intencional entre instalaciones y en la misma profundidad, siempre y cuando todas las partes involucradas estén de acuerdo.

Los cables, conductores de comunicación y líneas no metálicas de alcantarillado o de agua pueden estar enterrados juntos, sin separación intencional entre instalaciones y en la misma profundidad, siempre y cuando todas las partes involucradas estén de acuerdo.

6.7 SUBIDA DE CABLES

6.7.1 Generalidades. La protección mecánica para los conductores o cables de suministro, deberá seguir lo establecido...en el numeral 2.11.4. Esta protección debe extenderse por lo menos 300 mm por debajo del nivel de superficie.

La subida de los conductores o cables de suministro deberá efectuarse verticalmente a partir de la zanja, cuidando que el radio de curvatura del cable sea el adecuado y no cause deterioro alguno en el tiempo de vida del mismo.

Las tuberías o guardas conductoras expuestas, que contengan los conductores o cables de suministro, deberán ser puestas a tierra cumpliendo el numeral 6.2.1.

6.7.2 Instalación. La instalación deberá ser diseñada de tal manera que el agua no se quede en las tuberías, debiendo sellarse o instalarse un tapón en la parte superior de la misma.

Los conductores y cables deberán estar apoyados de tal manera que limiten la probabilidad de causarse daños, inclusive los terminales o terminaciones.

Donde los conductores o cables entren a la tubería o curva de la tubería, éstos deberán ser instalados de tal manera que minimicen la posibilidad de daños debido al movimiento relativo del cable y la tubería.

6.7.3 Subida de tuberías en poste - requerimientos adicionales

Las tuberías deberán estar ubicadas en el poste y en la posición más segura posible, con respecto al espacio para escalamiento y así evitar la exposición a daño por el tránsito.

El número, tamaño y ubicación de los ductos o guardas de subidas de cables, deberán ser limitados a fin de permitir un acceso seguro para el escalamiento.

6.7.4 Instalaciones en plataforma o “Pad-Mounted”.

- Los conductores o cables de suministro que se instalen desde la zanja hacia los transformadores, interruptores u otros equipos en pedestal o plataforma “Pad-Mounted”, serán ubicados y dispuestos de tal manera que no permanezcan apoyados en los bordes de los orificios de la plataforma, ni en los bordes de las curvas u otras construcciones de ducto debajo de la plataforma.

- El cable que ingrese al equipo “Pad-Mounted” deberá mantenerse a una profundidad adecuada para su nivel de tensión, hasta que se proteja al pasar directamente debajo de la plataforma, a no ser que se proporcione otra protección mecánica.

6.8 TERMINALES DEL CABLE DE SUMINISTRO

6.8.1 Generalidades. Los terminales del cable deben ser diseñados y construidos para cumplir con los requerimientos del numeral 6.4.4.

Los terminales de los cables que no se encuentren ubicados dentro de una cámara subterránea, un equipo montado en una plataforma o recintos de protección similares, estos serán instalados de forma tal que las distancias de seguridad especificadas en el capítulo 2 de este documento se mantengan.

El terminal de cable será diseñado para que limite la posibilidad de penetración de humedad al cable, cuando dicha penetración resulte perjudicial para el mismo.

En caso de reducción de las distancias de seguridad entre partes a diferente potencial por debajo de las adecuadas por la tensión y el BIL (nivel básico de aislamiento), se deben proporcionar barreras de aislamiento adecuadas o terminales totalmente aislados, a fin de cumplir con las distancias de seguridad equivalentes requeridas.

6.8.2 Soporte de los terminales. Los terminales del cables deberán ser instalados de una forma tal que mantengan su posición de diseño; para esto el cable deberá ser apoyado o asegurado de manera tal, que se limite la posibilidad de transferencia de esfuerzos mecánicos perjudiciales al terminal, al equipo o la estructura.

6.8.3 Identificación. Se deberá proporcionar una identificación adecuada del circuito para todos los terminales.

EXCEPCIÓN: Este requerimiento podrá no aplicarse donde, la posición del terminal, conjuntamente con los diagramas o mapas suministrados, proporciona una identificación suficiente.

6.8.4 Distancias de seguridad en recintos de protección o cámaras subterráneas. Se deberá mantener distancias de seguridad eléctricas adecuadas para los terminales de suministro, tanto entre los conductores como entre los conductores y el suelo, de acuerdo con el tipo de terminal empleado.

Cuando las partes energizadas expuestas se encuentren en un recinto de protección, se proporcionará distancias de seguridad o barreras aislantes adecuadas para las tensiones y el nivel básico de aislamiento (BIL) de diseño.

Cuando un terminal se encuentre en una cámara subterránea, se permite el uso de partes energizadas no aisladas, siempre que estén protegidas o resguardadas y no sean accesibles.

6.8.5 Puesta a tierra. Todas las superficies conductoras expuestas del dispositivo terminal que no sean las partes vivas y el equipo al que está unido, deberán estar puestas a tierra de manera efectiva, enlazadas equipotencialmente o ambas.

Por otra parte, Las estructuras conductoras que soportan los terminales del cable deben ser puestas a tierra de manera efectiva.

6.9 EQUIPOS

6.9.1 Generalidades.

- Entre los equipos o componentes de una línea de suministro eléctrico subterránea tenemos:

- Barras, transformadores, interruptores, etc., instalados para la operación del sistema de suministro eléctrico.
- Repetidoras, bobinas de carga, etc., instaladas para la operación del sistema de comunicación.
- Equipo auxiliar, tal como bombas de sumidero, salidas, etc. instalado como es requerido por los sistemas de suministro o comunicaciones.
- Cuando el equipo se va a instalar en una cámara de inspección de uso conjunto, esto se efectuará con el acuerdo de todas las partes implicadas.
- Las estructuras de soporte, incluyendo bastidores, ménsulas o pedestales y sus cimientos serán diseñados para soportar todas las cargas y esfuerzos que se espera imponga el equipo, incluyendo aquellos esfuerzos ocasionados por su operación.
- Los equipos tipo “Pad-mounted”, pedestal o similares, deberán instalarse a no menos de 1,2 m de los hidrantes.

EXCEPCIÓN: Donde las condiciones no permitan una distancia de 1,2 m, una distancia no menor a 900 mm es permitida.

6.9.2 Diseño. A continuación se presentará una lista, que contiene condiciones de seguridad a tener en cuenta, en la etapa del diseño de los equipos de un sistema de suministro eléctrico subterráneo.

- En el diseño y montaje del equipo se considerará las condiciones previstas, sean estas: térmicas, químicas, mecánicas y las condiciones medio ambientales circundantes al equipo.

- Todo equipo, incluyendo los dispositivos auxiliares, será diseñado para resistir los efectos de condiciones normales de emergencia y de falla, esperados durante la operación.
- Los interruptores estarán provistos con una indicación clara de la posición de sus contactos y las palancas o dispositivos de activación estarán claramente marcados indicando las direcciones de operación.

RECOMENDACIÓN: Las palancas o los mecanismos de control de todos los interruptores para todo el sistema, deberán operarse en una dirección igual para abrir y en una dirección uniformemente diferente para cerrar a fin de minimizar errores.

- Los dispositivos automáticos o con control remoto, deberán contar con medios locales para dejar inoperables los controles remotos o automáticos, si dicha operación puede ocasionar un peligro al trabajador.
- Los recintos de protección que contengan fusibles y contactos de interruptores, serán diseñados para resistir los efectos de condiciones normales, de emergencia y falla esperadas durante la operación.
- Cuando se vaya a utilizar herramientas para conectar o desconectar dispositivos energizados, se diseñarán espacios o barreras que proporcionen distancias de seguridad adecuadas desde el suelo o entre fases.
- Equipo montado en pedestal “Pad-Mounted” o instalado sobre superficie
 - El equipo montado en pedestal “Pad-Mounted” deberá tener un recinto de protección que esté cerrado o asegurado contra el ingreso no autorizado.
 - El acceso a las partes energizadas expuestas con más de 600 V, requerirán de dos actos conscientes separados; el primero será el desbloquear la puerta o

barrera que esté cerrada o asegurada contra el ingreso no autorizado y el segundo acto será abrir la puerta o el retiro de una barrera.

RECOMENDACIÓN: Deberá disponerse de un aviso o señal adecuada de seguridad y llamativa, al momento de abrir la primera puerta o retirar la primera barrera.

6.9.3 Ubicación en estructuras subterráneas. Los equipos de una instalación eléctrica subterránea deberán cumplir con las siguientes consideraciones en cuanto a la ubicación de los mismos en las estructuras que los contengan, así:

- El equipo no obstruirá las entradas de acceso al personal, en las cámaras de inspección o las cámaras subterráneas, ni impedirá la salida de personas que estén trabajando en las estructuras que alojan el equipo.
- El equipo no será instalado a distancia menor a 200 mm de la parte posterior de las escaleras fijas y no interferirá con el uso adecuado de dichas escaleras.
- El equipo estará dispuesto en una cámara de inspección o cámara subterránea de tal forma que permita la instalación, operación y mantenimiento de todos los elementos de dichas estructuras.
- Los dispositivos de conmutación que cuentan con los medios para la operación manual o eléctrica, serán operables desde una ubicación segura y donde estén así diseñados, serán manejados desde la superficie. Esto puede llevarse a cabo mediante el uso de dispositivos auxiliares portátiles, conectados temporalmente.
- El equipo no deberá interferir con el drenaje de la estructura.
- El equipo no deberá interferir con la capacidad de ventilación de toda estructura o recinto de protección.

6.9.4 Instalación. Los equipos de una instalación eléctrica subterránea deberán cumplir con las siguientes consideraciones en cuanto a la instalación de los mismos en las estructuras que los contengan, así:

- Las medidas que se tomen para el levantamiento o desplazamiento a la posición final para el montaje, serán las adecuadas respecto al peso del dispositivo.
- Las partes energizadas serán protegidas o no accesibles a fin de limitar la posibilidad del contacto con las personas, cuando éstas están en una posición normal adyacente al equipo.
- Las palancas de mando, los medios de inspección y los medios para realizar pruebas serán visibles y fácilmente accesibles cuando el equipo esté en su ubicación final, sin que se tenga que mover las conexiones permanentes.
- Las partes energizadas no deberán ser accesibles o estas deben ser protegidas para no permitir una fácil exposición a las mismas.
- Los controles de operación del equipo de suministro, que son fácilmente accesibles al personal no autorizado, deberán estar asegurados con pernos, cerraduras o cierres.

6.9.5 Puesta a tierra. Las cajas o carcasas, los resguardos y en general los recintos de protección hechos de material conductor serán puestos a tierra de manera efectiva o protegidos.

6.9.6 Identificación. Cuando los transformadores, los reguladores u otro equipo tengan uso múltiple (posibles variaciones operativas), se deberán emplear letreros, etiquetas, diagramas u otros medios adecuados para indicar tal hecho.

6.10 INSTALACIÓN EN TÚNELES

6.10.1 Generalidades. El montaje de instalaciones de suministro y comunicaciones en túneles, deberán cumplir con los requerimientos contenidos en el presente Capítulo

Cuando el espacio ocupado por las instalaciones de suministro y de comunicaciones en túneles, sea accesible a personas no calificadas o donde los conductores de suministro no cumplan con las recomendaciones del capítulo 6 del presente documento, la instalación se deberá llevar a cabo de acuerdo con las recomendaciones expuestas en el capítulo 5 del actual documento.

6.10.2 Condiciones del entorno. Entre las condiciones para la instalación de líneas de suministro eléctrico en túneles, de acuerdo a consideraciones del entorno, se tiene:

- Cuando el túnel sea accesible al público o cuando los trabajadores deban entrar a la estructura para instalar, operar o dar mantenimiento a las instalaciones dentro del mismo; el diseño deberá proporcionar un ambiente seguro, incluyendo donde sea necesario barreras, detectores, alarmas, ventilación, bombas y dispositivos de seguridad adecuados para todas las instalaciones. El ambiente seguro controlado deberá incluir, lo siguiente:
 - Diseño para evitar una atmósfera tóxica o asfixiante.
 - Diseño para proteger a las personas de las tuberías presurizadas, del fuego, de la explosión y de las altas temperaturas.
 - Diseño para evitar condiciones inseguras debido a tensiones inducidas.

- Diseño para limitar la posibilidad de peligros debido a inundaciones.
- Diseño para asegurar la salida o evacuación.
- Espacio de trabajo, el cual estará limitado a no menos de 600 mm desde el espacio de operación vehicular o desde las partes móviles y expuestas de la maquinaria.
- Resguardos diseñados para proteger a los trabajadores de peligros, debido a la operación de vehículos u otra maquinaria en los túneles.
- Pasillos despejados para los trabajadores en los túneles.
- Cuando las instalaciones de suministro eléctrico y las de comunicaciones ocupan conjuntamente espacios en túneles, se debe garantizar que el diseño y el montaje de todas las instalaciones sean coordinados para proporcionar un ambiente seguro en la operación de ambos tipos de instalaciones. Un ambiente seguro para las instalaciones deberá incluir lo siguiente:
 - Medios para proteger el equipo de los efectos dañinos de humedad o temperatura.
 - Medios para proteger el equipo de los efectos dañinos de líquidos o gases.
 - Diseño coordinado y operación de los sistemas de control de corrosión.

7. OBSERVACIONES

- Debido al alcance pretendido por el presente documento, se hizo necesario analizar y abstraer del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE-, las consideraciones técnicas de seguridad en los procesos de suministro eléctrico, lo cual se sintetizó en un diagrama de bloques que refleja el cumplimiento de los lineamientos de dicho reglamento en la etapa de diseño de cualquier proyecto eléctrico Ver (Figura 1).
- En la búsqueda por encontrar literatura técnica referente a la seguridad en las instalaciones de suministro eléctrico que integrara y complementara lo dictaminado por el –RETIE-, se encontró en el contexto nacional un sin número de normalización técnica fragmentada y sectorizada, por lo tanto, se decidió investigar en otros estándares y normas internacionales vigentes.
- Dentro de la información seleccionada para concretar y ampliar lo dispuesto en el reglamento técnico de instalaciones eléctricas -RETIE- y teniendo presente el alcance planteado por el actual trabajo de grado, se encontró que el national electrical safety code -NESC- satisfacía en gran medida las pretensiones, tanto en contenido como en alcance, por tal motivo fue seleccionado como documento base para el desarrollo del presente trabajo, de igual manera se tomó como apoyo el código eléctrico colombiano –NTC 2050- y otros estándares internacionales vigentes.
- Por la extensión y complejidad de la información tratada fue necesario mantener en gran parte, el mismo orden temático del código americano – NESC-, a excepción de algunos temas que a criterio del autor se ajustan a la subdivisión propuesta para el actual documento, como es el caso del capítulo 2 aquí denominado: *“Distancias y espaciamientos de seguridad en instalaciones de suministro eléctrico”*.

- Debido a que la información fue extraída en su mayoría de documentos escritos en el idioma inglés, se incluyó un glosario al inicio del documento con las definiciones de los términos más comúnmente encontrados en el mismo. Además, por la dificultad en la traducción de algunos términos, estos fueron contenidos entre comillas (“_”), seguido por la traducción que el autor consideró apropiada.
- En algunos sistemas de suministro eléctrico es innegable la disposición aérea o subterránea de líneas y equipos de comunicaciones, por este motivo en el presente documento se han incluido algunos parámetros y criterios técnicos de seguridad relacionados a los sistemas de comunicaciones que se encuentran adjuntos o en las cercanías de los sistemas de suministro eléctrico.
- Por otro lado, en el ámbito nacional debe ser replanteada la visión de la seguridad eléctrica, debido a que esta no sólo se garantiza con el buen uso de herramientas y elementos de protección personal para la operación de las instalaciones de suministro eléctrico; sino, con el diseño, la construcción y el mantenimiento de sistemas eléctricos seguros.
- Desde la etapa inicial del presente trabajo de grado se conocían gran parte de las dificultades inherentes al mismo, siendo el alcance pretendido la principal barrera; sin embargo, el deseo por aportar a la seguridad eléctrica nacional, fue el aliciente que permitió la materialización del presente documento. Es así, que este trabajo ha sido realizado, poniendo todo el esfuerzo y dedicación, dejando la satisfacción de haber alcanzado el objetivo general propuesto y de este modo contribuir al conocimiento y divulgación de recomendaciones técnicas de seguridad para la instalación y adecuación de los sistemas de suministro eléctrico.

- El contenido de este trabajo de grado aspira en convertirse en un referente ineludible, tanto para los sectores implicados en la generación, transmisión, transformación y distribución de energía eléctrica como para las entidades y organismos encargados de la inspección y reglamentación de la seguridad eléctrica de nuestro país. De igual manera El actual documento genera una utilidad tangible en el diseño y construcción de líneas de suministro eléctrico a cualquier tensión de operación (transmisión y distribución); e incluso se estima de interés para todos aquellos nuevos proyectos en los cuales Colombia ratifica su condición como exportador de energía, esto se debe a que con el conocimiento y el uso de las recomendaciones técnicas de seguridad aquí plasmadas, se mitigan posibles problemas por instalaciones inseguras.

8. CONCLUSIONES

El proyecto nace con el fin de recomendar parámetros y criterios técnicos de seguridad para la instalación y adecuación de sistemas de suministro eléctrico; para este propósito, se hizo uso a priori de los términos: parámetros, requisitos y criterios en el ámbito técnico, como método de búsqueda para identificar y seleccionar la información referente a la seguridad de los sistemas de suministro eléctrico.

Durante la revisión y el análisis de la información inicialmente consultada, se encontró que la seguridad eléctrica en esencia responde de manera directa a la clasificación por medio de los términos anteriormente mencionados; esto se debe, de manera general, a la necesidad en el ámbito de la seguridad, por establecer valores mínimos fijos en todas aquellas variables propias del sistema a proteger, estos valores mínimos representan la cuantificación de: distancias, espaciamientos, corrientes, áreas transversales de conductores, entre otros, que en el presente documento son definidos como: *“parámetros técnicos de seguridad”*. Estos parámetros están estrechamente ligados a la forma, como todos los componentes de un sistema eléctrico son concebidos bajo la óptica de la seguridad, en la etapa de diseño, materializados en la etapa de construcción y conservados en las etapas de operación y mantenimiento de este tipo de instalaciones. .

Además de encontrar que la seguridad eléctrica depende del establecimiento de valores mismos, se encontró que para garantizar un perfecto vínculo entre los sistemas eléctricos y sus componentes, es preciso apelar a métodos técnicos de seguridad para la instalación y adecuación de dichos componentes y equipos al sistema eléctrico; de ahí, que el actual documento haga uso de: *“criterios técnicos de seguridad y requisitos técnicos de seguridad”*, para señalar y clasificar los

métodos y las condiciones técnicas usados en los sistemas eléctricos, en pro de alcanzar sistemas eléctricos seguros.

Sin embargo, no se deben confundir los criterios con los requisitos técnicos de seguridad, ya que los criterios son usados de manera más general en el diseño y la formulación de procedimientos para la consecución de cualquier sistema, mientras que los requisitos son incorporados dentro de especificaciones y son generalmente mucho más delimitados en naturaleza que los criterios. Por ejemplo, un criterio técnico de seguridad relacionado a un sistema de puesta a tierra, puede ser: *“Todos los conductores de puesta a tierra deben tener adecuada rigidez mecánica, para las condiciones a las cuales pueden estar sometidos”*. Y un requerimiento técnico de seguridad acorde al criterio anteriormente expuesto, será: *“los conductores de puesta a tierra sin resguardo, deben tener una resistencia a la tracción, no menor que la de AWG Nº 8”*.

Una vez identificada y seleccionada la información, se hizo necesario reconocer puntos o condiciones que hay que cubrir y considerar para llevar a cabo el diseño y la construcción exitosa de los sistemas de suministro eléctrico, en términos de seguridad; para este propósito, se recurrió a la interpretación de lo que en naturaleza propone el reglamento -RETIE-, obteniéndose la ilustración de un sistema en diagrama de bloques, en donde se representa a modo general las actividades propias de la etapa de diseño, así como de los puntos o condiciones a cumplir en la misma etapa por todo proyecto eléctrico, de acuerdo a los requerimientos técnicos dispuestos en dicho reglamento. Esta interpretación aportó de manera significativa como derrotero para la clasificación del contenido plasmado en el presente trabajo de grado.

Dentro de los puntos o condiciones que se consideraron tienen mayor importancia en la implementación de proyectos de suministro eléctrico seguros, fueron: las distancias de seguridad, los sistemas de puesta a tierra, la señalización de

seguridad, la iluminación, etc., ya que estos brindan solución a las necesidades reales en términos de seguridad de las personas que trabajan día a día con este tipo de sistemas y de aquellas que por el entorno mantienen relación física indirecta con las mismas.

De acuerdo a lo anterior y para efectos prácticos en el desarrollo del contenido, los sistemas de suministro eléctrico no se consideraron en el contexto de la seguridad, como sistemas con arreglos normalizados por potencia ni por tensión, esto se debió, en primera instancia al inferir que estos tipos de sistemas dependen de una gran variedad de condiciones particulares, tales como: ubicación, disposición, entorno, necesidades de los usuarios, entre otros; además, se previó un aumento innecesario en la extensión del presente documento, debido a la repetición de contenidos, si se hubiesen normalizado algunos sistemas aquí plasmados en los rangos de tensión más comúnmente utilizados en el sector eléctrico colombiano.

Debido al alcance pretendido por el actual documento, se concluye que la agrupación de los sistemas de suministro eléctrico de acuerdo a la disposición, la ubicación y el entorno de sus componentes y equipos, es el método más adecuado para clasificar y ordenar las recomendaciones a modo de parámetros y criterios técnicos de seguridad. Así, los procesos de transmisión y distribución de la energía eléctrica corresponden a los arreglos aéreos y subterráneos citados en el actual trabajo de grado como: “líneas aéreas de suministro eléctrico” y “líneas subterráneas de suministro eléctrico”, respectivamente; de igual manera, los procesos de generación y transmisión de la energía eléctrica se agruparon en lo aquí denominado: *“estaciones de suministro eléctrico”*.

Para concluir el presente documento, es necesario determinar el aporte del mismo a la seguridad eléctrica de las instalaciones de suministro eléctrico en el contexto

nacional; para tal fin, a continuación se abordarán dos aspectos esenciales propios de la seguridad, los cuales son:

Aspecto ético. Las consideraciones éticas de la seguridad en los sistemas eléctricos emergen cuando se realizan los siguientes cuestionamientos: “¿Cuál es la responsabilidad de las personas o grupos de personas encargadas de la planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de sistemas eléctricos para garantizar la seguridad de los mismos?”, “¿Qué tanto debería intervenir el gobierno con la intención de salvaguardar los seres vivos y bienes que de alguna manera se relacionan con los sistemas eléctricos de eventuales peligros o riesgos eléctricos?”.

Aspecto técnico. La seguridad eléctrica es por naturaleza técnica, esto se debe a que los sistemas eléctricos mantienen total dependencia con los productos, componentes y equipos, así como, con los métodos y/o procedimientos para la instalación, operación y mantenimiento de los mismos en las instalaciones eléctricas. Al integrar dicha dependencia de los sistemas eléctricos con los productos, componentes y equipos al cumplimiento de condiciones técnicas de seguridad propias de los sistemas eléctricos, surge la necesidad por establecer parámetros, requisitos y criterios técnicos mínimos de seguridad.

De acuerdo a lo anteriormente expuesto y a razón de que las recomendaciones técnicas de seguridad contenidas en el presente documento están basadas en: las disposiciones y los requerimientos dados por el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas -RETIE-, los métodos y los criterios técnicos de seguridad para la instalación y adecuación de instalaciones de suministro eléctrico adoptados del Código Eléctrico Nacional –NTC 2050-, el National Electrical Safety Code -NESC-, entre otros estándares vigentes consultados para el desarrollo del presente documento. Se concluye, que el actual documento es una verdadera herramienta de consulta, útil a todas aquellas personas dedicadas a: el diseño, la

construcción, la inspección, la operación y el mantenimiento de los sistemas de suministro eléctrico, en la búsqueda por alcanzar sistemas eléctricos seguros.

Sin embargo, debe ser claro hasta este punto, que la consecución de sistemas de suministro eléctrico seguros implica una entera dependencia de los dos aspectos de la seguridad inicialmente mencionados “*ética y técnica*”.

9. RECOMENDACIONES

- Considerando la importancia de los sistemas de protección contra rayos, la protección contra los efectos electromagnéticos, así como, de las tensiones inducidas asociados a los sistemas de suministro eléctrico, es preciso recomendar el estudio y el análisis de este tipo fenómenos, con el fin de establecer parámetros y criterios técnicos de seguridad mínimos que mitiguen sus efectos.
- En general los estándares, normas y reglamentos referentes a la seguridad eléctrica son actualizados periódicamente, debido al constante dinamismo de la técnica en los sistemas de suministro eléctrico, por lo tanto, se recomienda actualizar el presente documento según lo demanden las necesidades propias del medio.
- De acuerdo a la bondades del método de búsqueda usado por el presente documento, para la identificación y selección de la información referente a la seguridad de los sistemas de suministro eléctrico, se recomienda a futuros trabajos que persigan identificar o establecer nuevas condiciones de seguridad no sólo en el ámbito de los sistema eléctricos, sino al nivel de cualquier sistema en ingeniería, seguir esta metodología.
- Entendiendo que es el talento humano, el que en definitiva aporta en el cumplimiento de reglamentos y normas, se recomienda difundir el contenido del actual trabajo, así como de aprovechar la academia para dar a conocer lo aquí contenido y así aportar indudablemente a la seguridad de los sistemas de suministro eléctrico de nuestro país.

- Debido a que la seguridad eléctrica es un tema de importancia nacional y considerando que el contenido del actual documento por estar basado en un código Americano -NESC-, encaja dentro del enfoque que debe tener un reglamento técnico y considerando que tiene plena aplicación en las instalaciones para el suministro de la energía eléctrica, se recomienda tomar como base este documento para que por medio de un consenso de los actores del sector eléctrico sea desarrollado un código nacional de suministro eléctrico.

BIBLIOGRAFIA

- [1] COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Resolución No. 181294. Bogotá, D.C: 6 Agosto de 2008.
- [2] CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO (NTC 2050). Instituto colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC). Colombia, 1998.
- [3] NATIONAL ELECTRICAL SAFETY CODE, Institute of Electrical and Electronics Engineers, NY, 2007.
- [4] IEEE 100, *The Authoritative Dictionary of IEEE Standards Terms*, Seventh Edition.
- [5] IEEE Std 80-2000, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding.
- [6] IEEE Std. 242-2001, *Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial Power Systems*.

ANEXOS

Anexo A. Sistema uniforme de distancias de seguridad adoptado de la NESC 1990 [2], [4]

Introducción. El sistema uniforme de distancias de seguridad refleja las dimensiones esperadas en cada área (componente de referencia), así de como los componentes mecánicos y eléctricos para cada tipo de instalación.

Las distancias de seguridad de los conductores comienzan en términos de la “más cercana aproximación” esto es, la distancia libre que debe ser mantenida bajo condiciones específicas.

- Las distancias de seguridad vertical son requeridas durante las condiciones de flecha máximas, estas se proponen de acuerdo a las actividades esperadas debajo de la línea.
- Las distancias de seguridad horizontal son requeridas cuando el conductor esta en reposo, estas se proponen de acuerdo a las actividades esperadas a lo largo de la línea. Además, el desplazamiento del conductor por viento es considerado bajo ciertas condiciones.

Tres componentes son considerados para determinar la distancia de seguridad total, estos son:

- *Un componente de referencia* para cubrir las actividades en el área a ser dejada libre por las líneas de comunicación y de suministro eléctrico. Por ejemplo, la máxima altura esperada de un camión que transita sobre una calle, estará limitada a 4,3 m así, el componente de referencia para este tipo de calles es de 4,3 m. Los componentes de referencia incluidos en los requerimientos de distancia de seguridad son mostrados en la (Tabla A-2).

- *Un componente mecánico* apropiado para la línea de comunicación o de suministro eléctrico. El componente mecánico para conductores neutros se citan...en el numeral 2.2.5.2...y para conductores de suministro eléctrico desnudos es de 610 mm. Ver (Tabla A-1).
- *Un componente eléctrico* apropiado para la tensión de operación. El componente eléctrico para conductores desnudos de suministro eléctrico, con tensiones superiores a 750 V e inferiores a 22 kV es de 760 mm. Ver (Tabla A-1).

La distancia de seguridad requerida es la suma de los tres componentes, para conductores desnudos de suministro eléctrico con tensiones entre los 750 V y 22 kV y sobre caminos donde transitan camiones se requieren 5,6 m. Ver (Tabla 9). Para propósitos de ilustración, los componentes eléctricos y mecánicos son combinados en la (Tabla A-1), de este modo la suma total de los componentes mecánicos y eléctricos están agrupados dentro de una categoría; de esta manera se contarán con seis grupos, como se enseña en la (Tabla A-1).

Tabla A -1 Clasificación de los componentes mecánicos y eléctricos de las distancias de seguridad por grupos

GRUPO	M&E (mm/m)	CATEGORIA	R/NR (ft)	GI/O (ft)	M (ft)	E (ft)
I	305 mm	Brazos de soporte	1,0/-	0,0/-	1	0
		Carcasas de equipos efectivamente conectadas a tierra	1,0/-	0,0/-	1	0
II	455mm	Conductores y cables de comunicación aislados	-1,5	0,0/-	1,5	0
		Mensajeros	-1,5	0,0/-	1,5	0
		Cables de protección de sobretensión	-1,5	0,0/-	1,5	0
		Templetes a tierra	-1,5	0,0/-	1,5	0
		Los citados en numeral 2.2.3.1	-1,5	0,0/-	1,5	0
		Los citados en numeral 2.2.3.1	-1,5	0,0/-	1,5	0
III	610mm	URLP, 0 a 750 V	1,0/-	-0,5	1,5	0,5

Tabla A -1. Continuación

GRUPO	M&E (mm/m)	CATEGORIA	R/NR (ft)	GI/O (ft)	M (ft)	E (ft)
		Conductores de comunicación no aislados	-1,5	-0,5	2,0	0,0
		Numeral 2.2.3.2 (de 0 a 750 V)	-1,5	0,0/-	1,5	0,5
		Numeral 2.2.3.3 (de 0 a 750 V)	-1,5	0,0/-	1,5	0,5
		Carcasas de equipos no puestas a tierra de 0 a 750 V	1,0/-	-0,5	1,5	0,5
IV	760mm	Numeral 2.2.3.2 mayor a 750 V	-1,5	0,0/-	1,5	1,0*
		Numeral 2.2.3.3 mayor a 750 V	-1,5	0,0/-	1,5	1,0*
		Conductores de suministro desnudos (expuestos), 0 V a 750 V.	-1,5	0,0/-	2,0	0,5*
V	1,2m	URLP, Mayor de 750 V hasta 22 kV	1,0/-	-0,5	1,5	2,5
		Carcasas de equipos no puestos a tierra con tensiones entre 750 V a 22 kV	1,0/-	-0,5	1,5	2,5
VI	1,37m	Conductores de suministro desnudos (expuestos), con tensiones entre 750V a 22kV	-1,5	-0,5	2,0	2,5

Leyenda:

URLP - Partes rígidas energizadas sin protección.

R - Rígido = 305 mm

NR - No rígido = 155 mm

GI - Puesto a tierra o aislado = 0.0 m

O - Expuesto, no puesto a tierra, conductor o parte desnuda = 152 mm

M - Componente mecánico = R/NR mas GI/O

E - Componente eléctrico

- Puesto a tierra & conductor de comunicación = 0.0 m

- Línea de suministro eléctrico de 0 a 750 V = 152 mm

- Línea de suministro eléctrico con tensiones entre 750 V a 22 kV = 760 mm

M&E - Suma de los valores M y E.

NOTAS:

1 Templetes y partes de templetes entre templetes aislados tienen distancias de seguridad basadas en la más alta tensión a la cual pueden estar expuestos.

2 Un asterisco (*) al lado de un valor indica una excepción a la leyenda.

Tabla A-2a. Componente de referencia del apartado 2.4

	Tabla 9		Tabla 10	
	Ítem	Ref (m)	Item	Ref (m)
Vías férreas	1	6.7	-	-
Carreteras, calles o Callejones	2	4.3	1a	4.3
Calles residenciales, etc	3	4.3	1b	4.3
Otras carreteras con tránsito de Vehículos	4	4.3	1c	4.3
Espacios y caminos – de peatones	5	2.45/3.0	1d	3.0
Áreas de Agua – sin barcos	6	3.8	-	-
Áreas de agua – barcos	7		-	
a. Menor de 0.08 Km ²		4.9		-
b. Mayor de 0.08 a 0.8 Km ²		9.0		-
c. Mayor de 0.8 a 8 Km ²		9.0		-
d. Mayor de 8 Km ²		11.0		-
Áreas destinadas para plataformas o puertos barqueros.	8	Ver 7	-	
Dentro o a lo largo de:				
Carreteras, calles o Callejones	9	4.3	2a	4.3
Zona Rural, baja probabilidad de tránsito de vehículos.	10	3.65	2b	3.65

Tabla A- 2b. Componente de referencia del apartado 2.6

Tabla	Item	Ref (mm/m)
19	1. Edificaciones	
	a. Horizontal	
	(1). Paredes, proyecciones y ventanas con protección	915 mm
	(2). Ventanas sin protección	915mm
	(3). Los balcones y las zonas accesibles a peatones	915 mm
	b. Vertical	
	(1). Techos no accesibles a peatones	2,44 m
	(2). Balcones y techos accesibles a peatones	2,74 m
	(3). Techos de los vehículos a no más de 2,4 m	2,74 m
	(4). Techos de los vehículos a más de 2,4 m	4,3 m
	2. Señales, chimeneas, vallas, antenas, tanques , etc	
	a. Horizontal	9,15 mm

Tabla A- 2b. Continuación.

Tabla	Item	Ref (mm/m)
	b. Vertical (por encima o por debajo)	1,07 m
21	1. Sobre Puentes	
	a. Adjunto	305 mm
	b. No adjunto	2,44 m
	2. Al lado, sobre o dentro de estructuras de puentes	
	a. Accesible	
	(1). Adjunto	b.
	(2).No adjunto	2,44 m
	b. Inaccesible	
	(1). Adjunto	305 mm
	(2).No adjunto	610 mm
22	A. Desde el nivel del agua, borde de la piscina, etc.	6,25 m
	B. Desde la plataforma o torre de clavados	3,8 m