



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

**PARÁMETROS TÉCNICOS PARA LA SELECCIÓN DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES
ELÉCTRICAS PARA ÁREAS DE ALTO RIESGO IDENTIFICADAS POR LA NORMA IEC 60079-10**

Alejandro José López Morales

Asesorado por el Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez

Guatemala, febrero de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PARÁMETROS TÉCNICOS PARA LA SELECCIÓN DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES
ELÉCTRICAS PARA ÁREAS DE ALTO RIESGO IDENTIFICADAS POR LA NORMA IEC 60079-10**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ALEJANDRO JOSÉ LÓPEZ MORALES

ASESORADO POR EL ING. GUSTAVO BENIGNO OROZCO GODÍNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

GUATEMALA, FEBRERO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PARÁMETROS TÉCNICO PARA LA SELECCIÓN DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS PARA ÁREAS DE ALTO RIESGO IDENTIFICADAS POR LA NORMA IEC 60079-10

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 27 de marzo de 2019.

Alejandro José López Morales

Guatemala, 27 de septiembre de 2019.

Ingeniero Otto Andrino
Coordinador Área de Electrotecnia
Escuela Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
USAC.

Estimado Ingeniero:

De acuerdo con la designación efectuada por la Dirección de Escuela, me permito informarle que he procedido a asesorar el Trabajo de Graduación titulado: **PARAMETROS TECNICOS PARA LA SELECCIÓN DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES ELECTRICAS PARA AREAS DE ALTO RIESGO IDENTIFICADAS POR LA NORMA IEC 60079-10**, desarrollado por el estudiante ALEJANDRO JOSE LOPEZ MORALES, carne 2015-13767 y, encontrándolo satisfactorio en su contenido y resultados, me permito dar aprobación al mismo, remitiéndolo a esa Coordinación para el tramite pertinente, en el entendido que el Autor y este Asesor somos responsables del contenido y conclusiones del Trabajo.

Agradeciendo la atención a la presente, me es grato suscribirme, deseándole éxitos en sus labores cotidianas.

Atentamente,


Ing. Gustavo Benigno Orozco Godínez.
Colegiado 1,879
ASESOR

ING. GUSTAVO B. OROZCO
COLEGIADO 1879

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

REF. EIME 80. 2019.
28 de OCTUBRE 2019.

Señor Director
Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**PARÁMETROS TÉCNICOS PARA LA SELECCIÓN DE
CONDUCTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS PARA
ÁREAS DE ALTO RIESGO IDENTIFICADAS POR LA NORMA
IEC 60079-10, del estudiante; Alejandro José López Morales, que
cumple con los requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Otto Fernando'.

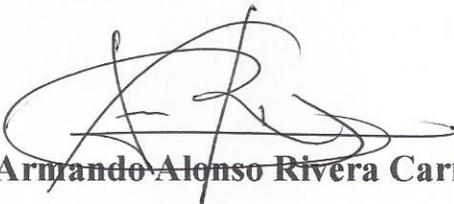
Ing. Otto Fernando Andrino González
Coordinador de Electrotécnia





REF. EIME 80. 2019.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante: ALEJANDRO JOSÉ LÓPEZ MORALES titulado: PARÁMETROS TÉCNICOS PARA LA SELECCIÓN DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS PARA ÁREAS DE ALTO RIESGO IDENTIFICADAS POR LA NORMA IEC 60079-10, procede a la autorización del mismo.


Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo



GUATEMALA, 18 DE NOVIEMBRE 2019.



La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de graduación titulado: **PARÁMETROS TÉCNICOS PARA LA SELECCIÓN DE CONDUCTORES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS PARA ÁREAS DE ALTO RIESGO IDENTIFICADAS POR LA NORMA IEC 60079-10**, presentado por el estudiante universitario: **Alejandro José López Morales**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, febrero de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Mi madre	Alejandra López, por darme la vida.
Mis abuelos	Luis López (q.e.p.d.) y Miriam Morales, por su amor incondicional.
Mi hermana	Miriam Calderón, por darme su cariño y ser un ejemplo de vida.
Mis tías	Miriam y Silvia López, por su apoyo y motivación.
Mi tía	Rosa Morales, por su apoyo, confianza y soporte.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Especialmente a la Facultad de Ingeniería, por su formación.

AGRADECIMIENTOS A:

Mi madre	Por darme la oportunidad de superarme profesional y personalmente.
Lcda. Rosa Morales	Por ser una importante influencia en mi carrera y por su apoyo incondicional.
Mis amigos de la Facultad	Por su colaboración, apoyo y amistad.
Ing. Miguel Leoncio	Por su apoyo, amistad y cariño.
Ing. Gustavo Orozco	Por su valioso apoyo como asesor y catedrático, por su ayuda y colaboración en el desarrollo de este trabajo.
Mi familia	Por sus buenos deseos y apoyo incondicional.
La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por brindarme conocimientos y experiencias que me han formado como profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. CABLES ELÉCTRICOS	1
1.1. Generalidades	1
1.2. Clasificación	1
1.2.1. Por su función.....	1
1.2.1.1. Cables para transporte de energía	2
1.2.1.2. Cables de control	2
1.2.1.3. Cables de comunicación.....	2
1.2.2. Por su tensión de servicio.....	2
1.2.3. Por la naturaleza de sus componentes.....	3
1.3. Componentes de los cables eléctricos	3
1.3.1. Conductor	3
1.3.2. Aislamiento	4
1.3.3. Cubierta	5
1.3.4. Recubrimientos.....	5
1.3.4.1. Envolturas de metal blando	5
1.3.4.2. Envolturas de metal duro	6
1.4. Especificaciones técnicas de los materiales	7
1.4.1. Propiedades técnicas del conductor	7

1.4.1.1.	Resistividad eléctrica (ρ)	7
1.4.1.2.	Conductividad eléctrica (σ).....	8
1.4.1.3.	Esfuerzos mecánicos (σ_c).....	9
1.4.2.	Tipos de conductores	10
1.4.2.1.	Plata	10
1.4.2.2.	Aluminio.....	11
1.4.2.3.	Cobre.....	11
1.4.3.	Propiedades técnicas del aislante	11
1.4.3.1.	Rigidez dieléctrica	12
1.4.3.2.	Constante dieléctrica (SIC).....	12
1.4.3.3.	Resistencia de aislamiento.....	12
1.4.3.4.	Factor de potencia.....	13
1.4.4.	Tipos de aislantes	14
1.4.4.1.	Termoplásticos	14
1.4.4.1.1.	Policloruro de vinilo (PVC)	14
1.4.4.1.2.	Polietileno lineal (PE)	15
1.4.4.1.3.	Teflón	15
1.4.4.2.	Termoestables.....	16
1.4.4.2.1.	Polietileno reticulado (XLPE).....	16
1.4.4.2.2.	Etileno – propileno (EPR)	17
1.4.4.2.3.	Hypalon (CSP)	18
1.4.5.	Protecciones.....	18
1.4.5.1.	Protecciones mecánicas.....	19
1.4.5.2.	Protecciones eléctricas.....	19
1.5.	Designación técnica de cables de baja tensión.....	19
1.5.1.	Identificación mediante simbología	19

1.5.2.	Identificación mediante colores.....	22
2.	FACTORES DE SELECCIÓN DE CABLES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS.....	23
2.1.	Especificaciones para selección de cables.....	24
2.1.1.	Tipo de instalación.....	24
2.1.2.	Tensión de instalación	24
2.1.3.	Corriente de instalación	25
2.1.4.	Factores térmicos	27
2.1.5.	Casos específicos.....	28
2.2.	Métodos de selección de la sección	28
2.2.1.	Corriente máxima y de cortocircuito	29
2.2.2.	Caída de tensión.....	33
3.	ÁREAS DE RIESGO SEGÚN NORMA IEC 60079-10	39
3.1.	Áreas de riesgo.....	41
3.1.1.	Clasificación de las áreas de riesgo	41
3.1.1.1.	Zona 0.....	41
3.1.1.2.	Zona 1.....	42
3.1.1.3.	Zona 2.....	42
3.1.1.4.	Zona 20.....	44
3.1.1.5.	Zona 21.....	44
3.1.1.6.	Zona 22.....	44
3.1.2.	Método alternativo de selección de áreas de riesgo según NEC.....	46
3.1.2.1.	División	47
3.1.2.2.	Grupo y clase.....	47
3.1.2.3.	Clasificación de áreas.....	49

4.	EQUIPOS Y SELECCIÓN DE CABLE SEGÚN ÁREAS DE RIESGO	53
4.1.	Equipo e instalaciones	53
4.1.1.	Tipos de protecciones según área	55
4.1.1.1.	Equipo clase I división I y II	58
4.1.1.2.	Equipo clase II división I y II	58
4.1.1.3.	Equipo clase III división I y II	59
4.1.1.4.	Equipo en casos especiales	59
4.2.	Cables eléctricos	61
4.2.1.	Cables utilizados en áreas de riesgo.....	62
4.2.1.1.	Tipo AC	62
4.2.1.2.	Tipo MC	63
4.2.1.3.	Tipo MI	64
4.2.1.4.	Tipo MV	65
4.2.1.5.	Tipo NM.....	66
4.2.1.6.	Tipo TC.....	66
4.2.1.7.	Tipos especiales.....	67
4.2.1.8.	Recomendaciones generales	69
4.2.2.	Cables contra incendios	69
4.2.2.1.	Cables no propagadores de la llama	72
4.2.2.2.	Cables no propagadores de incendio ...	72
4.2.2.3.	Cables resistentes al fuego	72
5.	TÉCNICAS DE INSTALACIÓN EN ÁREAS DE RIESGO	73
5.1.	Técnicas de instalación	73
5.1.1.	Clase I división I	73
5.1.2.	Clase I división II	74
5.1.3.	Clase II división I	74
5.1.4.	Clase II división II	75
5.1.5.	Técnica general de instalación en zonas.....	75

5.2.	Sellado.....	76
5.3.	Mantenimiento general	77
CONCLUSIONES		79
RECOMENDACIONES		81
BIBLIOGRAFÍA.....		83
APÉNDICE.....		85
ANEXOS		87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Conductor eléctrico	4
2.	Aislamiento de cable	4
3.	Cubierta de cable	5
4.	Envolturas de metal blando	6
5.	Envolturas de metal duro.....	6
6.	Elemento resistivo	7
7.	Gráfico de prueba de resistencia de aislamiento en cable	13
8.	Factor de pérdidas de PVC, EPR y XLPE	18
9.	Diagrama compuesto por una fuente de voltaje y una carga	35
10.	Ejemplo de atmósfera explosiva causada por vapor o gas	45
11.	Ejemplo de atmósfera explosiva causada por polvo	46
12.	Clasificación general de áreas de riesgo.....	52
13.	Porcentaje de incendios según fuente de ignición	71

TABLAS

I.	Valores de resistividad de algunos materiales a 23 °C.....	8
II.	Conductividad de algunos materiales a 23 °C.....	9
III.	Simbología para identificación de cables	20
IV.	Colores de los cables eléctricos	22
V.	Valores de resistividad térmica.....	26
VI.	Coeficiente Ca en función de las temperaturas de cortocircuito.....	31

VII.	Porcentaje de caída de tensión nominal máxima según la parte de instalación.....	34
VIII.	Conductividad de algunos materiales	37
IX.	Descripción de publicaciones de algunas normas IEC	39
X.	Clasificación de grupos y zonas de gases	43
XI.	Clasificación de grupos y zonas de polvos	45
XII.	División de clases y su descripción según NEC.....	46
XIII.	Nomenclatura de equipos según su temperatura de ignición	54
XIV.	Temperatura de ignición de equipos expuestos.....	55
XV.	Tipos de protección estándares para áreas de alto riesgo.....	56
XVI.	Tipos de protección para equipos eléctricos y su uso en áreas de riesgo.....	60
XVII.	Porcentaje de incendios según fuente de ignición	70

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área transversal
AS	Cable no propagador del incendio, con baja emisión de humos tóxicos, corrosivos y de baja opacidad.
AS+	Cable resistente al fuego, no propagador del incendio, con baja emisión de humos tóxicos, corrosivos y de baja opacidad.
%V	Caída de voltaje del circuito permitida
Co	Capacitancia del aire.
C	Capacitancia del material aislante
cm	Centímetro
σ	Conductividad eléctrica
Ca	Constante dependiente de la naturaleza del conductor y de sus temperaturas al inicio y final del cortocircuito.
I	Corriente
I_{cc}	Corriente de cortocircuito
I_N	Corriente nominal
I_{Max}	Corriente máxima
d	Distancia
T	Duración de cortocircuito
σ_c	Esfuerzo mecánico
FC_{MT}	Factor de corrección de material del tubo
FC_{NC}	Factor de corrección de número de conductores

FC_{sc}	Factor de corrección de servicio continuo
FC_{TA}	Factor de corrección de temperatura ambiente
F	Fuerza aplicada
°C	Grado centígrado
Kg	Kilogramo
kV	Kilovoltio
L	Línea
l	Longitud del material
m	Metro
mm	Milímetro
mm²	Milímetro cuadrado
N	Neutro
Ω	Ohm
P	Potencia
ρ	Resistividad eléctrica
R	Resistencia eléctrica
e	Tensión (monofásica o trifásica)
W	Vatio
V	Voltaje
E_o	Voltaje entre conductores y tierra
E	Voltaje entre dos conductores
E_{ff}	Voltaje entre fases

GLOSARIO

Abrasión	Rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material o tejido.
AC	<i>Armored Cable</i> (cable armado).
Aleación	Producto homogéneo de propiedades metálicas, resultado de una aleación, que está constituido por dos o más elementos, de los cuales al menos uno es un metal.
Compresión	Resultante de las tensiones o presiones que existen dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen del cuerpo.
Conduit	Conducto para el transporte de agua o cables.
Corriente	Flujo de carga eléctrica que recorre un material.
Corrosión	Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.
CSP	Polietileno Clorosulfonado, conocido también como Hypalon.

Descarga	Paso de corriente por un cuerpo.
Dieléctrico	Aislante o mal conductor del calor o la electricidad.
Electrodo	Extremo de un conductor en contacto con un medio, al que lleva o del que recibe una corriente eléctrica.
Electrón	Partícula que se encuentra alrededor del núcleo del átomo y que tiene carga eléctrica negativa.
EMT	Tubería eléctrica metálica.
EPR	Cauchos diseñados con base en hidrocarbano de etileno propileno.
Extrusión	Proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija.
Fibra óptica	Filamento de material dieléctrico, como el vidrio o los polímeros acrílicos, capaz de conducir y transmitir impulsos luminosos de uno a otro de sus extremos; permite la transmisión de comunicaciones telefónicas, de televisión, entre otros., a gran velocidad y distancia, sin necesidad de utilizar señales eléctricas.
Gradiente	Variación de una magnitud de un punto en función de otro.

HMI	<i>Human-Machine Interface</i> (Interfaz Hombre-Máquina).
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> (Comisión Electrotécnica Internacional).
Ionización	Conversión de los átomos de un compuesto en átomos cargados eléctricamente.
ITC	Cables en bandejas de instrumentación según NEC.
MC	<i>Metal Clad</i> (conductor de cubierta metálica para cables de fuerza y control).
MI	<i>Mineral Insulated</i> (cable con aislamiento mineral y recubrimiento metálico).
NEC	Código Nacional Eléctrico.
NM	No Metallic.
NMC	No Metallic Cable.
NMS	No Metallic Sheathed.
NOM	Normas Oficiales Mexicanas.
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i> (Controlador Lógico Programable).

PLTC	Cable para uso en clase 2 o 3 de circuitos de fuerza, instrumentación y control.
PVC	Policloruro de vinilo.
Resistencia	Oposición que presenta un conductor al paso de la corriente eléctrica.
SIC	<i>Specific Inductive Capacity</i> (Capacidad Inductiva Específica).
TC	<i>Tray Cable</i> (cable para bandeja).
Tracción	Mover una cosa hacia el punto de donde procede el esfuerzo.
UL	Cable para distribución subterránea.
UNE	Una Norma Española.
Voltaje	Potencial eléctrico, expresado en voltios.
XLP	<i>Cross-Linked Polyethylene</i> .
XLPE	Aislamiento compuesto de <i>Cross-Linked Polyethylene</i> .

RESUMEN

El presente estudio pretende identificar parámetros que permitan la adecuada selección entre diversos tipos de cable por utilizar en una instalación eléctrica, de acuerdo con el área de riesgo en la que se encuentre.

Si las áreas de riesgo se cablean en la forma normal, este cableado se encontrará propenso a fallar. En la industria hay diversas zonas en las que existe un alto riesgo de percances, que deben ser considerados al momento del diseño y selección de los componentes que se emplearán. Afortunadamente, existen normativas que se encargan de identificar y categorizar las áreas conforme a su nivel de riesgo, en las que existen materiales altamente explosivos e inflamables o corrosivos que pueden ser causa de un peligro.

Tomando en cuenta estos aspectos, se pretende determinar el tipo de cable óptimo para las áreas evaluadas. Para cada una de ellas, se examinarán los parámetros de seguridad establecidos según la norma IEC 60079-10.

Finalmente, se busca que cualquier persona competente en el área de ingeniería eléctrica seleccione el tipo de cableado conveniente y acorde a las necesidades, tanto técnicas como económicas del sistema eléctrico que pretenda implementar.

OBJETIVOS

General

Establecer parámetros para la selección del tipo de cable en instalaciones eléctricas de alto riesgo.

Específicos

1. Analizar las condiciones del entorno de la instalación, que cumplan con los factores de seguridad mínimos según normativa.
2. Evaluar las características, ventajas y desventajas de varios tipos de cableado utilizados en instalaciones industriales.
3. Identificar los factores que determinen las especificaciones del tipo óptimo de cableado según el área de riesgo en el que se encuentre.

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de las industrias existen instalaciones vulnerables a condiciones inadecuadas, las cuales representan riesgo para la salud de las personas y los equipos que en ella se encuentren. Por lo tanto, existen normativas que se encargan de identificar las áreas de riesgo, como una necesidad para resguardar la seguridad.

Debido a la gran importancia de velar por el buen estado de las instalaciones, es fundamental identificar los parámetros técnicos para la selección entre varios tipos de cableado, que se adecuen a las exigencias del entorno en que se encuentren.

Por este motivo, en el presente documento se indica la metodología generalmente empleada para la selección de cableado. Se realiza la identificación y clasificación de las áreas de riesgo, y se brinda diversos criterios para diseñar una correcta instalación.

Debe tomarse en cuenta todo este tipo de factores que afectan directa e indirectamente las instalaciones o sistemas eléctricos al momento en que se consideren implementar. De este modo, no solo asegurarse que el funcionamiento del sistema es el adecuado, sino verificar que ninguno de los factores produzca un incremento significativo de riesgo, y garantizar que se reduzca al mínimo la ocurrencia de accidentes que atenten contra la vida de los usuarios y los equipos con que se cuenta.

En la primera parte se indican conceptos teóricos generales sobre los cables eléctricos, su clasificación, componentes y las especificaciones y propiedades técnicas de los materiales con los que se elaboran.

En la segunda parte se analizan los principales factores y métodos generales para la selección de cables en instalaciones eléctricas.

En la tercera parte, se describen las áreas y se clasifican de acuerdo con el tipo de sustancia o riesgo presente en el entorno.

En la cuarta parte se indican el tipo de cables y equipos que deben utilizarse en cada clase de área. Además, se menciona protecciones y algunos cableados especiales utilizados en incendios.

En la quinta parte se mencionan las consideraciones eléctricas y algunas técnicas de aplicación para la instalación del cableado según el área de riesgo en el que se encuentre, con el fin de lograr la máxima seguridad en la instalación.

1. CABLES ELÉCTRICOS

Es posible definir al cable eléctrico como la “concentración con capas no revestidas (cubierta) de diversos conductores o revestimiento de un solo conductor”¹, en la cual los revestimientos protegen los conductores contra las influencias dañinas de todo tipo.

1.1. Generalidades

En la mayoría de los casos, los cables conductores son cables unipolares o multifilares para un tendido fijo, con aislamiento de caucho o plástico (cable de tierra). Se componen de un material conductor para transmitir la energía eléctrica y de un material aislante.

En instalaciones aéreas se usan hilos y cables desnudos. En cambio, en instalaciones interiores o subterráneas se utilizan cables e hilos aislados.

1.2. Clasificación

Los cables eléctricos generalmente pueden clasificarse de acuerdo con su función, por el voltaje que transportan y por su constitución.

1.2.1. Por su función

Los cables eléctricos se utilizan para transportar la corriente eléctrica, reenviar información o transmitir información con la ayuda de la fibra óptica.

¹ ESPAÑA. U.I. Lapp GMBH. *Catálogo general 2016/17*, 2015. 1216 p.

1.2.1.1. Cables para transporte de energía

Son utilizados para el transporte de energía desde las fuentes de generación hasta los puntos de consumo, en donde la energía puede ser utilizada por el usuario final.

1.2.1.2. Cables de control

Tienen como función el comando y la medición de aparatos, en instalaciones de generación, transmisión, distribución y consumo de energía.

1.2.1.3. Cables de comunicación

Se utilizan para la transmisión de señales inteligentes. En este tipo de cables, la energía eléctrica se modula y transmite para la comunicación de señales. Una de las aplicaciones es el enlace entre computadoras y los PLC entre los sistemas HMI, que tienen como función el comando y la medición de aparatos, en instalaciones de generación, transmisión, distribución y consumo de energía.

1.2.2. Por su tensión de servicio

Los cables eléctricos se clasifican de acuerdo con los voltajes o tensiones de servicio a las que se encuentren sometidos:

- De muy baja tensión (menos de 50 V)
- Baja tensión (más de 50 V y hasta 1,1 kV)
- Media tensión (más de 1,1 kV y hasta 35 kV)
- Alta tensión (más de 35 kV y hasta 150 kV)

- Muy alta tensión (por encima de 150 kV)

1.2.3. Por la naturaleza de sus componentes

De acuerdo con sus componentes, los cables eléctricos pueden clasificarse en:

- Conductores de aluminio o cobre.
- Conductores aislados con plástico o papel impregnado.
- Armados, apantallados, entre otros.

1.3. Componentes de los cables eléctricos

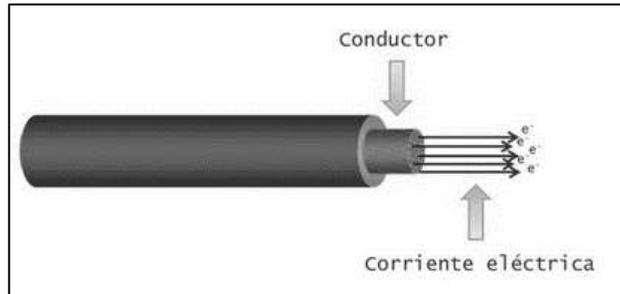
Un cable eléctrico está compuesto de 3 partes fundamentales: conductor, aislamiento y cubierta. Las características y especificaciones de estas partes dependerán según la aplicación, condiciones de trabajo, cantidad de carga, entre otros.

1.3.1. Conductor

Es un alambre no aislado de material que debido a un elevado número de electrones libres está indicado para conducir corriente eléctrica (especialmente aluminio y cobre).

Algunas de las ventajas que presenta el cobre frente al aluminio son: menor resistencia eléctrica, mayor resistencia mecánica, puede ser flexible o rígido. A diferencia del cobre, el aluminio es más barato y tiene menor densidad.

Figura 1. **Conductor eléctrico**



Fuente: Partes de un cable. <http://www.aristosindustrial.es/partes-de-un-cable/> Consulta: septiembre de 2019.

1.3.2. **Aislamiento**

Elemento de relleno o apoyo en capas cableadas individuales de cables que impide el paso de corrientes eléctricas mediante materiales no conductores. Los materiales no son conductores, si no contienen o contienen solo unos pocos electrones de conducción. Entre otros, esto incluye varios plásticos, cauchos, papeles y resinas.

Figura 2. **Aislamiento de cable**

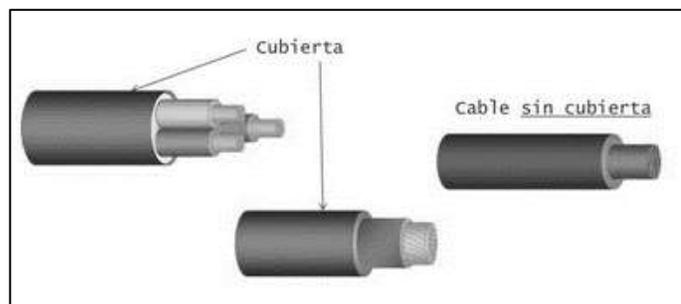


Fuente: Partes de un cable. <http://www.aristosindustrial.es/partes-de-un-cable/> Consulta: septiembre de 2019.

1.3.3. Cubierta

Es el revestimiento exterior de un cable o un conductor cuyo fin es proteger mecánicamente el cable.

Figura 3. **Cubierta de cable**



Fuente: Partes de un cable. <http://www.aristosindustrial.es/partes-de-un-cable/> Consulta: septiembre de 2019.

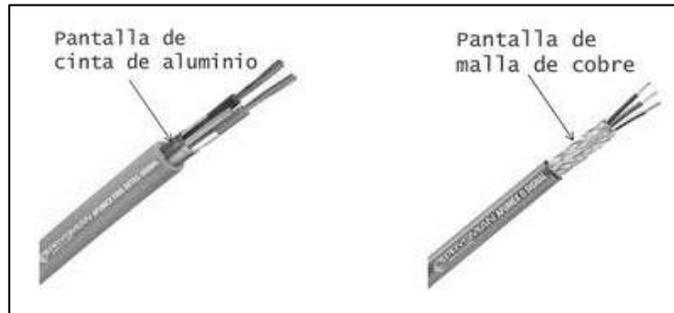
1.3.4. Recubrimientos

Además de los asilamientos y cubiertas, los cables presentan distintos recubrimientos protectores. Su función no es principalmente eléctrica, pero los protege de esfuerzos mecánicos, efectos químicos, entre otros. Entre estos recubrimientos se encuentran:

1.3.4.1. Envolturas de metal blando

Son revestimientos utilizados para exhalar y absorber la humedad según las condiciones del medio en que se encuentre, para asegurarse que no se pierdan las propiedades aislantes. Por lo regular, estas envolturas son de algún metal blando, como el aluminio y el plomo.

Figura 4. **Envolturas de metal blando**

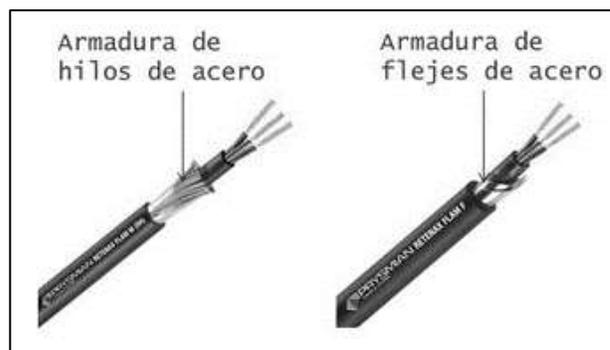


Fuente: Partes de un cable. <http://www.aristosindustrial.es/partes-de-un-cable/> Consulta: septiembre de 2019.

1.3.4.2. **Envolturas de metal duro**

Se utilizan para proteger el cable de esfuerzos mecánicos exteriores. Están elaborados con metal duro, como hierro y acero. Este tipo de protecciones también es conocido como “armadura”.

Figura 5. **Envolturas de metal duro**



Fuente: Partes de un cable. <http://www.aristosindustrial.es/partes-de-un-cable/> Consulta: septiembre de 2019.

1.4. Especificaciones técnicas de los materiales

Antes de realizar el proceso de selección de los conductores, es necesario identificar las propiedades o características técnicas de los componentes del cable.

1.4.1. Propiedades técnicas del conductor

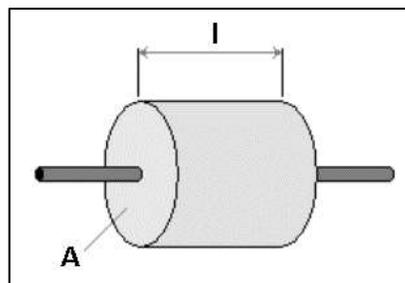
Los siguientes parámetros son analizados para identificar las características mecánicas y eléctricas de los diferentes materiales empleados como conductores:

1.4.1.1. Resistividad eléctrica (ρ)

Es también conocida como resistencia específica. Es la característica propia de los materiales que indica que tanto se opone el material al paso de la corriente. Se expresa como:

$$\rho = R \frac{A}{l}$$

Figura 6. Elemento resistivo



Fuente: Resistividad, resistencia específica. <https://unicrom.com/resistividad-resistencia-especifica/> Consulta: septiembre de 2019.

Generalmente la resistividad de los metales aumenta con la temperatura, mientras que la resistividad de los semiconductores disminuye ante el aumento de la temperatura.

Tabla I. **Valores de resistividad de algunos materiales a 23 °C**

Material	Resistividad (23 °C) ($\Omega\cdot m$)
Plata	$1,55 \times 10^{-8}$
Cobre	$1,70 \times 10^{-8}$
Oro	$2,22 \times 10^{-8}$
Aluminio	$2,82 \times 10^{-8}$
Wolframio	$5,65 \times 10^{-8}$
Níquel	$6,40 \times 10^{-8}$
Hierro	$8,90 \times 10^{-8}$
Platino	$10,60 \times 10^{-8}$
Estaño	$11,50 \times 10^{-8}$

Fuente: Resistividad, resistencia específica. <https://unicrom.com/resistividad-resistencia-especifica/> Consulta: septiembre de 2019.

1.4.1.2. Conductividad eléctrica (σ)

Es la propiedad natural característica de cada cuerpo que representa la facilidad con que la corriente eléctrica pueda pasar por él. Es el inverso de la resistividad.

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Generalmente la conductividad de los metales disminuye con la temperatura, mientras que la conductividad de los semiconductores incrementa ante el aumento de la temperatura.

Tabla II. **Conductividad de algunos materiales a 23 °C**

Material	Conductividad (23 °C)($\Omega\cdot m$)⁻¹
Plata	6,30 x10 ⁷
Cobre	5,96 x10 ⁷
Oro	4,55 x10 ⁷
Aluminio	3,78 x10 ⁷
Wolframio	1,82 x10 ⁷
Níquel	1,56 x10 ⁷
Hierro	1,53 x10 ⁷
Platino	9,43 x10 ⁶
Estaño	8,70 x10 ⁶

Fuente: Generalidades de los conductores y aislantes.

<http://grupo230991.blogspot.com/2011/08/1-tabla-de-resistividades-de-materiales.html/>

Consulta: septiembre de 2019.

1.4.1.3. **Esfuerzos mecánicos (σ_c)**

El parámetro que se utiliza para medir este fenómeno es conocido como resistencia específica, la cual indica que los materiales que componen los conductores van a estar sometidos a esfuerzos de compresión y tracción. Se calcula como:

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

Los materiales utilizados en instalaciones eléctricas deben poseer, además de las propiedades, ciertas condiciones mecánicas que permiten el empleo adecuado a los fines propuestos con su utilización.

Estas propiedades mecánicas se encuentran también en los aislantes y en la mayor parte de los materiales magnéticos; los métodos empleados para una determinación en los cuerpos conductores son igualmente aplicables en muchos casos a los demás materiales electrotécnicos.

1.4.2. Tipos de conductores

Los elementos conductores más utilizados son plata, aluminio y cobre, debido a que son los mejores conductores y económicamente accesibles, a diferencia del oro, que es un excelente conductor, pero es demasiado costoso. Algunas de las características de estos materiales son:

1.4.2.1. Plata

Es buen conductor de calor; su conductibilidad térmica es menor que la del oro y mayor que la del cobre. Es el mejor conductor de electricidad que se conoce actualmente, superado en un 4 % a la del cobre.

La plata es utilizada como fusible, por poseer una pequeña constante de tiempo, ofrece gran seguridad. Además, se utiliza como revestimiento de protección sobre algunos conductores.

1.4.2.2. Aluminio

Se utiliza como conductor para líneas eléctricas aéreas, aleaciones de aluminio, con las características de que, con una conductibilidad eléctrica algo menor que la del aluminio puro, se obtiene una resistencia mecánica bastante mayor, gracias a tratamientos térmicos y mecánicos especiales.

1.4.2.3. Cobre

Es un material más fuerte y durable que el aluminio. Es más utilizado en cables bajo tierra que transportan alto voltaje. Posee una alta resistencia contra la corrosión.

1.4.3. Propiedades técnicas del aislante

Debe considerarse que un material aislante es toda sustancia que posea baja conductividad para evitar el paso de corriente eléctrica y que esta sea prácticamente despreciable.

Por lo tanto, se tiene en cada aislamiento una cierta cantidad de propiedades o características que permiten estudiar, analizar y contrastar estos materiales. También deben evaluarse los valores mecánicos importantes como la resistencia mecánica y alargamiento, dureza y flexibilidad. Entre las cualidades eléctricas, se encuentra: rigidez dieléctrica del material, resistividad, factor de potencia y su constante dieléctrica.

Asimismo, se debe tener en cuenta otros aspectos como la resistencia al calor, a la luz, al ozono, a la humedad, a la intemperie, a los aceites y productos químicos.

1.4.3.1. Rigidez dieléctrica

El gradiente eléctrico o rigidez dieléctrica representa la magnitud de voltaje requerido para perforar el aislamiento. Mide la capacidad de un aislante de aguantar una sobretensión de duración media sin que se produzca una descarga disruptiva, como puede ser un rayo o la inducción por un defecto en una línea de transporte de energía.

En un aislamiento, cuya sección no cambie a través de su espesor, está dada por la relación entre el voltaje aplicado y el espesor de aislamiento (kV/mm).

1.4.3.2. Constante dieléctrica (SIC)

La capacidad inductiva específica (SIC) o constante dieléctrica de un aislamiento indica la relación entre la capacitancia de un condensador con aire como dieléctrico y la capacitancia de un mismo condensador cuyo dieléctrico sea el aislamiento en cuestión.

Esta magnitud determina la corriente de carga capacitiva que se produce en el cable y puede considerarse como pérdida dieléctrica. Es preferible que su valor sea relativamente bajo.

$$SIC = \frac{C}{C_0}$$

1.4.3.3. Resistencia de aislamiento

Es la resistencia media entre el conductor y un electrodo que se envuelve la superficie exterior del aislamiento.

El factor de potencia en el aislamiento va a aumentar con la elevación de la temperatura y la presencia de humedad. La medición de esta propiedad del aislamiento es uno de los métodos más efectivos para detectar la humedad o deterioro.

1.4.4. Tipos de aislantes

Existe una gran variedad de aislantes empleados en la fabricación de cables. Por lo que se reducen a los tipos genéricos más utilizados.

1.4.4.1. Termoplásticos

Son materiales poliméricos a los que al aumentarles la temperatura se deforman bajo presión por la pérdida de sus propiedades mecánicas. Al enfriarse recobran las propiedades mecánicas iniciales.

Los más utilizados en la fabricación de cables eléctricos son: policloruro de vinilo (PVC), polietileno lineal (PE), polietileno reticulado (XLPE), poliolefinas (Z1), poliuretano (PU), fluorados (Teflón), entre otros.

1.4.4.1.1. Policloruro de vinilo (PVC)

Es utilizado comúnmente para cubiertas interiores y exteriores de los cables. Ha sido un destacado aislante para los cables de baja tensión. Por lo regular, no se le puede utilizar puro por su falta de flexibilidad y su rápido envejecimiento a altas temperaturas.

Posee elevada rigidez dieléctrica y gran resistencia al ozono y agentes químicos, resiste perfectamente a la humedad, por lo que puede sumergirse. No

obstante, su factor de pérdidas es bastante elevado cuando las longitudes de líneas son demasiado grandes para altas tensiones.

Su uso principal como aislante es en domicilios, edificios e instalaciones industriales.

El PVC mezclado con otros elementos presenta una estabilidad térmica que le permite funcionar a temperaturas de 70 °C en régimen continuo normal, 100 °C en condiciones de emergencia y 160 °C en cortocircuitos.

1.4.4.1.2. Polietileno lineal (PE)

Posee propiedades eléctricas realmente excepcionales, que lo hacen insustituible como aislamiento para cables de radio frecuencia. Al igual que el PVC, ofrece alta resistencia a los impactos y a la abrasión, como por su muy baja absorción de humedad. Se emplea en la actualidad casi exclusivamente en cables de media y alta tensión.

Resulta bastante efectivo incorporarle una pequeña proporción de algún material que absorba la radiación, debido a que presenta cierta degradación de sus propiedades mecánicas por la acción de los rayos ultravioleta.

Soporta temperaturas entre -50 °C y 80 °C. Es un excelente dieléctrico por su bajo factor de pérdidas, incluso a altas frecuencias.

1.4.4.1.3. Teflón

Ofrece excelente estabilidad frente al desgaste por oxidación, especialmente a altas temperaturas. Las temperaturas de trabajo están entre

-55 °C y 325 °C, y alcanza de 450 °C a 500 °C antes de su descomposición. La presencia de flúor le proporciona gran resistencia a los agentes químicos, por lo que no se ve atacado por los disolventes o ácidos. Erradica la absorción de la humedad.

A pesar de sus extraordinarias propiedades, no se utiliza como aislante debido a su elevado precio (10 veces más que el polietileno). Sin embargo, se emplea en instalaciones sometidas a exigentes condiciones de funcionamiento o áreas de riesgo.

1.4.4.2. Termoestables

Son materiales poliméricos a los cuales se les incorporan peróxidos orgánicos bajo presiones y temperaturas adecuadas en el proceso de extrusión, de tal forma que el material resultante no funde ni se deforma al aumentar la temperatura.

Los más utilizados son: etileno propileno (EPR), polietileno reticulado (XLPE), hypalon (CSP), neopreno (PCP), caucho natural (SBR), acetato de etil vinil (EVA), silicona (SI), entre otros.

1.4.4.2.1. Polietileno reticulado (XLPE)

La reticulación es la propiedad de un material de fundirse a altas temperaturas sin que exista un reblandecimiento previo.

Es una sustancia que permite eliminar la condición termoplástica del polietileno, aumentando las temperaturas de trabajo y fusión del material.

Presenta mejores características térmicas y eléctricas que el PVC por lo que se utiliza en cables de baja, media y alta tensión.

Su temperatura de trabajo se eleva hasta unos 90 °C en los conductores y en caso de emergencia hasta 130 °C, sin que la vida del cable se vea perjudicada. En situaciones que existan cortocircuitos, el polietileno reticulado puede alcanzar temperaturas de 250 °C y se carboniza sin previa fusión a 300 °C, por lo que es bastante utilizado en instalaciones de alta seguridad, como industrias petroleras.

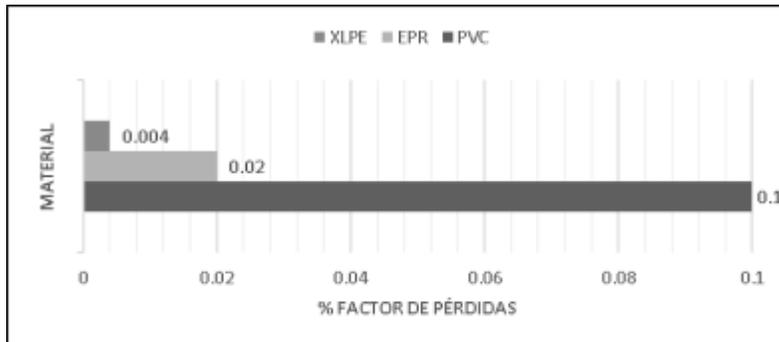
Además de una mayor confiabilidad con relación a la continuidad del servicio, estos cables pueden utilizar una menor sección del conductor, lo que representa un beneficio económico.

1.4.4.2.2. Etileno – propileno

Tiene muy buenas propiedades dieléctricas, lo que lo categoriza con un aislamiento adecuado para cables de media tensión. Su empleo en el campo de alta tensión se ve limitado por sus valores en pérdidas dieléctricas más elevados que el PRC. Su alta flexibilidad lo hace ideal para instalaciones móviles como enrolladores, industria naval, minas, canteras, entre otros.

Es resistente a los efectos provocados por la ionización del aire, además es resistente a los aceites y a los disolventes. Es inflamable, aunque de combustión retardada.

Figura 8. **Factor de pérdidas de PVC, EPR y XLPE**



Fuente: elaboración propia, en base a “Cables para media tensión”
<http://www.centelsa.com/archivos/8e6cebf3.pdf> Consulta: septiembre de 2019.

Es evidente que las pérdidas dieléctricas del PVC son mayores que el XLPE y EPR, por lo que debe tomarse en cuenta al momento de llevar a cabo el proceso de selección, ya que esta es una limitación a su aplicación.

1.4.4.2.3. **Hypalon (CSP)**

Posee una gran resistencia a la oxidación y excelentes propiedades eléctricas como aislamiento. En cuanto a temperatura, puede trabajar en la gama comprendida entre -50 °C y 120 °C. Sin embargo, su uso se ve restringido de cierta manera por su elevado costo.

1.4.5. **Protecciones**

Es necesario proporcionar al cable mayor resistencia mecánica y eléctrica para protegerlo de factores como la humedad, corrosión y otros. Por lo tanto, se colocan cubiertas protectoras que se aplican sobre el cable.

1.4.5.1. Protecciones mecánicas

Los conductores eléctricos van a estar instalados en sectores en donde se vean afectados por fenómenos físicos que pondrán en riesgo sus características. Entre las protecciones metálicas utilizadas se encuentran las que están formadas por alambres de aluminio o acero.

1.4.5.2. Protecciones eléctricas

Son capas esbeltas y de material conductor sintético colocadas en los cables que se encargan de hacer cilíndrico el campo eléctrico en contacto con el conductor y mantener el potencial a tierra.

1.5. Designación técnica de cables de baja tensión

Según la normativa que se utilice, a cada cable se le asigna un código, símbolo o color con el objetivo de facilitarle al comprador e instalador la selección, identificación y manejo del cable adecuado a sus necesidades.

1.5.1. Identificación mediante simbología

Por medio de la simbología se busca que el cable se especifique unívocamente. Por lo regular, está compuesta por un conjunto de números y letras, cada una con su significado. Este tipo de identificación evita posibles errores de suministro de un cable por otro.

Generalmente, se utiliza la simbología que se muestra en la tabla III.

Tabla III. **Simbología para identificación de cables**

	Referencia	Símbolo	Significado
Aspectos generales	Correspondencia con la normalización	H ES-N o ES	Conductor eléctrico según normas armonizadas europeas. Conductor eléctrico tipo nacional.
	Voltaje asignado	01 05 03 07	100/100 V 300/300 V 300/500 V 450/750 V
Constitución del cable	Aislamiento	B G N2 R S V V2 V3 V4 Z Z1	Goma de etileno-propileno Etileno-acetato de vinilo Mezcla especial de poli cloropreno Goma natural o goma de estireno-butadieno Goma de silicona Policloruro de vinilo Mezcla de PVC (servicio de 90 °C). Mezcla de PVC (servicio baja temperatura). Policloruro de vinilo (reticulado). Mezcla reticulada a base de poliolefina con baja emisión de gases corrosivos y humos Mezcla termoplástica a base de poliolefina, con baja emisión de gases corrosivos y humos.
	Revestimientos metálicos	C4	Pantalla de cobre en forma de trenza, sobre el conjunto de los conductores aislados reunidos.
	Cubierta y envolvente no metálica	B G J N N4 N8 Q R S T V V2 V4 V5 Z Z1	Goma de etileno-propileno Etileno-acetato de vinilo Trenza de fibra de vidrio Policloropreno (o producto equivalente) Polietileno clorosulfurado Policloropreno especial, resistente al agua Poliuretano Goma natural o goma de estireno-butadieno Goma de silicona Trenza textil, impregnada o no, sobre conductores aislados Policloruro de vinilo Mezcla de PVC (servicio de 90°C) Policloruro de vinilo (reticulado) Mezcla de PVC (resistente al aceite) Mezcla reticulada a base de poliolefina con baja emisión de gases corrosivos y humos Mezcla termoplástica a base de poliolefina con baja emisión de gases corrosivos y humos

Continuación tabla III.

	Elementos constitutivos y construcciones especiales	D3 Ninguno H H2 H6 H7 H8	Elemento portador constituido por uno o varios componentes (metálicos o textiles) situados en el centro de un cable redondo o repartidos en el interior de un cable plano Cable cilíndrico Cables planos, con o sin cubierta, cuyos conductores aislados pueden separarse Cables planos cuyos conductores aislados no pueden separarse Cables planos comprendiendo tres conductores aislados o más Doble capa de aislamiento extruida Cable extensible
Forma de los conductores	Forma del conductor	-D -E -F -H -K -R -U -Y	Flexible para uso en cables de máquinas de soldar Muy flexible para uso en cables de máquinas de soldar Flexible para servicios móviles Extra flexible Flexible para instalaciones fijas Rígido, de sección circular, de varios alambres cableados Rígido, de sección circular, de un solo alambre Formado por cintas de cobre arrolladas en hélice alrededor de un soporte textil.
Número y sección de los conductores	No. de conductores	N	Número de conductores
	Símbolo o signo de multiplicación	X G	Signo "X" en ausencia de conductor amarillo/verde Símbolo "G" si existe un conductor amarillo/verde
	Sección nominal	mm ²	Sección nominal del conductor en mm ²

Fuente: elaboración propia, con base en Designación de cables de baja tensión.

https://www.topcable.com/descargas/blog/topcable_designacion_cables.pdf Consulta: 16 de septiembre de 2019.

En el caso de que se trate de un cable de alta seguridad o alta seguridad reforzada, se verán las siglas AS o AS+, respectivamente, entre "Forma del conductor" y "Número de conductores".

1.5.2. Identificación mediante colores

En el anexo 1 se realiza la comparación con la norma internacional UNE 21123-4 o 5 que, gráficamente, indica los colores y secciones estandarizadas para los cables.

Aunque actualmente se sigue la normativa de la Comisión Electrotécnica Internacional, existen ciertas variaciones en las instalaciones, por lo que es posible encontrar otros colores de cables como:

- Fase: rojo (monofásica). Rojo, amarillo y azul (trifásica)
- Neutro: negro
- Tierra: verde-Amarillo, verde

Tabla IV. **Colores de los cables eléctricos**

Significado o Referencia	Etiqueta	Color
Fases	L (monofásica) L1 L2 L3	Marrón Marrón Negro Gris
Neutro	N	Azul
Tierra	-	Amarillo/Verde

Fuente: elaboración propia, con base a Norma IEC 60446.

2. FACTORES DE SELECCIÓN DE CABLES EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Una correcta selección de cables se refleja en el efecto eléctrico y financiero que representa para los usuarios. Además, de ella depende la seguridad y buen funcionamiento de la instalación. En caso contrario, puede ocasionar lo siguiente:

- Riesgo de incidentes
- Sobrecalentamiento de líneas
- Funcionamiento irregular y daños en equipos
- Daño en las propiedades del conductor disminución de su vida útil
- Cortes de suministro o ausencia de servicio parcial o total
- Pérdidas económicas

Cabe resaltar que los efectos económicos y financieros son determinantes en la decisión final de la selección, ya que, de acuerdo con las reseñas de trabajo y desempeño de la instalación, los clientes consideran apropiada su aplicación.

El cálculo del calibre mínimo para un conductor debe considerar los siguientes factores:

- Capacidad de conducción máxima (corriente)
- Caída de voltaje en la línea
- Capacidad para soportar la corriente de corto circuito

La determinación reglamentaria de un conductor utiliza cálculos y criterios específicos que se mencionan en el siguiente inciso.

2.1. Especificaciones para selección de cables

Para determinar las especificaciones de un cable, es necesario conocer la tensión, la corriente y el tipo de instalación.

2.1.1. Tipo de instalación

Las instalaciones de cableado pueden ser al aire libre, enterrados o por medio de ductos o parillas, bandejas o canaletas cerradas. En tubos plásticos (PVC) o metálicos (EMT), que pueden ser de diferentes formas y características dependiendo del medio en el que se colocan los conductores.

Los componentes constitutivos del cable son determinados por el método de instalación.

2.1.2. Tensión de instalación

La tensión o voltaje del cable debe ser apto para las condiciones de trabajo del sistema en el que será instalado. El valor nominal del cable es designado por: a) el voltaje entre los conductores y la envoltura metálica o tierra (E_0) y b) el voltaje entre dos conductores cualquiera (E).

El voltaje entre fases para cables que se utilizarán en un sistema trifásico se expresa como:

$$E_{ff} = \sqrt{3} * E_0$$

El tipo y espesor del aislamiento junto, con la sección mínima del conductor, son características que se determinan mediante el voltaje nominal ya que, si se utilizan secciones reducidas en cables sometidos a tensiones altas, la intensidad de campo en la superficie puede tomar valores muy altos y ocasiona que el aislamiento falle.

El nivel de aislamiento de un cable se refiere a las características constructivas del cable en relación con posibles elevaciones de tensión de origen atmosférico. Existen 2 niveles: al 100 % y al 133 %. La diferencia radica en que los últimos se utilizan cuando no se pueden alcanzar los requisitos del 100 % de aislamiento y se quiere tener un nivel de seguridad para que el lugar donde haya ocurrido la falla quede sin corriente en menos de una hora.

2.1.3. Corriente de instalación

El principal factor que determina la sección de un conductor es la corriente que pasa por él. Sin embargo, para longitudes grandes y bajos voltajes, la caída de tensión es la que determina la sección.

Las condiciones o elementos que establecen la capacidad de carga eléctrica de un conductor son:

- Temperatura nominal que pueda soportar.
- Condiciones del medio para disipar el calor que generan las pérdidas en el cable.
- Condiciones ambientales y de instalación.

La temperatura de un cable aumenta debido a la corriente que transporta, esto se origina generalmente a causa de las pérdidas. Entre ellas, el efecto

Joule, que es el desprendimiento de calor provocado por el movimiento de electrones en un material, igual al calor que se disipa a través de los aislamientos, cubiertas o el medio que lo rodea.

La propiedad característica de un material que posee la capacidad de transmisión de calor por conducción es conocida como resistividad térmica. Esta propiedad se define como el valor de la diferencia de temperatura, entre las dos superficies opuestas, que permita el paso de calor.

Algunos aislamientos y materiales poseen valores de resistividad térmica que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla V. **Valores de resistividad térmica**

Tipo de uso	Material	Resistividad térmica (°C*cm/W)
Aislantes	Polietileno reticulado (XLPE)	350
	Cloruro de Vinilo (PVC)	500
	Etileno Propileno (EPR)	500
	Papel Impregnado (P)	600
	Aceite fluido (OF)	500
Cubiertas	Neopreno (PCP)	550
	Cloruro de polivinilo (PVC)	550
	Polietileno termoplástico (PE)	350
	Materiales fibrosos	600

Fuente: Cable de redes para media tensión. Catálogo General

https://ar.prysmiangroup.com/sites/default/files/atoms/files/2MT_1_1_Catalogo_media_tension_E2.pdf Consulta: septiembre 2019.

Regularmente, los cables multipolares se calientan más que los unipolares, ya que el calentamiento de cada conductor influye sobre el de los

otros, mientras que en los unipolares cada conductor se encuentra aislado de los demás.

Cuando el cable está instalado al aire libre, se considera si posee protección de la radiación directa. Hay que tener en cuenta que existen coeficientes basados en las condiciones de colocación de los cables: un cable, varios en contacto, colocados horizontal o verticalmente.

2.1.4. Factores térmicos

La temperatura nominal de un cable es la máxima que soporta en cualquier punto de su longitud por una cantidad de tiempo prologando sin que se produzcan daños.

Esta temperatura depende de:

- Aumento de temperatura por paso de corriente.
- Temperatura del medio, incluyendo las condiciones ambientales, a lo largo del cable y variable con el tiempo, y la presencia de fuentes de calor cercanas.
- La existencia de cables próximos eleva el efecto de la temperatura ambiente, impidiendo la disipación de calor.
- El aislamiento térmico que rodea a los conductores.
- Número de cables adyacentes.
- Si el cable se encuentra enterrado, influye la conductividad térmica de la tierra y la profundidad. En el caso de cables aéreos, la conductividad térmica del aire.

2.1.5. Casos específicos

Muchas veces, el cable se encuentra instalado en sitios donde las condiciones son bastante peculiares y, por esta razón, no se les da la atención e importancia que ameritan. Sin embargo, deben ser considerados por el impacto que causarían si se llegara a presentar una situación que afecte los equipos y procesos que estén involucrados. Entre los casos especiales que deben de tomarse en cuenta para seleccionar cables están:

- Presencia de sustancias corrosivas, en la tierra o en el sitio de instalación
- Interferencia con circuitos de comunicaciones.
- Lugares especiales de instalación ubicados en minas, bosques, entre otros.
- Lugares que sean clasificados como atmósferas peligrosas por la presencia de líquidos, gases o vapores inflamables, combustibles y fibras que puedan ocasionar explosiones o fuegos.
- Sitios con calderas o tuberías de vapor, efectos magnéticos de estructuras metálicas.
- Presencia de sistemas de aire acondicionado (enfriamiento artificial del cable).

2.2. Métodos de selección de la sección

Para seleccionar la sección de los conductores, es necesario utilizar un método de acuerdo con las siguientes consideraciones:

- Determinar la corriente máxima permitida por el cable en servicio continuo y en cortocircuito por un período de tiempo específico.
- Verificación por caída o regulación de tensión.

- Verificación de los límites de temperatura de terminales, conectores y demás accesorios a los cuales se encuentra conectado.

2.2.1. Corriente máxima y de cortocircuito

En los catálogos de cables, de acuerdo con la normativa, los fabricantes indican la corriente máxima de servicio para condiciones normales de instalación y voltaje nominal de servicio. Aplican factores de corrección para condiciones de instalación en casos especiales; es decir, diferentes a las normales. En el anexo 2 se observan algunas características de cables de diferentes fabricantes.

“La capacidad de conducción de corriente usada para determinar las terminales de equipo debe basarse en la tabla 310-16”², de tal manera que la capacidad de conducción del circuito se limitará al elemento que compone, de más baja capacidad de conducción a la temperatura correspondiente.

Por lo tanto, indiferentemente de las condiciones de instalación (al aire libre, enterrada o casos especiales) se debe utilizar las tablas 310-16 y 310-17 que se muestran en el anexo 3, según se requiera. De acuerdo con la comparación con la regulación de voltaje, se seleccionará finalmente la de valor menor o crítico.

Se toman como condiciones normales de instalación las siguientes condiciones:

² *Instalaciones Eléctricas (Utilización)*. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2005.

- Al aire libre
 - Temperatura ambiente de 40 °C, cuando los cables no están expuestos directamente al sol.
 - Instalación que permita el flujo de aire eficaz.

- Enterrada
 - Temperatura ambiente del terreno 30 °C.
 - Profundidad de instalación entre 0,70 a 1 m, para cables de hasta 10 kV.

- Condiciones especiales:
 - Varios cables instalados en la misma zanja.
 - Cables aislados a temperaturas diferentes a las indicadas previamente.
 - Cables expuestos directamente al sol.

Estos factores determinan la selección, ya que un cable puede tener una sección que cumpla con las condiciones de corriente para servicio continuo, pero esto no significa que soporte la corriente de cortocircuito durante cierto período de tiempo, según las condiciones de distribución y protección.

En general, los dos problemas más influyentes que pueden presentarse en cualquier tipo de instalación son puramente térmicos (excesivo calentamiento y pérdida de propiedades de los materiales que constituyen el cable; en este caso, los aislantes que cumplen con la función de protección) y mecánicos (esfuerzos y deformaciones desarrollados entre los conductores).

La temperatura máxima que alcanzan a soportar los cables determina la corriente de cortocircuito.

Por la brevedad del tiempo en que ocurre un cortocircuito, se desprecia la cesión del calor de los conductores al medio. Esto indica que permanece constante el calor que se genera dentro del conductor y el calor específico de los materiales.

La ecuación que relaciona la corriente máxima de cortocircuito se basa en la energía térmica almacenada en el conductor y en el límite máximo de temperatura soportada por el material aislante.

Dada una sección de conductor, la máxima corriente de cortocircuito admisible en dicho cable está dada por:

$$I_{CC (Max)} = \frac{S Ca}{\sqrt{T}}$$

En la tabla VI, se muestran los valores que toma la constante Ca en función de la temperatura inicial y final del cortocircuito para conductores de cobre.

Tabla VI. **Coeficiente Ca en función de las temperaturas de cortocircuito**

Temperatura inicial (°C)	Temperatura final del cortocircuito (°C)					
	140	160	180	200	220	250
90	86	100	112	122	131	143
85	90	104	115	125	134	146
80	94	108	119	129	137	149
75	99	111	122	132	140	151

Continuación tabla VI.

65	103	115	125	135	143	154
60	111	122	132	141	149	160
50	118	129	139	147	155	165
40	126	136	145	153	161	170
30	133	143	152	159	166	176

Fuente: Corrientes máximas y mínimas de cortocircuito.

https://ar.pirelli.com/sites//files/elec/settings/current_esd_a.pdf Consulta: septiembre 2019.

Como se menciona, el cálculo de los conductores será basado en dos tablas, 310-16 y 310-17, que se muestran en el anexo 3. La primera para transporte de conductores en tubo o cable y la segunda para transporte de conductores al aire libre.

Al utilizar la ecuación de potencia

$$P = IV$$

Se despeja la corriente:

$$I_{Max} = \frac{P}{V}$$

Se aplican los factores principales de corrección según las condiciones específicas de instalación:

$$I_N = \frac{I_{Max}}{FC_{TA} * FC_{SC} * FC_{MT} * FC_{NC}}$$

Donde los factores de corrección fundamentales que se utilizan, según la ecuación anterior:

- Temperatura ambiente: ver en tablas 310-16 y 310-17.
- Servicio continuo: si es servicio continuo (se usa durante más de 3 horas) es 0,8.
- Material de tubo: si es material PVC es 0,8, tubo tipo Conduit 1,0.
- Número de conductores:
 - De 4 a 6 conductores: 0,8
 - De 7 a 9 conductores: 0,7

Para el conductor neutro se multiplica la I_N por 0,7, el cual típicamente es un número de calibre mayor.

Además, si el equipo es trifásico, se debe dividir entre $\sqrt{3}$ la I_{Max} .

2.2.2. Caída de tensión

El método de regulación y caída de tensión consiste en que existirá una diferencia de tensión entre el inicio y el final de la instalación. El flujo de corriente por los conductores en un circuito causa que exista una pérdida de potencial en el transporte de los electrones. La magnitud de esta caída debe ser seleccionada, considerando las condiciones de instalación, de la siguiente tabla:

Tabla VII. **Porcentaje de caída de tensión nominal máxima según la parte de instalación.**

Parte de la instalación	Alimenta a	Caída máxima de tensión de suministro (%)
LGA (Línea General de Alimentación)	Suministro un usuario	No existe LGA
	Contadores controlados	0,5 %
	Centralizaciones parciales de contadores	1 %
DI (Derivación individual)	Suministros de un único usuario	2 %
	Contadores totalmente controlados	1 %
	Centralizaciones parciales de contadores	0,5 %
Circuitos interiores	Circuitos interiores en viviendas	3 %
	Circuitos de alumbrado que no sean viviendas	3 %
	Circuitos de fuerza que no sean viviendas	5 %

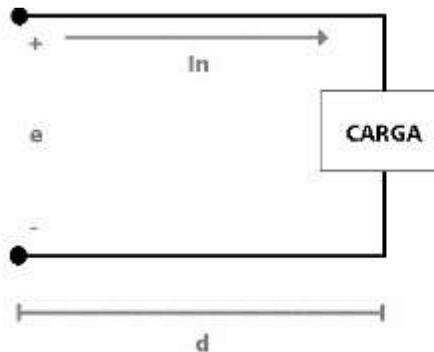
Fuente: IE106 Configuración y diseño de instalaciones eléctricas de interior.

https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI06/es_IEA_IEI06_Contenidos/website_321_clculo_de_la_seccin_por_cada_de_tensin.html Consulta: septiembre de 2019.

Normalmente, la caída de tensión se presenta de forma porcentual de la tensión nominal. De esta forma, se obtiene un valor representativo de la magnitud total de la caída de tensión.

Ahora, considerando el siguiente diagrama de circuito compuesto por una fuente de voltaje e y una carga R :

Figura 9. Diagrama compuesto por una fuente de voltaje y una carga



Fuente: elaboración propia, empleando Paint.

Analizando el circuito mediante la Ley de Circuitos de Kirchoff, y tomando en cuenta que es un circuito sencillo, se aplica la ecuación de la Ley de Ohm, indicando que el voltaje aplicado es equivalente a la corriente del circuito multiplicada por la resistencia de carga:

$$e = InR$$

En la ecuación del apartado de la resistividad eléctrica 1.4.1.1 se sustituye por la resistencia que, como se menciona, es la resistividad ρ multiplicado por la longitud del cable l dividido entre el área del cable A :

$$e = In \frac{\rho l}{A}$$

Se aplica la ecuación del inverso del factor de resistividad, que es la conductividad σ , según lo menciona el apartado 1.4.1.2.

$$e = \ln \frac{l}{\sigma A}$$

Tomando en cuenta que la longitud l que recorre la corriente es 2 veces la distancia (d) y aplicando el factor porcentual de caída de tensión que se selecciona de la tabla VII, se despeja la sección del conductor por utilizar:

$$A = \ln \frac{2d}{\sigma e(\%V)}$$

El valor de la conductividad se puede seleccionar de la siguiente tabla:

Tabla VIII. **Conductividad de algunos materiales**

Material	Temperatura		
	20 °C	70 °C	90 °C
Cobre	57	48	44
Aluminio	36	30	28

Fuente: IEI06 Configuración y diseño de instalaciones eléctricas de interior.

https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/IEI/IEI06/es_IEA_IEI06_Contenidos/IEI06_CONT_R115_pi_c054.jpg Consulta: septiembre 2019.

Si no se dan especificaciones o condiciones del sistema, se considera por defecto a temperatura de 20 °C y el material que se utiliza es cobre. La conductividad del cobre puede ser $\sigma=57 \text{ m}/\Omega.\text{mm}^2$ (a 20 °C). Esto es considerado a nivel didáctico. Sin embargo, para cálculos reales, es mejor escoger el valor más favorable que corresponde a la máxima temperatura del conductor. Para conductores termoestables, la temperatura máxima del aislante

es de 90 °C en servicio continuo y la conductividad del cobre será 44 m/Ω.mm². Para conductores termoplásticos, la temperatura que puede soportar el aislante será de 70 °C, y su conductividad es de 48 m/Ω.mm².

Por lo tanto, las ecuaciones que permiten calcular la sección de un conductor por caída de tensión son las siguientes:

- Monofásico

$$A = \frac{2dIn}{\sigma e(\%V)}$$

- Trifásico

$$A = \frac{\sqrt{3}dIn}{\sigma e(\%V)}$$

En el caso de líneas de bajo voltaje, la regulación, caída de voltaje y el voltaje nominal son los factores que determinarán la sección del conductor.

3. ÁREAS DE RIESGO SEGÚN NORMA IEC 60079-10

En actividades principalmente industriales, ha aumentado el riesgo de presencia de atmósferas explosivas o de alto riesgo. A tal punto que la IEC ha publicado, desde el 2004, la norma IEC 60079 que establece recomendaciones relacionadas con la construcción e instalación de aparatos y equipos eléctricos en estas áreas.

Cabe resaltar que no solamente la IEC publica normativas que buscan la seguridad. En el apéndice 1 se menciona algunas instituciones que realizan esta tarea.

Los reglamentos poseen el carácter de recomendaciones con validez y aceptación por las comisiones internacionales.

Tabla IX. Descripción de publicaciones de algunas normas IEC

Publicación IEC:	Descripción
79-0	Requerimientos generales.
79-1	Construcción y pruebas de cajas antideflagrante de aparatos eléctricos.
79-1A	Método de prueba para la determinación de la máxima brecha de seguridad experimental.
79-2	Aparatos eléctricos - tipo de protección "p".
79-3	Método de prueba para temperatura de ignición -4A.

Continuación tabla VII.

79-4	Aparato de prueba de chispas para circuitos con seguridad intrínseca.
79-5	Aparatos rellenos de arena.
79-6	Aparatos sumergidos en aceite.
79-7	Construcción y prueba de aparatos eléctricos, tipo de protección "e".
79-10	Clasificación de áreas de alto riesgo.
79-11	Construcción y pruebas en aparatos con seguridad intrínseca y otros equipos relacionados.
79-12	Clasificación de mezclas de gases o vapor con aire de acuerdo con su máxima brecha de seguridad experimental y mínimas corrientes de ignición.
79-13	Construcción y uso de salas o edificaciones protegidas mediante presurización.
79-14	Instalación eléctrica en atmósferas de gas explosivas (distintas a las minas).

Fuente: Introducción a las normativas IEC-60079. <http://www.texca.com/basicex.htm#top>

Consulta: septiembre 2019.

De manera más específica, la norma IEC 60079-10 es utilizada para la determinación de sectores susceptibles de ser áreas de peligro o explosión. Sitios con presencia de concentraciones y cantidades peligrosas de vapor o gases inflamables son lugares donde debe aplicarse medidas preventivas para reducir los efectos de estas condiciones. Esta parte de la norma IEC 60079 explica diversos criterios esenciales para valorar el riesgo de la explosión y da algunas recomendaciones para los parámetros de diseño y así minimizar el riesgo.

3.1. Áreas de riesgo

Un área de riesgo o peligrosa es en la que se encuentra una atmósfera peligrosa (donde hay una mezcla de aire con sustancias inflamables en forma de gas o vapor, en la cual, después de encendido, la combustión se extiende por toda la mezcla no consumida), o se puede esperar que se presente, en cantidades tales que requieran precauciones especiales para la construcción, instalación y uso de un equipo.

3.1.1. Clasificación de las áreas de riesgo

La identificación de las áreas de riesgo es un método para analizar e identificar el entorno donde existan condiciones que produzcan atmósferas peligrosas. Además, para facilitar la selección del equipo acorde al sitio de instalación o viceversa. Para garantizar la correcta utilización y seguridad de este medio es importante tener en cuenta los grupos de gases y temperaturas de cada zona.

Generalmente, en la mayoría de las prácticas donde se utilizan materiales que generen atmósferas peligrosas, es complicado garantizar que no se producirá un percance. También es difícil asegurar que el aparato nunca dará lugar a una fuente de peligro. Por lo tanto, donde exista una baja probabilidad de producción de peligro en el área, es necesario que el equipo se seleccione de manera menos rigurosa.

3.1.1.1. Zona 0

Es un área en la que continuamente se encuentran presentes concentraciones de gases o vapores inflamables o que están presentes

durante largos períodos de tiempo. Esta clasificación es normalmente aplicada dentro de aparatos (vaporizadores, reactores, entre otros.), si se cumplen los requisitos establecidos para esta zona.

3.1.1.2. Zona 1

Es un área en la que existen concentraciones inflamables de vapores o gases en condiciones normales de funcionamiento o en las operaciones de mantenimiento o reparación por fugas o mal funcionamiento de los equipos, o en las que se encuentran junto a un área de zona 0, desde la que podrían trasladarse concentraciones combustibles de vapores. Esta clasificación se aplica a:

- Áreas que rodean puertas de carga.
- Áreas que rodean instalaciones de tuberías y drenajes.
- Áreas donde se encuentren aparatos frágiles, cerámica, vidrios o tubos similares.

3.1.1.3. Zona 2

Es un área en la que no es probable que haya concentraciones inflamables de vapores o gases en condiciones normales de funcionamiento. Están normalmente contenidos en recipientes o sistemas cerrados de los que solo pueden escapar como resultado de una rotura o quiebre accidental del sistema o recipiente como consecuencia del mal manejo del equipo dentro de los gases o líquidos que se manipulan, procesan o utilizan. Por lo regular, los vapores o los gases están presentes por periodos muy breves. También pueden considerarse de esta zona, las áreas que rodean a las zonas 0 y 1.

Además, la clasificación por zonas se puede dividir en dos grupos, I y II; el grupo I corresponde a instalaciones en minas. El grupo II se subdivide según la naturaleza de la atmósfera gaseosa en los siguientes grupos.

- Grupo IIA: atmósferas que contienen acetona, alcohol etílico, amoniaco, gasolina, metano, propano o vapores o gases de riesgo equivalente.
- Grupo IIB: atmósferas que contienen etileno o vapores o gases de riesgo equivalente.
- Grupo IIC: atmósferas que contienen hidrógeno, acetileno o vapores o gases de riesgo equivalente.

Tabla X. **Clasificación de grupos y zonas de gases**

Grupo	Zona	Presencia de atmósfera explosiva.
Grupo I (minas)	Sin zona	Presencia (metano, polvo).
		Riesgo de presencia (metano, polvo).
Grupo II	Zona 0	Continua, frecuente o por largos periodos.
	Zona 1	Intermitente en operación normal (probable).
	Zona 2	Ocasional o por períodos cortos (nunca en operación normal).

Fuente: *Hazardous Areas* https://www.asconumatics.eu/images/site/upload/_en/pdf1/DCS-Hazardous%20Areas.pdf Consulta: septiembre de 2019.

Existe también una división, de acuerdo con grupos de polvos explosivos (grupo III) en atmósferas distintas de las minas, susceptibles a la propagación del fuego.

3.1.1.4. Zona 20

En esta zona se encuentran las áreas en las que existe una atmósfera potencialmente explosiva en periodos prologados.

Esta clasificación es aplicable solamente al interior de equipos (secadoras, molinos, mezcladoras, silos, transportadoras, entre otros), si el polvo puede generar mezclas con alto riesgo de explosión de manera frecuente o por periodos prolongados.

3.1.1.5. Zona 21

Abarca generalmente áreas donde la perturbación ocasional de contenedores de polvo pueda generar atmósferas con alta probabilidad de explosión por periodos breves.

Esta clasificación es aplicable solamente a áreas que se encuentran alrededor de algún equipo que contenga polvo, que podría levantarse y generar peligrosos depósitos de polvo, como los molinos.

3.1.1.6. Zona 22

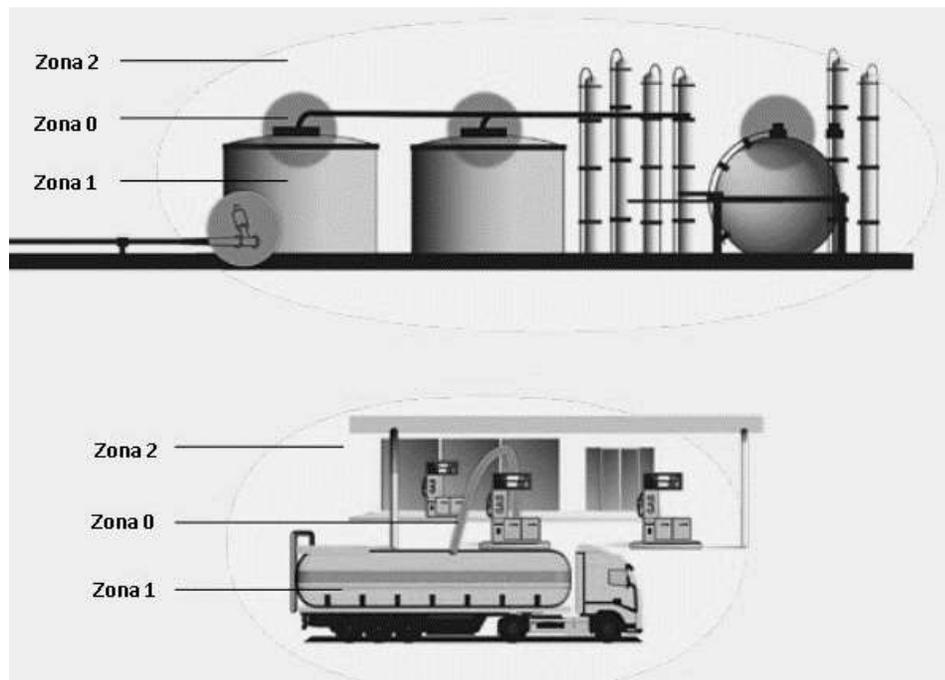
Es un área en la que no es probable que haya concentraciones inflamables de polvos en condiciones normales de operación.

Tabla XI. **Clasificación de grupos y zonas de polvos**

Grupo	Zona	Presencia de atmósfera explosiva
Grupo III	Zona 20	Continua, frecuente o por largos periodos (aire/nubes de polvos combustibles).
	Zona 21	Intermitente en operación normal.
	Zona 22	Ocasional o por períodos cortos.

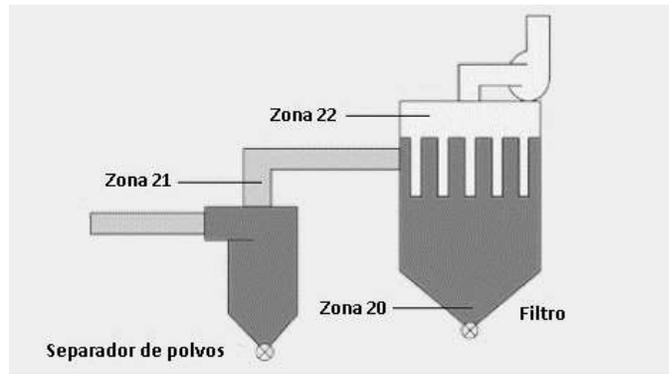
Fuente: *Hazardous Areas* https://www.asconumatics.eu/images/site/upload/_en/pdf1/DCS-Hazardous%20Areas.pdf Consulta: septiembre de 2019.

Figura 10. **Ejemplo de atmósfera explosiva causada por vapor o gas**



Fuente: *Hazardous Areas* https://www.asconumatics.eu/images/site/upload/_en/pdf1/DCS-Hazardous%20Areas.pdf Consulta: septiembre de 2019.

Figura 11. **Ejemplo de atmósfera explosiva causada por polvo**



Fuente: *Hazardous Areas* https://www.asconumatics.eu/images/site/upload/_en/pdf1/DCS-Hazardous%20Areas.pdf Consulta: septiembre de 2019.

3.1.2. **Método alternativo de selección de áreas de riesgo según NEC**

El Código Nacional Eléctrico (NEC) en sus artículos 500 al 504, establecen una clasificación de áreas de riesgo según el material combustible presente, además de la frecuencia y tipo de permanencia con que se encuentra el lugar. De esta manera, se establecen las siguientes clases y divisiones:

En el anexo 5, se encuentra la norma NEC en la cual se mencionan las clases y grupos que se encuentran en este capítulo.

Tabla XII. **División de clases y su descripción según NEC**

Clase	Sustancia peligrosa en el área
Clase I	Vapores o gases inflamables
Clase II	Polvos combustibles
Clase III	Partículas o fibras fácilmente combustibles

Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Word.

No obstante, estas clases pueden subdividirse de acuerdo con las condiciones de riesgo en dos tipos, división I y división II.

La clase y el grupo se rigen mediante las características físicas. La división se basa en las condiciones del medio y sus características.

3.1.2.1. División

- División I: lugares o áreas en las que la sustancia de riesgo se encuentra presente siempre en las operaciones de producción o funcionamiento, o frecuentemente en las actividades de mantenimiento y reparación.
- División II: lugares o áreas en las que la sustancia de riesgo se encuentra encerrada normalmente en sistemas o contenedores de los que puede salir únicamente por un mal funcionamiento del equipo o una avería, consecuencia de una ruptura accidental.

3.1.2.2. Grupo y clase

Un caso especial de estas divisiones es un grupo clasificado según la naturaleza de la sustancia peligrosa. Un material de forma gaseosa tiene una temperatura de ignición y características de explosión distintas para la clase I y para la clase II, ya que los polvos tienen una temperatura de ignición y grado de conductividad diferente. La clase III no tiene grupos.

La clase I se divide en cuatro grupos fundamentales: A, B, C y D. Estos son materiales que se agrupan en esta categoría por la temperatura de ignición de la sustancia, presión de explosión y otras propiedades inflamables.

- Grupo A: incluye como única sustancia al acetileno. Este material, que es un gas con una presión de explosión extremadamente alta, se encuentra en muy pocas áreas, por lo que la probabilidad de que esté disponible en algún lugar es muy baja.
- Grupo B: incluye en la atmósfera hidrógeno, combustible o gases combustibles de procesos que utilicen más del 30 % de hidrógeno en volumen o vapores o gases de riesgo equivalente a el óxido de etileno, propileno, butadieno y acroleína.
- Grupo C: incluyen gases como éter etílico, etileno u otros gases o vapores de riesgo equivalente.
- Grupo D: incluye sustancias inflamables más comunes como el amoniaco, butano, etanol, gasolina, metano, gas natural, propano o vapores o gases de riesgo equivalente.

La clase II, contiene materiales peligrosos que se encuentran en los grupos E, F y G, y se clasifican según la conductividad de la sustancia y la temperatura de ignición. Estas propiedades son de gran importancia en esta clase, especialmente en polvos metálicos.

- Grupo E: incluye áreas con polvos metálicos como aluminio, magnesio y sus aleaciones.
- Grupo F: son áreas con polvos de carbón mineral o vegetal o atmósferas que contienen polvos activados por otros materiales que representan riesgo.

- Grupo G: áreas con polvos no mencionados en los grupos E y F, como aserrín, cereales y productos químicos.

3.1.2.3. Clasificación de áreas

- Clase I división I: área que contiene concentración peligrosa de sustancias continuamente en condiciones normales de operación, mantenimiento o por fugas que puedan causar fallas de los equipos.

Los lugares típicos de estas áreas son:

- Sitios de transporte de sustancias (gasolineras, refinerías y estaciones de servicio).
 - Sitios con presencia de tanques abiertos.
 - Cuartos de secado.
 - Sitios de lavandería y tintorería.
 - Cuartos generadores de gas.
 - Cuartos de bombeo de refrigeración o congelación.
- Clase I división II: área donde se procesen sustancias que se encuentran normalmente en sistemas cerrados, de los cuales puedan escapar solo en caso de avería u operación anormal del equipo.

Los lugares típicos de estas áreas son:

- Sitios cercanos a un área de clase I división I, a menos que se evite por medio de ventilación con aire limpio.
- Sitios con presencia de tuberías sin válvulas, sellos, medidores o equipo similar.

- Cuartos de almacenamiento de sustancias en recipientes cerrados.
 - Lugares donde exista tuberías eléctricas (conduit) y sus accesorios y se encuentren separados del área por una sola barrera. Deberá clasificarse como división II siempre y cuando el exterior de la tubería y de los accesorios sea un área peligrosa.
- Clase II división I: área donde existe polvo combustible en suspensión en el aire en cantidades suficientes para producir mezclas inflamables o explosivas o en la que fallas mecánicas de maquinaria puedan causar estos efectos. Además, pueden presentar polvos con conductividad eléctrica. Los lugares típicos de estas áreas son:
 - Zonas de trabajo o almacenamiento de granos.
 - Plantas trituradoras, pulverizadoras, limpiadoras, separadoras, transportadoras, mezcladoras, elevadores, descascaradoras y todo equipo similar que produce polvos en fábricas o plantas procesadoras de granos como almidón, azúcar malta y otras de naturaleza similar.
 - Plantas pulverizadoras de carbón y lugares donde se almacenen.

Los principales polvos combustibles no eléctricos son: cacao, azúcar, leche y huevo, almidón y harinas, papas, frijol y especies pulverizadas. Los polvos no metálicos conductores eléctricos son los que incluyen polvos de carbón vegetal, mineral y coque. Los que contienen aluminio y magnesio son bastante peligrosos y requieren precaución para evitar su ignición y explosión.

- Clase II división II: área donde el polvo no se encuentra en suspensión en el aire, ni puesto en suspensión por la operación del equipo en

cantidades suficientes para producir mezclas inflamables o explosivas, pero se debe considerar: 1) la acumulación puede ser suficiente para interferir con la disipación del calor del equipo eléctrico; o 2) el polvo combustible acumulado sobre o alrededor del equipo eléctrico puede inflamarse por arcos, chispas o calentamiento.

Los lugares típicos de estas áreas son:

- Sitios donde existan transportadores o maquinaria que producen apreciables cantidades de polvo, solo en condiciones anormales, fuera de operación.
 - Zonas donde la formación de concentraciones de polvos en suspensión se evita por la operación de un efectivo control de polvos.
 - Zonas cercanas a un área de clase II división I.
 - Zonas o bodegas de embarque donde existan materiales que produzcan polvo, almacenados solamente en bolsas o recipientes semejantes.
- Clase III división I: área donde se fabrican, manejan o utilizan fibras fácilmente inflamables o materiales que producen polvos combustibles.

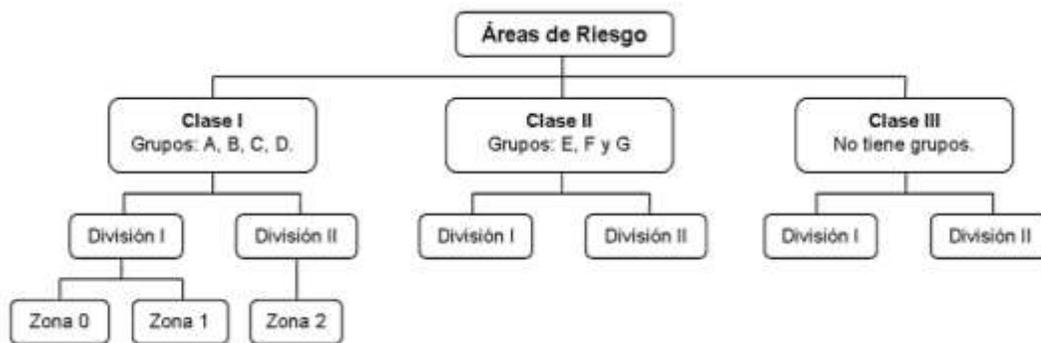
Los lugares típicos de estas áreas son:

- Plantas textiles de algodón y fibras combustibles.
- Plantas procesadoras de lino.
- Talleres de carpintería, fábricas de ropa y todas las industrias que tienen procesos semejantes.

Entre las fibras y materiales que fácilmente se inflaman se encuentra el algodón yute, fibra de coco, cáñamo, estopa, lana vegetal, musgo, viruta y similares.

- Clase III división II: área en la cual se manejan fibras fácilmente inflamables, con excepción del lugar donde se fabrican.

Figura 12. **Clasificación general de áreas de riesgo**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word.

4. EQUIPOS Y SELECCIÓN DE CABLE SEGÚN ÁREAS DE RIESGO

Sin importar la tensión que manejen los equipos e instalaciones electrónicas y eléctricas, puede existir áreas que presenten riesgos debido a la presencia de sustancias inflamables, combustibles y condiciones que produzcan una falla. Por esta razón, deben cumplir con algunos requisitos para evitar ser fuente de peligro. La mayor parte de los equipos debe instalarse en áreas que pueden considerarse como muy poco peligrosas o no peligrosas, para así, reducir el número de equipos necesarios para estas zonas. El criterio o los parámetros para seleccionarlos son fundamentales cuando se diseña la instalación.

4.1. Equipo e instalaciones

Un equipo eléctrico o electrónico puede llegar a ser fuente de peligro de 3 formas:

- Chispas y arcos: su causa principal es la operación normal del equipo eléctrico como contactores, interruptores y motores que pueden crear una atmósfera peligrosa.
- Temperaturas: la gran producción de calor de lámparas y accesorios de iluminación, son responsables del encendido de atmósferas inflamables si exceden la temperatura de ignición de una sustancia peligrosa presente.

Existen diversas clases de temperaturas, con el fin de seleccionar e identificar un equipo eléctrico, con relación a la temperatura máxima de superficie.

Según la IEC, existen 6 temperaturas básicas: T1, T2, T3, T4, T5, T6. El NEC permite subdividir las entre las diferentes temperaturas básicas, como se observa en la siguiente tabla.

Tabla XIII. **Nomenclatura de equipos según su temperatura de ignición**

IEC		NEC		Temperatura de ignición de las sustancias peligrosas (°C)
Clases de temperatura	Temperatura máxima de superficie (°C)	Clases de temperatura	Temperatura máxima de superficie (°C)	
T1	450	T1	450	>450
T2	300	T2	300	>300
		T2A	280	>280
		T2B	260	>260
		T2C	230	>230
		T2D	215	>215
T3	200	T3	200	>200
		T3A	180	>180
		T3B	165	>165
		T3C	160	>160
T4	135	T4	135	>135
		T4A	120	>120
T5		T5	100	>100
T6		T6	85	>85

Fuente: elaboración propia, en base con NEC, tabla 500-3.

Para zonas de clase II, la temperatura del equipo no debe superar la temperatura de ignición del polvo específico. Estas temperaturas pueden observarse en la siguiente tabla.

Tabla XIV. **Temperatura de ignición de equipos expuestos**

	Equipos no expuestos a sobrecargas	Equipos expuestos a sobrecargas (transformadores o motores)	
Grupos Clase II	Temperatura (°C)		
E	200	200	200
F	200	200	150
G	165	165	120

Fuente: elaboración propia, en base con NEC, tabla 500-3f.

- Fallas del equipo eléctrico: originadas por acumulación de polvo combustible dentro, sobre o cerca del equipo, lo que impide disipación de calor del equipo y que produzca una explosión.

Con el fin de que un equipo eléctrico no llegue a ser una fuente de riesgo, es necesario seleccionar la instalación considerando la clase, división, grupo y la temperatura de ignición de las sustancias presentes en el área.

4.1.1. Tipos de protecciones según área

Generalmente se utiliza el mismo principio de protección contra riesgos, en especial de explosión. Evitar que existan posibles fuentes peligrosas en

grandes cantidades, es el principal método de protección en un área de alto riesgo. En áreas donde no pueda evitarse, mediante la aplicación de medidas de protección básica, se debe tomar acciones especiales para eliminar su surgimiento.

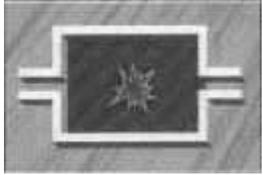
Tabla XV. **Tipos de protección estándares para áreas de alto riesgo**

Esquema/Tipo de protección de acuerdo con IEC	Principio básico	Aplicaciones
 <p>Caja Antideflagrante "d"</p>	<p>Un tipo de protección en el que las partes que pueden encender una atmósfera explosiva, se colocan en una caja que puede resistir la presión generada durante una detonación interna de una mezcla explosiva y que evita la propagación de la explosión a las atmósferas exteriores.</p>	<p>Interruptores, equipo de control e indicación, tableros de control, motores, transformadores, accesorios y otros componentes.</p>
 <p>Seguridad aumentada "e"</p>	<p>Un tipo de protección en el que se aplican medidas a fin de evitar con mayor grado de seguridad la posibilidad de que se registren temperaturas excesivamente elevadas y que se produzcan arcos y chispas en el interior y en las partes exteriores de aparatos eléctricos, que no las produce en sus operaciones normales.</p>	<p>Cajas de terminales y conexiones, módulos EX de cubiertas de cajas de control (de un tipo diferente de protección), motores de jaula de ardilla, luminarias.</p>
 <p>Aparatos presurizados "p"</p>	<p>Un tipo de protección en el que se evita el ingreso de una atmósfera exterior en la caja del aparato eléctrico manteniendo en el interior un gas protector a una mayor presión que la de la atmósfera exterior.</p>	<p>Como las anteriores, pero en especial para equipo grande y salas de control.</p>

Continuación tabla XV.

 <p>Seguridad intrínseca "i"</p>	<p>Un tipo de protección en el que el aparato eléctrico contiene circuitos con seguridad intrínseca, que no tienen posibilidad de provocar una explosión en la atmósfera circundante. Un circuito o una parte de un circuito tienen seguridad intrínseca, cuando alguna chispa o efecto térmico en este circuito, producidos en las condiciones de prueba establecidas en este estándar (dentro del cual figuran las condiciones en operación normal y de falla específica) no puede ocasionar una ignición.</p>	<p>Equipo de control y medición.</p>
 <p>Inmersión en aceite "o"</p>	<p>Un tipo de protección en el que el aparato eléctrico o parte de aparato eléctrico es sumergido en aceite de manera tal que una atmósfera explosiva, que puede generarse arriba del aceite o afuera de la caja protectora no pueda encenderse.</p>	<p>Transformadores (usado en el presente muy raras veces)</p>
 <p>Relleno de polvo "q"</p>	<p>Un tipo de protección en el que la cubierta del aparato eléctrico está rellena de un material en estado de gránulos finos de modo que, en las previstas condiciones de operación, cualquier arco que se produzca dentro de la caja de un aparato eléctrico no encenderá la atmósfera circundante. Ninguna ignición será ocasionada por llamas o temperatura excesivamente elevada de las superficies de la caja.</p>	<p>Transformadores, condensadores, cintas calentadoras, cajas de conexión, ensambles electrónicos.</p>

Continuación tabla XV.

 <p>Moldeado (resina) "m"</p>	<p>Un tipo de protección en el que las partes, que pueden encender una atmósfera explosiva, son encerradas dentro una resina, con resistencia efectiva a las influencias ambientales de modo que esta atmósfera explosiva no pueda ser encendida por chispas o calentamiento, que pudieran generarse dentro del encapsulado.</p>	<p>Sólo interruptores de baja capacidad, aparatos de control, equipo de indicación, sensores.</p>
--	--	---

Fuente: Introducción a las normativas IEC 60079 <http://www.texca.com/basicex.htm>

Consulta: septiembre de 2019.

4.1.1.1. Equipo clase I división I y II

Este equipo es a prueba de explosión (antideflagrante); se basa en el principio de la tabla XV. Es un equipo encerrado en una caja, capaz de soportar una explosión o presión de vapor que se produzca en el interior y poder prevenir la ignición que rodee la caja, por arcos, chispas o explosión. Soporta altas temperaturas a las que la atmósfera que le rodea no pueda arder.

Los materiales utilizados para la elaboración de estas cajas son principalmente de aluminio, acero o hierro, con el objetivo de impedir el paso de la flama.

4.1.1.2. Equipo clase II división I y II

Es un equipo cerrado en algún lugar que impide la entrada de polvo, y que no permite que surjan arcos, chispas o calor que cause la ignición de

acumulaciones o suspensiones de polvos que se encuentren cercanos a la caja.

Su diseño es distinto al del equipo para la clase I, ya que no requiere soportar explosiones internas.

En la clase II, los equipos deben ser capaces de funcionar a su totalidad sin dar lugar a altas temperaturas de la superficie que puedan deshidratar o carbonizar gradualmente los tanques orgánicos que puedan surgir en la superficie.

4.1.1.3. Equipo clase III división I y II

Este equipo debe operar a plena potencia sin producir calor al grado que deshidrate excesivamente o carbonice gradualmente el material que se acumule. Debido a que estos residuos son susceptibles a incendiarse de forma espontánea, en estas áreas se utiliza equipo purgado y presurizado, equipo de seguridad intrínseca (como se observa en la tabla XV) o algunas otras áreas en condiciones especiales.

4.1.1.4. Equipo en casos especiales

El equipo presurizado y purgado se utiliza de manera general en todas las áreas de riesgo para el que esté aprobado. Este puede ser por sistemas o procesos de ventilación forzada para reducir riesgos.

Las instalaciones y equipo de seguridad intrínseca son utilizados en todas las áreas para las que está aprobado. Son circuitos en los que cualquier efecto térmico o chispa producido es incapaz de generar la ignición de un material

combustible y aire. Este tipo de protección es cada vez más usado. En el anexo 6 se encuentra el artículo 504 del NEC que describe este tipo de protección.

En lugares de clase I división II (zona 2); clase II división II y clase III, se pueden utilizar circuitos no incendiarios, los cuales no pueden iniciar combustión, ya sea en funcionamiento o por apertura, interrupción o conexión a tierra, por cualquier efecto térmico o arco.

Específicamente en áreas de la zona 2 o clase I división II, es permitido usar el equipo sumergido en aceite, para los interruptores de corriente.

En la siguiente tabla, se observa de forma general el tipo de protección de equipos eléctricos y la zona de riesgo en la que pueden ser utilizados.

Tabla XVI. Tipos de protección para equipos eléctricos y su uso en áreas de riesgo

Equipo con protección	Área de riesgo
A prueba de explosión	Clase I división I y II (zonas 0, 1, 2)
A prueba de ignición de polvos	Clase II división I y II
Presurizado y purgado	Cualquier área de riesgo
Sistemas de seguridad intrínseca	Cualquier área de riesgo
Inmersión en aceite	Clase I división II (zona 2)
Sellado hermético	Clase I división II (zona 2)
Circuitos no incendiarios	Clase I división II (zona 2) Clase II división II Clase III

Fuente: elaboración propia.

4.2. Cables eléctricos

Los principales riesgos que se corren dentro de un área industrial o residencial, en gran porcentaje, se inician en las instalaciones eléctricas. Por este motivo, es necesario que se diseñe y realice con los materiales adecuados para disminuir el riesgo. No obstante, en el caso que se genere por causas no consideradas dentro del margen de riesgo, debe permitir los efectos colaterales (emisión de gases corrosivos, tóxicos y de humos) que van a producir mucho más daño que el mismo fuego.

La parte esencial de una instalación eléctrica son los cables. Estos se encuentran colocados de un punto a otro en el área. Por ello se les considera como fuente principal de propagación de incendio, ya que los materiales y elementos que los componen son generalmente de naturaleza orgánica, buenos combustibles, que pueden ser capaces de generar gases inflamables que propagan la combustión. El cable que se encuentra en condiciones de contacto con el fuego puede dañarse y hacer que sus conductores se pongan en contacto entre sí o a tierra, producir un cortocircuito y convertirse en un nuevo foco de incendio; y dejar de conducir después del fuego. Es decir, cortar el suministro de energía a los equipos que alimentan, lo cual es muy peligroso y de gran impacto en la industria.

Por esta razón, los responsables de la fabricación de cables se encargan de buscar métodos de construcción y diseño para reducir la propagación del fuego en el cable ya que se ha producido, y disminuir las consecuencias de sus efectos colaterales. En virtud de ello, someten a los cables que fabrican a pruebas que simulan un estado de incendio, realizadas en condiciones constantes y parámetros fijos como fuentes de llama o calor, temperatura, caudal de viento, tiempo de exposición, entre otros.

4.2.1. Cables utilizados en áreas de riesgo

Según el NEC y el IEC, los cables que cumplen con las propiedades necesarias para ser utilizados en las distintas áreas de riesgo clasificadas por la normativa son: tipo AC, MC, MI, MV, NM, TC y algunos otros casos especiales que a continuación se describen.

4.2.1.1. Tipo AC

Los cables AC o cables blindados son un conjunto de conductores aislados en una cubierta de metal flexible.

Los usos principales de este tipo de cable son:

- Circuitos de control y señales
- Lugares secos
- Circuitos ocultos y en bandejas de cables
- Todos los sistemas eléctricos y de iluminación y fuerza

Este tipo de cable debe poseer una banda interna equipotencial, preferencialmente de aluminio o cobre, que se encuentre en contacto continuo con la armadura y por toda su longitud. Los conductores deben tener un forro entero que retarde la llama y sea resistente a la humedad. Existen cables tipo ACT (cable armado con conductores con aislamiento termoplástico), que necesitan un forro resistente a la humedad en cada uno de los conductores. Una característica especial del tipo AC es que requieren tener un conductor adecuado para realizar la toma de tierra de los equipos.

Existen algunas variaciones en los cables tipo AC, entre las cuales se encuentran:

- AC: cable armado que utiliza conductores que tienen caucho como aislamiento.
- ACH: cable armado que utiliza conductores que tienen caucho como aislamiento resistente al calor (75 °).
- ACHH: cable armado que utiliza conductores que tienen caucho como aislamiento resistente al calor (90 °).
- ACU: cable armado que utiliza conductores que tienen caucho de látex grande como aislamiento.
- L: cable armado con cubierta de plomo aplicada sobre el conductor.

4.2.1.2. Tipo MC

El tipo de cables MC o con cubierta metálica son un conjunto de varios conductores aislados, encerrados en una cubierta metálica de cinta entrelazada o en un tubo corrugado o liso.

Este tipo de cables es utilizado en instalaciones de más de 600 V nominales, en las siguientes condiciones:

- Acometidas, suministro y derivaciones o servicios.
- Circuitos interiores y exteriores.
- Circuitos de potencia, iluminación, señales y control.

- Circuitos en bandeja, expuestos u ocultos.
- En lugares secos y abiertos, siempre y cuando la cubierta metálica sea inmune a la humedad, como una cubierta de plomo.

Los materiales utilizados para la cubierta pueden ser cobre, aluminio, aluminio recubierto de cobre, trenzados o sólidos.

La textura de la cubierta puede ser de varios tipos, como lisa, metálica soldada y corrugada, armadura de cinta metálica trenzada. Puede utilizarse una protección extra con forma de cubierta externa de material que sea resistente a la corrosión y no debe utilizarse como conductor.

Por lo general, los cables de este tipo deben tener un conductor adecuado para la toma a tierra.

4.2.1.3. Tipo MI

Se les conoce como tipo MI a los cables con aislamiento mineral y recubrimiento metálico, formados por uno o más conductores aislados con un material refractario de alta compresión en un recubrimiento continuo de cobre o de aleación de acero que posee gran resistencia a los gases y líquidos.

Por lo regular, este tipo de cable se utiliza en:

- Los mismos lugares del tipo MC.
- Expuestos en condiciones corrosivas que no deterioran su recubrimiento.
- Tramos subterráneos protegidos contra daños físicos y contra la corrosión.

Los cables de tipo MI son de cobre sólido o recubierto de níquel. El recubrimiento exterior debe ser de construcción continua, de modo que le ofrezca protección mecánica y contra humedad. Si el recubrimiento es de acero, deberá llevar un conductor de tierra de los equipos. No obstante, si este fuera de cobre, debería tener la suficiente continuidad para poder conectar a tierra a los equipos.

Además, este tipo de cable no es completamente combustible y, por lo tanto, permite eliminar peligros de fuego resultantes de excesivas sobrecargas o averías en los circuitos eléctricos, debido a que son construidos de materiales totalmente inorgánicos. La cubierta, armadura protectora y el conductor son de metal.

4.2.1.4. Tipo MV

Un cable tipo MV es un cable unipolar o multipolar, con aislamiento dieléctrico, formado por conductores de aluminio, cobre o aluminio recubierto de cobre. Son utilizados en instalaciones de 2 kV hasta 35 kV nominales, en lugares secos o mojados, en canales, bandejas o directamente enterrados.

Los cables con la etiqueta MV-75, MV-85 o MV-90, son adecuados para utilizar a temperaturas de 75 °C, 85 °C y 90 °C, respectivamente. Si la etiqueta es *Oil Resistant I* u *Oil Resistant II* son apropiados para la exposición ante aceites minerales a 60 °C o 75 °C, respectivamente. De la misma forma cuando se encuentren marcados con la etiqueta *Sunlight Resistant*, que pueden ser expuestos directamente a los rayos del sol. Si la etiqueta es *CT use* o *For Use in Cable Trays* se utiliza exclusivamente para ser utilizados en bandejas.

4.2.1.5. Tipo NM

Este tipo de cables posee una cubierta no metálica. Sus características principales son la resistencia a la humedad y lo retardante de la llama.

Puede dividirse en 3 tipos. El tipo NM y NMS son utilizados para instalaciones ocultas y expuestas en lugares normalmente secos, a diferencia del tipo NMC, que puede utilizarse en lugares secos, húmedos, mojados o corrosivos. Caso contrario a los tipos anteriores, el tipo NM y sus divisiones no deben utilizarse como cables de entrada a acometida, en lugares expuestos a humos o vapores que puedan corroerlos, entre otros.

Las características de la cubierta exterior del tipo NMC debe resistir a la humedad, hongos y corrosión. En los tipos NMS, la cubierta se debe instalar de tal modo que separe los conductores de potencia de los de señales y comunicaciones. Es permitido que los conductores de señales se encuentren blindados y se permite un forro exterior opcional.

4.2.1.6. Tipo TC

Este es un tipo de cable de control y potencia para bandejas. Son dos o más conductores aislados con o sin conductores a tierra desnudos o cubiertos, en una cubierta no metálica, para instalarse en canalización o bandejas sostenidas por tensores.

El material utilizado para la cubierta exterior debe ser no metálico y retardante de la llama, ya que, no se debe permitir una cubierta metálica sobre ni bajo la cubierta externa no metálica. Si la instalación es en lugares mojados, este tipo de cables debe ser resistente a agentes corrosivos y a la humedad.

Las condiciones en las que puede utilizarse el cable tipo TC son:

- Circuitos de potencia, control, señales e iluminación.
- Circuitos de alarma contra incendios de baja potencia.
- En bandejas de canalizaciones o cables o en tramos exteriores que sean soportados por un tensor.

Los cables multipolares de 600 V nominales o menos pueden instalarse en una misma bandeja. No es recomendable instalar juntos cables de variadas tensiones nominales, a diferencia de los de más de 600 V tipo MC.

4.2.1.7. Tipos especiales

Existen otros tipos de cableados que, a pesar de la importancia de su aplicación, solo pueden utilizarse en casos especiales o por niveles de tensión específicos.

El cable Teck está constituido por un revestimiento de XLPE con una armadura de aluminio sobre los conductores.

- **Cables de 600 V o menos**

Los requisitos o consideraciones mínimas que se toman antes de realizar la instalación de cableados, canalizaciones u otros conductos enterrados directamente, se muestran en el anexo 7.

Uno de los requerimientos básicos al realizar una instalación subterránea es que deben ponerse a tierra y conectarse equipotencialmente.

Cuando se instalan cables enterrados directamente que salgan del suelo, deben poseer una cubierta envolvente o canalización que vaya desde la distancia mínima permisible. No obstante, pueden estar conectados sin que existan cajas de conexiones.

Es poco útil que se rellene un espacio con grandes rocas, materiales para pavimentar o algún otro elemento de gran tamaño, que posea propiedades corrosivas que dañen el cableado o las canalizaciones. Si se da el caso, es posible proteger el cableado con material granulado como tierra o piedrín. Si existieran vapores, gases o sustancias que causen peligro, es necesario sellar los conductos o canales subterráneos. Todo circuito debe tener cada uno de sus conductores instalados en la misma canalización.

- **Cables de 600 V o más**

Si se van a colocar o instalar conductores enterrados directamente deben ser un tipo especializado y con las características necesarias según su función, identificados para ese uso. Si la tensión nominal de trabajo máxima es de 2 kV, los cables deben de ir blindados. No obstante, se utilizan cables multipolares no blindados que trabajen a tensiones nominales de 2 kV a 5 kV si no posee ningún tipo de forro metálico o blindaje en toda la trayectoria de su longitud.

Para voltajes que superen los 6 kV, se utilizan cables subterráneos que se entierran o instalan directamente con canalizaciones identificadas para este uso y que cumplen con los parámetros, características y condiciones que se establecen.

4.2.1.8. Recomendaciones generales

Como se menciona en el capítulo 2, uno de los objetivos de una instalación es brindar seguridad a la misma, los equipos y las personas que se encuentran cercanas a cualquiera de las áreas mencionadas en el capítulo 3. Una de las consideraciones por tomar es que el cable deberá ser instalado a un radio de curvatura no mayor de 10 veces la magnitud de su diámetro exterior y con un esfuerzo máximo de tensión sobre los conductores de 10 kg/mm^2 . Estos esfuerzos no deberán ser aplicados a las cubiertas de revestimientos, sino exclusivamente a los conductores.

Si el esfuerzo que se contemplaba supera la magnitud admisible mencionada, es necesario recurrir al empleo de cables armados con alambres de acero; de ser así, se requiere aplicar un esfuerzo a la cubierta, sin exceder el 30 % de la carga de falla teórica.

Durante el proceso de tendido, el valor mínimo de temperatura que puede alcanzar el cable no debe ser inferior a $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Esta temperatura es la del propio cable, no la del entorno. En dado caso el cable se encuentre almacenado a temperaturas extremadamente bajas por un periodo de tiempo, antes de ser colocado deberá ser tratado para que su temperatura sea superior a los $0 \text{ }^\circ\text{C}$ antes de realizarse la instalación.

4.2.2. Cables contra incendios

Dentro de los accidentes que se presentan con mayor frecuencia en las áreas de riesgo que no cuentan con la protección adecuada para sus necesidades, se encuentran los incendios.

Los incendios eléctricos, roces, fricciones y chispas mecánicas son las principales causas de incendios que ocurren en el área industrial. Por lo tanto, las estadísticas indican que el diseño de una instalación adecuada evitará la mayoría de las causas que los provocan.

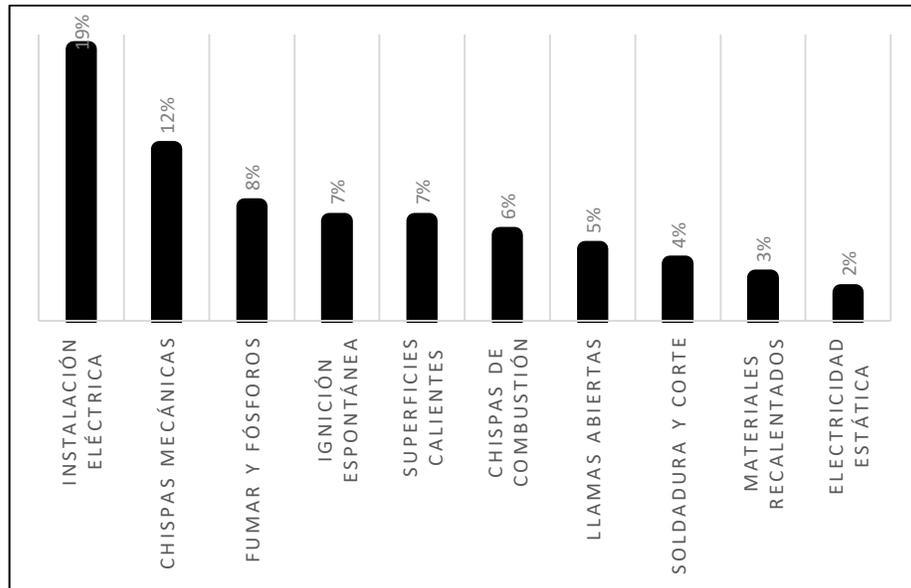
El cuadro completo de las principales causas de incendios en la industria es la siguiente:

Tabla XVII. **Porcentaje de incendios según fuente de ignición**

Fuente de ignición	Porcentaje
Instalación eléctrica	19 %
Chispas mecánicas	12 %
Fumar y fósforos	8 %
Ignición espontánea	7 %
Superficies calientes	7 %
Chispas de combustión	6 %
Llamas abiertas	5 %
Soldadura y corte	4 %
Materiales recalentados	3 %
Electricidad estática	2 %

Fuente: STARFIRE. Incendios en el ámbito industrial. [https:// grupofire.com/incendios-en-el-ambito-industrial](https://grupofire.com/incendios-en-el-ambito-industrial) Consulta: septiembre de 2019.

Figura 13. **Porcentaje de incendios según fuente de ignición**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Es evidente en esta estadística que la principal causa de incendios es debido a las instalaciones eléctricas las cuales, como se menciona en el capítulo 1, están compuestas por el cableado, el equipo eléctrico y sus protecciones.

Sin embargo, existen cables especializados para condiciones de incendio o que tengan que reaccionar frente al fuego. Según algunas pruebas y ensayos aplicados, y el comportamiento que los cables presenten en estas situaciones, pueden clasificarse de la siguiente forma:

- Cables no propagadores de la llama.
- Cables no propagadores del incendio.
- Cables resistentes al fuego.

4.2.2.1. Cables no propagadores de la llama

Es un tipo especial de cables contra incendios que, si se incitan o arden en forma vertical con una llama lo suficientemente débil por un periodo muy corto de tiempo, no va a ceder al momento de propagar el fuego, sino que la extinguirá. Este tipo de cable es frecuentemente utilizado en instalaciones con una cantidad de cables reducida en canalizaciones, como las que se utilizan en instalaciones residenciales.

4.2.2.2. Cables no propagadores de incendio

Es un tipo de cables que se someten a condiciones simuladas de un incendio y que no son capaces de propagar un incendio.

4.2.2.3. Cables resistentes al fuego

Su funcionamiento es normal durante y luego de un fuego prolongado. Este tipo de cables es el más recomendado para áreas consideradas como peligrosas.

Están hechos principalmente con materiales poliméricos combinados con otros que poseen características inorgánicas como fibra de vidrio y mica, y que son considerados como seguros. Estos cumplen con la función de tener al equipo funcionando ante la presencia de un incendio. Además, son utilizados para circuitos de iluminación de emergencia, alarmas, dispositivos de seguridad, ventilación, entre otros.

Es necesario tener en cuenta que los cables que son resistentes al fuego deben también ser no propagadores de incendio.

5. TÉCNICAS DE INSTALACIÓN EN ÁREAS DE RIESGO

Es fundamental para la instalación de cableado y equipo utilizado en áreas de riesgo o peligro que deban tener protecciones contra explosiones, derretimiento y fallas mecánicas para garantizar la seguridad de la instalación y personal que lo maneje. Además, es ideal considerar en la instalación la clase de tubería y cableado por utilizar, el sello y drenaje de estos, los efectos corrosivos y el mantenimiento, luego de haber terminado la instalación.

5.1. Técnicas de instalación

Cada una de las áreas o zonas que en el capítulo 3 se enumeran, clasifican y describen según la norma IEC 60079-10, cuentan con una técnica específica de instalación de acuerdo con sus características.

5.1.1. Clase I división I

Uno de los parámetros necesarios para realizar una instalación en las áreas de clase I división I, es que debe hacerse en tubo de metal rígido roscado, tubo semirrígido de acero roscado o cables de tipo MI. Los herrajes, cajas y elementos de unión deben estar roscados para poder conectarse a las terminaciones o tubos de los cables. Las uniones roscadas deben tener como mínimo 5 vueltas completas de rosca que queden completamente metidas. Los cables de tipo MI deben ser instalados y apoyados de manera que se eviten esfuerzos de tensión en las terminales.

En industrias donde el acceso sea bastante limitado y restringido y en los que la supervisión y el mantenimiento es realizado por personal calificado, puede utilizarse cable tipo MC, con una cubierta de aluminio corrugado que sea a prueba de vapores y gases y un recubrimiento externo de un polímero adecuado, con conductores independientes a tierra.

Por lo general, para este tipo de área se utiliza el cable de tipo MI con aislamiento mineral.

5.1.2. Clase I división II

En este tipo de áreas se requiere utilizar el mismo tipo de tubo mencionado en el caso anterior. No obstante, debe tener conductos metidos en envolventes con uniones de cable de tipo PLTC o de tipo ITC en bandejas, canaletas, soportadas por tensores o enterrados directamente; o cables de tipo MC, MI, MV o TC con herrajes. No es necesario que las cajas, herrajes y juntas sean antiexplosivas.

Los cables enterrados directamente son los más utilizados en este tipo de área. Además, pueden encontrarse cables tipo TC, en bandejas y no en tuberías; y solo en áreas donde se espera un daño mecánico se encuentran dentro de algún tipo de sistema de tuberías.

5.1.3. Clase II división I

En este tipo de áreas se requiere que la instalación se realice con el mismo tipo de tubo mencionado en el primer caso. No obstante, los herrajes que se utilicen en medios donde existe la presencia de polvos combustibles o conductores de electricidad deben estar aprobados para áreas de clase II.

Cuando se tenga acceso limitado debido a supervisión y mantenimiento es posible utilizar cables MC como en la clase I división I.

Las cajas y herrajes deben estar dotados de empalmes para conectarlos con las terminaciones de los cables o tubos y tener tapas que los cierren bien para no tener aberturas (como espacios para tornillos) por las cuales pueda acceder el polvo o salir chispas o material ardiendo.

5.1.4. Clase II división II

En este tipo de áreas, se requiere que la instalación se realice con el mismo tipo de tubo mencionado en el primer caso. No obstante, pueden utilizarse tuberías eléctricas metálicas, canaletas estancas al polvo o cables del tipo MC o MI con cables del tipo PLTC o ITC en canaletas de cables o de tipo MC o TC instalados en una bandeja de cables en escalera ventilada, o de canal ventilado en una sola área, con espacio entre los cables cercanos no inferior al diámetro del cable más grueso.

Las cajas, canaletas y herrajes, al igual que en área de clase II división I deben de ser diseñadas para que no posean aberturas y reducir la entrada de polvo y salida de chispas y material ardiente, los cuales pueden hacer arde los materiales combustibles adyacentes.

5.1.5. Técnica general de instalación en zonas

En las áreas de clase I zona 0 es posible utilizar los siguientes métodos de instalación:

Usar tubo de metal rígido o semirrígido de acero con herrajes y cajas no propagadoras de llama o cables listados de tipo MI con herraje, para usarlos en áreas clase I división I. Los cables o tubos deben contener solo circuitos intrínsecos o no incendiarios. Los tubos de sección de ½ pulgada o mayor deben ir sellados.

En áreas de clase I zona I, se permiten los métodos que se mencionan en áreas de clase I división y clase I zona 0; todos incluyen los requisitos de sellado.

En áreas de clase I zona 2 son permitidos los métodos de instalación para áreas de clase I división I, clase I división II, clase II zona 0, incluidos los requisitos de sellado.

Es posible utilizar un equipo diseñado para la zona 0 en la zona 1 o zona 2 con el mismo grupo de gases o sustancias. Además, es posible que el equipo diseñado para utilizar en un área de zona 1 se utilice en un área de la zona 2, para el mismo grupo de gases o sustancias.

5.2. Sellado

Sellar los tubos o equipos donde se va a colocar el cableado evita la propagación de la exposición interna hacia la tubería, provocada por superficies calientes o chispas durante operaciones normales. La tubería debe estar bien apretada a las cajas y los acoples, pues la tubería es la ruta de regreso para la falla de corriente y las roscas flojas pueden ser la causa de chispas y sobrecalentamiento. Generalmente se construye el sistema de sellado como parte de la tubería, en algunas distancias, según el diámetro de la tubería. Se

recomienda que los sellos sean instalados en los puntos de entrada a lo largo de todo el recorrido de la tubería.

Con el objetivo de evitar la corrosión, es necesario utilizar el material adecuado. Por lo regular, los fabricantes de tubería Conduit la recubren con resina epóxica o cloruro de polivinilo PVC. Las roscas en los extremos no se recubren al instalar la tubería, por lo que es importante cuidar mucho de la corrosión en esta parte.

5.3. Mantenimiento general

Algunas de las consideraciones para el mantenimiento de las instalaciones y los equipos que se utilizarán dentro de las áreas de riesgo, para garantizar la seguridad, son:

- El equipo puede desarmarse únicamente luego de desenergizar los circuitos de alimentación y debe armarse antes de alimentarlos. Es necesario rociar con agua los pisos de concreto y las paredes de hierro, de modo que cualquier pieza que se desprenda no produzca chispas.
- Los tornillos y tuercas que aseguran las uniones a prueba de explosión, deben mantenerse atornilladas perfectamente durante el tiempo que los circuitos están energizados.
- No se debe permitir que se acumulen partículas extrañas en la superficie de las uniones planas y que imposibiliten el ajuste adecuado que ocasione que las flamas o chispas del interior se propaguen a la atmósfera.

- Mantener limpia el área, eliminar suciedad, grasa, pintura u otra sustancia extraña de la superficie, utilizando cepillos y solventes con un punto de inflamación mayor de 40 °C.
- Aplicar un poco de lubricante del tipo recomendado por el fabricante a las uniones del cuerpo y la tapa de la tubería. Luego de colocarse, la tapa debe cerrarse, ya que el material puede atraer sustancias dañinas o perjudiciales.
- Apretar correctamente las tapas roscadas, sin forzarlas, para evitar que se aflojen por vibraciones.
- Eliminar toda fuente de chispa y llama, como lámparas, soldadores, sopletes, encendedores y fósforos en áreas de alto riesgo.

CONCLUSIONES

1. Para realizar una adecuada selección técnica de cables, es indispensable tomar en cuenta ciertos parámetros y conocer la forma, estructura, componentes y propiedades de los materiales, condiciones eléctricas y características del lugar de instalación y el entorno en el que va a funcionar. La consideración de esta lista de parámetros permitirá simplificar la selección de cables eléctricos en áreas de riesgo previamente identificadas.
2. Si se busca un alto nivel de seguridad en una instalación es necesario tomar en cuenta varios aspectos que la seguridad industrial requiere, especialmente si se trata con equipos y materiales eléctricos, así como con los cables, que deberán seguir especificaciones de acuerdo con el grado de riesgo en la instalación.
3. Seleccionar el tipo de cableado adecuado para un área o zona de riesgo determinado, previamente a realizar una instalación. Esto permitirá disminuir la probabilidad de que cualquiera de los elementos que componen la instalación sea la principal causa de cualquier incidente que perjudique la misma y los equipos que en ella se encuentren. No obstante, es un proceso complejo, debido a que desde el análisis, estudio y clasificación de riesgo hasta la búsqueda y obtención del cableado con las especificaciones, según el área de riesgo por evaluar, se invierte una cantidad significativa de recursos humanos y financieros.

4. Dentro de los factores determinantes del tipo óptimo de cableado según el área de riesgo están los factores propios del cable como las propiedades del material por el que está compuesto, factor de potencia, longitud del cable, corriente y la tensión que soportará y los factores externos como el tipo de área o zona de riesgo, condiciones y temperatura máxima del medio, sustancias esparcidas que puedan dañar físicamente los recubrimientos, protecciones y método de instalación.

RECOMENDACIONES

1. El análisis y estudio completo para determinar el área de riesgo en cada uno de los lugares de las industrias debería ser aplicado en todo tipo de campos. Sin embargo, debe darse prioridad a los lugares en donde la seguridad es un factor esencial, como en el área petrolera, hospitalaria, química y térmica. Por lo tanto, se deben tener presentes las consideraciones tratadas en las normas técnicas que brindan los criterios para una adecuada instalación.
2. Además de las consideraciones y criterios empleados para la selección de cableado que dictan las normativas, se deben tomar en cuenta las recomendaciones que brindan los fabricantes en sus catálogos de productos, en donde especifican propiedades técnicas, resultados y pruebas de ensayo a las que son sometidos los cables; ya que los fabricantes realizan estas pruebas con el fin de obtener mejores resultados de calidad y funcionamiento en sus productos.
3. Como apoyo en el proceso de selección adecuada de cables, es de gran importancia emplear nuevas herramientas, como softwares de fabricantes y marcas de materiales, que proporcionarán información que puede ser analizada para un mejor conocimiento y utilización de los productos utilizados.

BIBLIOGRAFÍA

1. BELOVE, Charles. *Enciclopedia de la electrónica, ingeniería y técnica*. Barcelona: Oceano/Centrum, 1995. 220p.
2. BOTTRILL, Geoffrey, CHEYNE, Dereck y VIJAYARAGHAVAN, G. *Practical Electrical Equipment and Installations in Hazardous Areas*. Amsterdam: Elsevier-Newnes, 2005. 240p.
3. CABRERA, John, GALLO, Juan, y PALMA, Carlos. *Manual de procedimientos de seguridad para control de riesgos eléctricos en instalaciones eléctricas de baja tensión*. [en línea] <<http://dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1248/1/2389.pdf>>. [Consulta: 17 de julio de 2019].
4. Corporación Tecxa. *Introducción a las Normativas IEC-60079 para áreas clasificadas*. [en línea] <<http://www.texca.com/basicex.htm>> [Consulta: 20 de mayo de 2019].
5. *Electrical equipment in hazardous areas*. [en línea] <https://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_equipment_in_hazardous_areas>. [Consulta: 27 de agosto 2019].
6. MAGISON, Ernest. *Electrical instruments in hazardous locations*. Research Triangle Park, NC: ISA, 2008. 80p.

7. STEWART, Maurice. *Recommendend Practice for Classification of locations for Electrical Installation at Petroleum Facilities RP500*. 1a ed. Lousiana-USA, 1974. 95 p.
8. TAPIA, Luis. Capacidad térmica de cables en ductos y bandejas. Método Digital. EPN (Tesis) Quito-Ecuador, 1973. 125 p.
9. VARGAS, Óscar. *Cálculo y selección de conductores aislados para instalaciones eléctricas en baja, media y alta tensión*. [en línea]. (2013). <<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/4910/tesis.pdf?sequence=1>>. [Consulta: 21 de junio de 2019].

APÉNDICE

Apéndice 1. Resumen de organizaciones que publican normas para la seguridad eléctrica.

Nombre	Siglas	País	Objetivo
National Fire Protection Association	NFPA	América	Estándares para la seguridad contra el fuego.
National Electrical Code	NEC	América	Estándares para la seguridad de personas y sus bienes contra riesgos de la electricidad.
Occupational Health and Safety Administration	OSHA	América	Promover la seguridad y salud de los trabajadores, mediante la aplicación de estándares.
American Petroleum Institute	API	América	Estándares de seguridad en instalaciones petroleras.
American Society for Testing and Materials	ASTM	América	Prueba de materiales.
American National Standards Institute	ANSI	América	Estándares industriales.
National Electrical Manufacturers Association	NEMA	América	Estándares para funcionamiento y confiabilidad de productos eléctricos.
Electrical and Electronic Engineers	IEEE	América	Estándares de seguridad en el área de eléctrica y electrónica.
Underwriters Laboratories	UL	América	Pruebas de laboratorio a los equipos eléctricos.
Instrument Society of America	ISA	América	Estándares para seguridad en la instalación de equipos eléctricos.

Continuación apéndice 1

Canadian Electrical Code	CEC	Canadá	Estándares de seguridad de personas y sus bienes contra riesgos de la electricidad.
Canadian Standards Association	CSA	Canadá	Estándares de seguridad.
International Electrotechnical Comision	IEC	Mundial	Estandarización internacional de estándares eléctricos y sus equipos.
European Electrotechnical Standards Committee	CEE	Europa	Estándares de seguridad eléctricos.

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo1. Colores y secciones normalizadas para cables según UNE 21123-4 o 5.

ELIGE LOS CABLES

Según norma UNE 21123-4 o 5:

Los cables deben ser NO propagadores de incendio y con emisión de humos y opacidad reducida

Respeta los colores normalizados según el tipo de conductor:

TIERRA	Verde - amarillo exclusivamente
NEUTRO	Azul exclusivamente
FASE	Todos los colores. Excepto rojo azul, verde-amarillo

Las secciones:

Utiliza las secciones adaptadas a los diferentes tipos de circuitos

SECCIÓN MÍNIMA	CIRCUITO	INTENSIDAD
1,5 mm ²	Iluminación	10A
2,5 mm ²	Tomas de uso general	16A
4 mm ²	Lavadora, lavavajillas y termo eléctrico	20A
6 mm ²	Cocina y horno, calefacción y aire acondicionado	25A

LA PLATAFORMA DE LA CONSTRUCCIÓN

Fuente: Todo sobre los colores de los cables eléctricos. [en línea]
<https://www.elblogdelaplataforma.es/2018/08/22/todo-sobre-los-colores-de-los-cables-electricos/>
[Consulta: 20 de junio de 2019].

Anexo 2. Ficha técnica de cable proporcionada por fabricante



Ficha Técnica

Conductor de Cable Desnudo de Cobre.

Descripción del producto.

Cable de cobre desnudo concéntrico normal en temple duro, semiduro y suave.

Especificaciones y características especiales.

- El material de los alambres es cobre de alta pureza con un contenido mínimo de 99,9% de cobre.
- Los conductores desnudos de cobre, están manufacturados bajo las normas:
- ASTM B8.
- NMX-J-012-ANCE: Cables de cobre con cableado concéntrico para usos eléctricos.

Aplicaciones.

- Es utilizado en redes de distribución aérea, para conexiones de neutro y puesta a tierra del sistema eléctrico.
- Empaque en carretes de madera todos los calibres.



1. Conductor de Cobre

Continuación anexo 2.



Información Técnica

Conductor de Cable Desnudo de Cobre.

Características dimensionales, mecánicas y eléctricas del cable de cobre

Descripción del conductor		Peso aprox. kg / km	Data			Semidura			Suave		
			CLASE AA			CLASE A			CLASE B		
			No. de hilos	Resistencia eléctrica CD a 20°C ohm / km	Diámetro total Nominal mm	No. de hilos	Resistencia eléctrica CD a 20°C ohm / km	Diámetro total Nominal mm	No. de hilos	Resistencia eléctrica CD a 20°C ohm / km	Diámetro total Nominal mm
AWG e kcmil	mm ²										
14	2.08	18.88	-	-	-	-	-	-	7	8.45	1.85
12	3.31	29.99	-	-	-	-	-	-	7	5.32	2.33
10	5.26	47.70	-	-	-	-	-	-	7	3.34	2.93
8	8.37	75.87	-	-	-	-	-	-	7	2.10	3.70
6	13.30	120.60	-	-	-	-	-	-	7	1.32	4.67
4	21.2	191.80	3	0.864	6.40	7	0.861	5.88	7	0.832	5.88
2	33.62	304.90	3	0.544	8.14	7	0.541	7.42	7	0.523	7.42
1	42.4	384.60	3	0.421	9.14	7	0.429	8.33	19	0.415	8.43
1/0	53.5	484.90	7	0.342	9.36	7	0.340	9.30	19	0.340	9.47
2/0	67.4	611.40	7	0.271	10.51	7	0.270	10.51	19	0.270	10.63
3/0	85	770.90	7	0.215	11.80	7	0.214	11.80	19	0.214	11.94
4/0	107	972.10	7	0.171	13.25	7	0.170	13.25	19	0.170	13.40
250	126.7	1149	12	0.144	15.24	19	0.144	14.57	37	0.144	14.62
300	152.0	1378	12	0.120	16.69	19	0.120	15.90	37	0.120	16.01
350	177.3	1608	12	0.103	18.02	19	0.103	17.24	37	0.103	17.29
400	203	1838	19	0.0903	18.43	19	0.0898	18.43	37	0.090	18.49
500	253.4	2298	19	0.0722	20.61	37	0.0710	20.67	37	0.072	20.67

Nota: La clase de cableado puede variar en función a los requerimientos propios del cliente.

OFICINAS COMERCIALES

CD. DE MÉXICO

Av. Fuentes de Satélite # 88
Col. Santa Cruz del Monte, Naucalpan,
Estado de México. C.P. 53110
+ 52 (55) 5321 3850
+ 52 (55) 5321 3865

JALISCO

Franz List N° 5531
Col. Residencial La Estancia
entre Johannes Brahms y Rafael Sanzio,
Zapopan, Jalisco 45030
+ 52 (33) 3629 4419
+ 52 (33) 3627 3471

MONTERREY

Entrada Estación Lagrange N° 301 local 62
Col. Unidad Laboral 66490
San Nicolás de los Garza, Nuevo León
+ 52 (81) 8105 0984
+ 52 (81) 8313 6083

MÉRIDA YUCATÁN

Calle 51 # 495 entre 56y 58
Col. Centro
Mérida, Yucatán 97000
+52 (999) 928 0009

PLANTA TETLA TLAXCALA

Blvd. Emilio Sánchez Piedras # 208
Cd. Industrial Xicohtécatl
Tetla Tlaxcala C.P. 90434
+52 (241) 418 4500

www.generalcable.com.mx

servicioclientes@generalcable.com.mx

5321 3850 01 800 427 6969



Fuente: Ficha técnica. Conductor de cable desnudo de cobre. [en línea]

https://www.iesacr.com/files/product/ficha/867_cabledecobredesnudo.pdf [Consulta: 15 de julio de 2019].

Anexo 3. Capacidad de corriente de conductores en bandeja y al aire libre

■ Código Eléctrico Nacional (NEC)

Tabla 310-16

Capacidad de corriente (en Amperes) permitida de conductores con aislamiento de 0-2000V, 60° a 90°C (140° a 194°F); no más de 3 conductores en una bandeja, cable o en entierro directo, en base a una temperatura ambiental de 30°C (86°F)

Tamaño del conductor AWG o KCMIL (MCM)	Rango de temperatura del conductor		
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)
18	-	-	14
16	-	-	18
14	20*	20*	25*
12	25*	25*	30*
10	30	35*	40*
8	40	50	55
6	55	65	75
4	70	85	95
3	85	100	110
2	95	115	130
1	110	130	150
1/0	125	150	170
2/0	145	175	195
3/0	165	200	225
4/0	195	230	260
250	215	255	290
300	240	285	320
350	260	310	350
400	280	355	380
500	320	380	430
600	355	420	475

Tabla 310-17

Capacidad de corriente (en Amperes) permitida de monoconductores con aislamiento de 0-2000V, al aire libre, en base a una temperatura ambiental de 30°C (86°F)

Tamaño del conductor AWG o KCMIL (MCM)	Rango de temperatura del conductor		
	60°C (140°F)	75°C (167°F)	90°C (194°F)
18	-	-	18
16	-	-	24
14	25*	30*	35*
12	30*	35*	40*
10	40*	50*	55*
8	60	70	80
6	80	95	105
4	105	125	140
3	120	145	165
2	140	170	190
1	165	195	220
1/0	195	230	260
2/0	225	265	300
3/0	260	310	350
4/0	300	360	405
250	340	405	455
300	375	445	505
350	420	505	570
400	455	545	615
500	515	620	700
600	575	690	780

* Nota: A menos que se permita específicamente en otra parte de este Código, la protección de sobrecorriente para los tipos de cable marcados con (*) no deberá exceder 15 amperes para el calibre 14 AWG, 20

Fuente: LAPP GROUP. Capacidad de corriente permitida de los conductores. [en línea] https://t3.lappcdn.com/fileadmin/DAM/Lapp_Mexico/Fichas_tecnicas/Codigo_Electrico_Nacional__NEC_.pdf [Consulta: 17 de septiembre de 2019].

Anexo 4. Factores de corrección de la intensidad máxima admisible para cables

INSTALACION AL AIRE.

A - Cables instalados al aire en ambiente de temperatura distinta de 40° C.

15° C	20° C	25° C	30° C	35° C	40° C	45° C	50° C	55° C	60° C
1.22	1.18	1.14	1.10	1.05	1.00	0.95	0.90	0.84	0.77

B - Cables instalados al aire en canales o galerías.

Se observa que en ciertas condiciones de instalación (canales, galerías, etc.) el calor disipado por los cables no puede difundirse libremente y provoca un aumento de la temperatura del aire que los circunda.

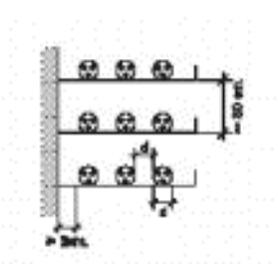
La magnitud de este aumento depende de muchos factores y debe ser determinado en cada caso. Para una valoración aproximada, debe tenerse presente que la sobre elevación de temperatura es del orden de 15° C. La intensidad admisible en las condiciones de régimen deberá, por lo tanto, reducirse con los coeficientes de la tabla precedente.

C - Cables trifásicos o ternas de cables instalados al aire y agrupados.

NOTA: Cuando la separación entre cables sea igual o mayor a 2 d no se precisa corrección.

1° - Cables trifásicos o ternas de cables unipolares tendidos sobre bandejas continuas, la circulación del aire es restringida, con una separación entre los cables igual a un diámetro **d**.

Distancia de la pared > = 2 cm.

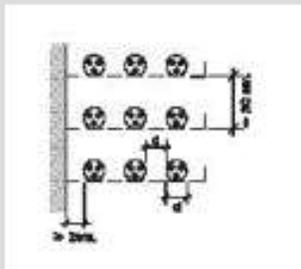


Nº de bandejas	Nº de cables o ternas				
	1	2	3	6	9
	factor de corrección				
1	0,95	0,90	0,88	0,85	0,84
2	0,90	0,85	0,83	0,81	0,80
3	0,88	0,83	0,81	0,79	0,78
6	0,86	0,81	0,79	0,77	0,76

Continuación anexo 4.

2º - Cables trifásicos o ternas de cables unipolares tendidos sobre bandejas perforadas con separación de cables igual a un diámetro d .

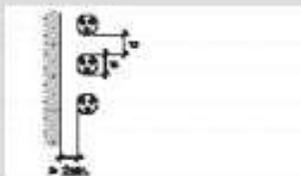
Distancia de la pared $> = 2$ cm.



Nº de bandejas	Nº de cables o ternas				
	1	2	3	6	9
	factor de corrección				
1	1	0,98	0,96	0,93	0,92
2	1	0,95	0,93	0,90	0,89
3	1	0,94	0,92	0,89	0,88
6	1	0,93	0,90	0,87	0,86

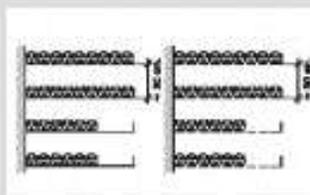
3º - Cables trifásicos o ternas de cables unipolares tendidos sobre soportes, con separación de cables igual a un diámetro d .

Distancia de la pared > 2 cm.



	Nº de cables o ternas				
	1	2	3	6	9
	factor de corrección				
1	0,93	0,90	0,87	0,86	

4º - Cables trifásicos o ternas de cables unipolares, en contacto entre sí y con la pared, tendidos sobre bandejas continuas o perforadas (la circulación del aire es restringida).



Nº de bandejas	Nº de cables o ternas			
	2	3	6	9
	factor de corrección			
1	0,84	0,80	0,75	0,73
2	0,80	0,76	0,71	0,69
3	0,78	0,74	0,70	0,68
6	0,76	0,72	0,68	0,66

Continuación anexo 4.

5º - Cables trifásicos o ternas de cables unipolares, en contacto entre sí, dispuestos sobre soportes.



Nº de cables o ternas				
1	2	3	6	9
factor de corrección				
0,95	0,78	0,73	0,68	0,66

6º - Agrupación de cables trifásicos o ternas de cables unipolares, con una separación inferior a un diámetro y superior a un cuarto de diámetro, suponiendo su instalación sobre bandeja perforada, es decir, de forma que el aire pueda circular libremente entre los cables.



Nº de cables colocados verticalmente	Nº de cables o ternas			
	1	2	3	>3
factor de corrección				
1	1,00	0,93	0,87	0,83
2	0,89	0,83	0,79	0,75
3	0,80	0,76	0,72	0,69
6	0,75	0,70	0,66	0,64

D - Cables expuestos directamente al sol.

El coeficiente de corrección que deberá aplicarse en un cable expuesto al sol es muy variable. Se recomienda 0,90.

INSTALACION ENTERRADA.

A - Cables directamente enterrados en zanja a diferentes profundidades.

Coefficientes de corrección de las intensidades admisibles de los cables en función de la profundidad de enterrado, partiendo de la profundidad tipo de la instalación (70, 100, 120 cm, etc).

Continuación anexo 4.

Profundidad de enterrado	70 cm	100 cm	120 cm	150 cm	200 cm
Coeficiente de corrección	1,00	0,97	0,95	0,93	0,91
	1,03	1,00	0,98	0,96	0,94
	1,05	1,02	1,00	0,98	0,96

B - Cables enterrados en una zanja en el interior de tubos o similares.

1º - Cables enterrados en una zanja, en el interior de tubos o similares, de corta longitud.

Se entiende por corta longitud, instalaciones tubulares que no superen longitudes de 15 metros (cruzamientos de caminos, carreteras etc.). En este caso, no será necesario aplicar un coeficiente corrector de intensidad.

Se recomienda que se instale un cable unipolar o tripolar por tubo. La relación del diámetro del tubo respecto al del cable será igual o superior a 2. Cuando sea necesario instalar una terna por tubo, la relación entre el diámetro del tubo y el diámetro aparente de la terna deberá ser igual o superior a 2.

2º - Cables enterrados en una zanja, en el interior de tubos o similares, de gran longitud.

El coeficiente de corrección que deberá aplicarse a estos cables, dependerá del tipo de agrupación empleado y variará para cada cable según esté colocado en un tubo central o en la periferia. Cada caso deberá estudiarse individualmente.

Se recomienda que se instale un cable unipolar o tripolar por tubo. La relación del diámetro del tubo respecto al del cable será igual o superior a 2. Cuando sea necesario instalar una terna por tubo, la relación entre el diámetro del tubo y el diámetro aparente de la terna deberá ser igual o superior a 2.

Como orientación, se recomienda aplicar un coeficiente corrector de 0,8 en el caso de una línea con cable tripolar o con una terna de cables unipolares en el interior de un mismo tubo. Si se trata de una línea con tres cables unipolares situados en sendos tubos, podrá aplicarse un coeficiente corrector de 0,9.

Se recuerdan los inconvenientes que puede presentar el empleo de un tubo de hierro o de otro material ferromagnético, para la protección de un cable unipolar, por los calentamientos que podrían presentarse debido a fenómenos de histéresis y otros, por lo que se evitará esta forma de instalación.

C - Cables directamente enterrados o en conducciones enterradas en terrenos de resistividad térmica distinta a 100°C - cm/W.

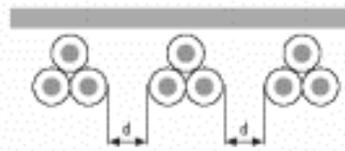
Resistividad térmica del terreno (en °C · cm/W)	Resistividad térmica del terreno (en °C · cm/W)	80	100	120	150	200	250
Coeficiente de corrección	unipolares	1,09	1,00	0,93	0,85	0,75	0,68
Coeficiente de corrección	tripolares	1,07	1,00	0,94	0,87	0,78	0,71

Continuación anexo 4.

D - Cables trifásicos o ternos de cables agrupados bajo tierra.



Cables situados con una separación aproximada de :	Nº de cables en la zanja							
	2	3	4	5	6	8	10	12
	factor de corrección							
En contacto	0,80	0,70	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50	0,47
A 7 cm (d=0,07 m)	0,85	0,75	0,68	0,64	0,60	0,56	0,53	0,50
A 15 cm (d=0,15 m)	0,87	0,77	0,72	0,68	0,66	0,62	0,59	0,57
A 20 cm (d=0,20 m)	0,88	0,79	0,74	0,70	0,68	0,64	0,62	0,60
A 25 cm (d=0,25 m)	0,89	0,80	0,76	0,72	0,70	0,66	0,64	0,62



E - Cables enterrados con temperatura distinta de 25°C

10°C	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C	40°C	45°C	50°C
1.11	1.07	1.04	1.00	0.96	0.92	0.88	0.83	0.78

Fuente: Cables para media tensión. Catálogo general. (2002) [en línea]
https://ar.prysmiangroup.com/sites/default/files/atoms/files/2MT_1_1_Catalogo_media_tension_E2.pdf [Consultado el 17 de septiembre de 2019].

Anexo 5. Artículos NEC: Áreas clase I, clase II, clase III y zonas

500-5. Lugares Clase I. Los lugares Clase I son aquéllos en los que hay o puede haber en el aire gases o vapores inflamables en cantidad suficiente para producir mezclas explosivas o combustibles. Los lugares Clase I son aquellos incluidos en los apartados (a) y (b) que aparecen a continuación:

(a) **Clase I, División 1.** Un lugar Clase I División 1 es aquel (1) en el que, en condiciones normales de funcionamiento, puede haber concentraciones combustibles de gases o vapores inflamables; (2) en el que frecuentemente, debido a operaciones de reparación o mantenimiento o fugas, puede haber concentraciones combustibles de dichos gases o vapores; o (3) en el que la rotura o el mal funcionamiento de equipos o procesos podría liberar concentraciones combustibles de gases o vapores inflamables y simultáneamente podría ocurrir una avería en el equipo eléctrico.

(NOTA 1): Esta clasificación, por lo general, incluye los lugares en los que se transfieren de un recipiente a otro líquidos volátiles inflamables o gases licuados inflamables; los interiores de las cabinas de pulverización de pinturas y las áreas cercanas a donde se realizan operaciones de pintura y pulverización en las que es frecuente el uso de solventes volátiles inflamables; los lugares que contienen tanques abiertos o recipientes con líquidos volátiles inflamables; las cámaras de secado o compartimentos para la evaporación de solventes inflamables; los lugares de extracción de aceites y grasas que contengan equipos que utilicen solventes volátiles inflamables; las áreas de las plantas de limpieza y tinte que utilicen líquidos inflamables; los cuartos de los generadores de gas y otras zonas de las plantas de producción o procesamiento de gas en las que se puedan producir fugas de gases inflamables; los cuartos de bombas para gases inflamables o líquidos volátiles inflamables inadecuadamente ventilados; los interiores de frigoríficos y congeladores en los que se guarden materiales volátiles inflamables en recipientes abiertos, ligeramente tapados o que se puedan romper con facilidad; y todos los demás lugares donde exista la probabilidad de que se produzcan concentraciones combustibles de vapores o gases inflamables durante su funcionamiento normal.

(NOTA 2): En algunos lugares de la División 1 pueden estar presentes concentraciones inflamables de gases o vapores inflamables de modo continuo o durante largos períodos. Por ejemplo, en el interior de recintos mal ventilados que contengan instrumentos que normalmente introduzcan gases o vapores inflamables hacia el interior del recinto, el interior de tanques ventilados que contengan líquidos volátiles inflamables, el área entre la parte interna y externa de la tapa de tanques de techo flotante que contengan fluidos volátiles inflamables, áreas mal ventiladas de los lugares donde se realizan operaciones de

pulverización de pintura o de revestimiento con fluidos volátiles inflamables y el interior de los conductos de salida que se utilizan para airear los lugares donde pueda haber concentraciones de gases o vapores inflamables. La experiencia ha demostrado que es prudente (a) evitar la instalación de instrumentos o equipos eléctricos en estas áreas específicas o (b) cuando no se pueda evitar porque resulten esenciales para los procesos y no sea factible hacerlo en otros lugares (véase Artículo 500-2, Nota 1), utilizar equipos o instrumentos eléctricos aprobados para esa aplicación específica o que sean sistemas de seguridad intrínseca, como se describe en la Sección 504.

(b) **Clase I, División 2.** Un lugar Clase I División 2 es un lugar (1) en el que se manipulan, procesan o utilizan líquidos volátiles inflamables o gases inflamables pero en el cual los líquidos, vapores o gases están normalmente en contenedores cerrados o en sistemas cerrados de los que pueden salir sólo por rotura accidental o avería de dichos contenedores o sistemas o en caso de operación anormal de los equipos; o (2) en el que normalmente se evita la concentración combustible de gases o vapores mediante ventilación mecánica positiva y el cual puede convertirse en peligroso por la falla o funcionamiento anormal del equipo de ventilación; o (3) que esté al lado de un lugar Clase I División 1 y en consecuencia puedan llegar concentraciones combustibles de gases o vapores, excepto si dicha posibilidad se evita mediante un sistema de ventilación de presión positiva desde una fuente de aire limpio y se toman medidas de seguridad eficaces contra las posibles fallas en el sistema de ventilación.

(NOTA 1): Esta clasificación, por lo general, incluye los lugares en los que se utilizan líquidos volátiles inflamables o gases o vapores inflamables pero que, a juicio de la autoridad competente, sólo resultarían peligrosos en caso de accidente o de alguna condición de funcionamiento anormal. Los factores que hay que tener en cuenta para establecer la clasificación y dimensiones de dichos locales son la cantidad de materiales inflamables que podrían escapar en caso de accidente, la adecuación del equipo de ventilación, la superficie total afectada y el historial de incendios o explosiones de esa industria o de ese negocio en particular.

(NOTA 2): Las tuberías sin válvulas, mirillas, medidores y dispositivos similares generalmente no dan lugar a situaciones peligrosas, aunque se utilicen para líquidos o gases inflamables. Los lugares utilizados para el almacenamiento de líquidos inflamables o gases licuados o comprimidos en depósitos herméticos, no se consideran normalmente lugares peligrosos si no están sometidos a otras condiciones de riesgo.

500-6. Lugares Clase II. Un lugar Clase II es el que resulta peligroso por la presencia de polvos combustibles.

Continuación anexo 5.

Los lugares Clase II incluirán a aquellos especificados en los apartados (a) y (b) que aparecen a continuación:

(a) **Clase II, División 1.** Un lugar de Clase II, División 1 es un lugar (1) en el cual, en condiciones normales de funcionamiento, hay en el aire polvo combustible en cantidad suficiente para producir mezclas explosivas o combustibles; o (2) en el cual una falla mecánica o el funcionamiento anormal de la maquinaria o equipos puede hacer que se produzcan dichas mezclas explosivas o combustibles y podría además proporcionar una fuente de ignición debido a la falla simultánea de los equipos eléctricos, de los dispositivos de protección o por otras causas; o (3) en el cual puede haber polvos combustibles de naturaleza conductiva en cantidades peligrosas.

(NOTA): Los polvos combustibles que sean eléctricamente no conductivos son los que se producen por la manipulación y proceso de cereales y sus derivados, azúcar y cacao en polvo, huevo seco y leche en polvo, especias en polvo, almidones y pastas, papas y harina de madera, harinas de granos y semillas, heno seco y otras materias orgánicas que puedan producir polvos combustibles al procesarlas o manipularlas. A efectos de la clasificación, sólo se consideran polvos conductivos eléctricamente los del grupo E. Son especialmente peligrosos los polvos que contienen magnesio o aluminio, por lo que se deben tomar máximas precauciones para evitar su combustión y explosión.

(b) **Clase II, División 2.** Un lugar de Clase II, División 2 es aquél en el que, normalmente, no hay en el aire polvos combustibles en cantidad suficiente para producir mezclas explosivas o combustibles y en el que la acumulación de polvo normalmente no es suficiente para impedir el funcionamiento normal del equipo eléctrico u otros equipos; pero en el aire puede haber polvo combustible en suspensión como consecuencia de un esporádico mal funcionamiento de los equipos de manejo o de procesamiento y en los que la acumulación de polvo combustible sobre, dentro o en la cercanía de los equipos eléctricos puede ser suficiente para impedir la disipación de calor de dichos equipos o puede arder por funcionamiento anormal o por falla de los equipos eléctricos.

(NOTA 1): Los factores que hay que tener en cuenta para establecer la clasificación de un lugar y que pueden hacer innecesaria esa clasificación son, entre otros, la cantidad de polvo combustible que puede estar presente y la adecuación de los sistemas de eliminación del polvo.

(NOTA 2): Cuando algunos productos, como las semillas, se manipulen de modo que produzcan poca cantidad de polvo, la cantidad de polvo depositado puede no justificar la clasificación del lugar.

500-7. Lugares Clase III. Los lugares Clase III son aquellos que resultan peligrosos por la presencia de fibras o partículas fácilmente combustibles, pero en los que no es probable que tales fibras o partículas estén en suspensión en el aire en cantidad suficiente para producir mezclas combustibles. Los lugares Clase III incluyen aquellos especificados en los apartados (a) y (b) que aparecen a continuación:

(a) **Clase III, División 1.** Un lugar de Clase III, División 1 es un lugar en el que se manejan, fabrican o usan fibras fácilmente combustibles o materiales que producen partículas combustibles.

(NOTA 1): Esta clasificación incluye por lo general algunas áreas de las fábricas de rayón, algodón y otros textiles; plantas de fabricación y procesamiento de fibras combustibles; fábricas desmotadoras de algodón y de procesamiento; plantas de procesamiento del lino; fábricas de vestidos; plantas de procesamiento de la madera y los establecimientos e industrias en los que se producen procesos o circunstancias peligrosas similares.

(NOTA 2): Las fibras y partículas fácilmente combustibles son, entre otras, las de rayón, algodón (incluidas las pelusas y la borra), sisal o henequén, yute, cáñamo, estopa, fibra de coco, malacuenda, borra de ceiba, musgo negro, viruta de madera y otros materiales de naturaleza similar.

(b) **Clase III, División 2.** Un lugar de Clase III, División 2 es un lugar en el que se almacenan o manejan fibras fácilmente combustibles.

Excepción: En los procesos de fabricación.

Continuación anexo 5.

SECCIÓN 505- CLASE I, ZONA 0, 1 y 2

505-2. Requisitos Generales. Las reglas generales de este Código aplicarán al cableado y equipo eléctrico en lugares clasificados como Clase I, Zona 0, Zona 1 o Zona 2.

Excepción: Lo que modifique este Artículo.

505-5. Grupo y Clasificación. Para propósitos de ensayos, aprobación y clasificación de áreas, las distintas mezclas de aire (no enriquecidas con oxígeno) se agruparán en la forma siguiente:

(NOTA): Los aparatos eléctricos del Grupo I son para ser usados en minas subterráneas. Véase la Sección 90-2(b)(2).

El Grupo II está subdividido de acuerdo a la naturaleza de la atmósfera gaseosa, de la manera siguiente:

(a) **Grupo IIC.** Atmósferas que contienen acetileno, hidrógeno, o gases o vapores de riesgo equivalente.

(NOTA): Tal agrupación equivale a la Clase I, Grupo A y B, como se describen en la Sección 500-3(a)(1) y (a)(2).

(b) **Grupo IIB.** Atmósferas que contienen acetaldehído, etileno o gases o vapor de riesgo equivalente.

(NOTA): Tal agrupación es equivalente a la Clase I, Grupo C, como se describe en la Sección 500-3(a)(3)

(c) **Grupo IIA.** Atmósfera que contienen acetona, amoníaco, alcohol etílico, gasolina, metano, propano o gases o vapores de riesgo equivalente.

(NOTA 1): Tal agrupación es equivalente a la Clase I, Grupo D, como se describe en la Sección 500-3(a)(4).

(NOTA 2): La subdivisión de los gases descrita en (a), (b) y (c) está basada en la separación segura experimental máxima, la corriente mínima de ignición o ambas. El aparato de ensayo para determinar la separación (gap) segura experimental máxima se describe en la publicación de IEC 79-1A (1975) y en el Informe Técnico de UL N° 58 (1993).

(NOTA 3): La clasificación de mezclas de gases o vapores de acuerdo con sus separaciones seguras experimentales máximas y las corrientes mínimas de ignición se describen en la publicación de IEC 79-12 (1978).

(NOTA 4): Es necesario que se observe cuidadosamente el significado de las distintas marcaciones de los equipos y las clasificaciones del Grupo II, para evitar confusión con la Clase I, Divisiones 1 y 2, Grupos A, B, C y D.

505-7. Clasificación por Zonas. La clasificación por zonas será de acuerdo con lo siguiente:

(a) **Clase I, Zona 0.** Un lugar Clase I, Zona 0, es un lugar (1) en el cual concentraciones combustibles de gases o vapores inflamables están presentes continuamente; ó (2) en el cual las concentraciones combustibles de gases o vapores inflamables están presentes por largos períodos de tiempo

(NOTA 1): Como guía para determinar cuando los gases inflamables están presentes continuamente, por largos períodos o en condiciones normales, véase *Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations of Petroleum Facilities*, API RP 500-1991; *Electrical Apparatus for Explosive Gas Atmospheres, Classification of Hazardous Areas*, IEC 79-10 y *Institute of Petroleum Area Classification Code for Petroleum Installations*, IP 15.

(NOTA 2): Esta clasificación incluye lugares en el interior de tanques o recipientes ventilados que contengan líquidos inflamables volátiles; el interior de cabinas mal ventiladas, para aplicar revestimientos o para aplicación de pintura por pulverización donde se usen solventes inflamables volátiles; la parte entre las secciones interna y externa del techo de un tanque de techo flotante que contenga líquidos inflamables volátiles; el interior de depósitos, fosos y recipientes abiertos que contengan líquidos inflamables volátiles; el interior de un ducto de extracción usado para ventilar las concentraciones inflamables de gases o vapores; y el interior de cabinas mal ventiladas, que normalmente contengan instrumentos de ventilación para uso o análisis de fluidos inflamables y que ventilen hacia el interior de la cabina.

(NOTA 3): No se recomienda instalar equipo eléctrico en lugares Zona 0, salvo cuando el equipo sea esencial para el proceso o cuando no sea posible la instalación en otro lugar. (Véase la Sección 500-2). En caso que sea necesaria la instalación de sistemas eléctricos en un lugar Zona 0, se recomienda instalar sistemas de seguridad intrínseca, tal como se describe en la Sección 504.

(NOTA 4): Se considera operación normal cuando el equipo de planta opera dentro de sus parámetros de diseño. Las fugas menores de material inflamable puede considerarse parte del funcionamiento normal. Estas fugas menores incluye aquellas que se producen en los sellos que necesitan humedecerse con el fluido bombeado, manejado o procesado. No se consideran circunstancias de funcionamiento normal las fallas que implican reparaciones o paradas (como por ejemplo, la ruptura de los sellos de la bomba y de las empacaduras de la brida, o los derrames causados accidentalmente).

Continuación anexo 5.

(b) **Clase I, Zona 1.** Un lugar Clase I, Zona 1 es un lugar: (1) en el cual es probable que existan, bajo condiciones normales de operación, concentraciones de gases o vapores inflamables; ó (2) en el cual pueden existir frecuentemente concentraciones de gases o vapores inflamables, debido a trabajos de reparación o mantenimiento, o debido a fugas; ó (3) en el cual los equipos operados o los procesos que se llevan a cabo son de tal naturaleza que roturas o fallas en el equipo podrían liberar concentraciones combustibles de gases o vapores inflamables y además causar simultáneamente una falla en el equipo eléctrico, de tal modo que se convierta en una fuente de ignición; ó (4) que esté adyacente a un lugar Clase I, Zona 0, desde el cual las concentraciones de vapores podrían pasar, salvo que se evite dicho paso mediante una adecuada ventilación de presión positiva, desde una fuente de aire limpio y se tomen efectivas medidas de seguridad para evitar una falla del sistema de ventilación.

(NOTA): Por lo general, esta clasificación incluye lugares en los que los líquidos volátiles inflamables o gases licuados inflamables se transfieren de un recipiente a otro; áreas en las cercanías de operaciones de pintura y pulverización de pintura en las que se usan solventes inflamables; cámaras de secado o compartimentos para la evaporación de solventes inflamables; lugares adecuadamente ventilados que contengan equipo de extracción de aceites y grasas que utilicen solventes volátiles inflamables; las áreas de las plantas de limpieza y tinte que utilicen líquidos inflamables; los cuartos de los generadores de gas adecuadamente ventilados y otras zonas de las plantas de producción o procesamiento de gas en las que se puedan producir fugas de gases inflamables; los cuartos de bombas para gases inflamables o líquidos volátiles inflamables inadecuadamente ventilados; los interiores de frigoríficos y congeladores en los que se guarden materiales volátiles inflamables en recipientes abiertos, ligeramente tapados o que se puedan romper con facilidad; y todos los demás lugares donde exista la probabilidad de que se produzcan concentraciones combustibles de vapores o gases inflamables durante su funcionamiento normal, pero que no estén clasificados como Zona 0.

(c) **Clase I, Zona 2.** Un lugar Clase I, Zona 2 es un lugar (1) en el cual no es probable que existan concentraciones inflamables de gases o vapores en operación normal, y si ello ocurriera sólo sería por un corto período; ó (2) en el cual se manejan, procesan o usan líquidos inflamables volátiles, gases o vapores inflamables, sin embargo, estos líquidos, gases o vapores, por lo general se encuentran confinados en recipientes cerrados o sistemas cerrados de los cuales sólo pueden escaparse en caso de roturas accidentales o fallas del recipiente o sistema, o también como resultado de mal funcionamiento del equipo con el cual se procesan o se manejan los líquidos o gases; ó (3) en el cual, por lo

general, se evitan las concentraciones combustibles de gases o vapores inflamables mediante ventilación mecánica positiva, pero dichas concentraciones pueden llegar a ser peligrosas por falla o por mal funcionamiento del equipo de ventilación; ó (4) que esté adyacente a un lugar Clase I, Zona 1 desde el cual pueden provenir concentraciones inflamables de gases o vapores, salvo que esto se evite mediante un sistema adecuado de ventilación de presión positiva desde una fuente de aire limpio y se prevean resguardos eficaces contra las fallas del sistema de ventilación

(NOTA): La clasificación de Zona 2 generalmente incluye lugares en los cuales se usan líquidos inflamables volátiles o gases o vapores inflamables, y los cuales podrían ser peligrosos sólo en caso de un accidente o de alguna condición de funcionamiento inusual.

Fuente: NEC. Artículos (500-5, 500-6, 500-7 y 505) [Consulta: 20 de agosto de 2019].

Anexo 6. Equipo de seguridad intrínseca

SECCIÓN 504- SISTEMAS DE SEGURIDAD INTRÍNSECA

504-1. Alcance. Esta Sección contempla la instalación de aparatos, cableado y sistemas de seguridad intrínseca en lugares Clase I, II y III.

NOTA: Para más información, véase *Installation of Intrinsically Safe Instrument Systems in Class I Hazardous Locations*, ANS/ISA RP 12.6-1987.

504-2. Definiciones. Para los propósitos de esta Sección:

Aparato Asociado: Es aquel en el cual no es necesario que los circuitos sean de seguridad intrínseca por sí mismos, sin embargo, afecta la energía en los circuitos de seguridad intrínseca y es responsable de mantener la seguridad intrínseca. Los aparatos asociados pueden ser:

1. Aparatos eléctricos que tienen una protección tipo alternativo para uso en los lugares peligrosos (clasificados) apropiados, o
2. Aparatos eléctricos sin la protección antes mencionada que no deben usarse en lugares peligrosos (clasificados).

NOTA 1: Los aparatos asociados cuentan con conexiones identificadas como de seguridad intrínseca para aparatos de seguridad intrínseca y además pueden tener conexiones para aparatos que no sean de seguridad intrínseca.

NOTA 2: Una barrera de seguridad intrínseca, la cual es una red diseñada para limitar la energía (tensión y corriente) a disposición del circuito protegido en el lugar clasificado, bajo condiciones de falla específica, es un ejemplo de aparato asociado.

Plano de Control. Un plano u otro documento suministrado por el fabricante del aparato de seguridad intrínseca o aparatos asociados que detalle las interconexiones permitidas entre el aparato de seguridad intrínseca y el asociado.

Circuitos de Seguridad Intrínseca Diferentes. Los circuitos de seguridad intrínseca diferentes son circuitos de seguridad intrínseca en los cuales las posibles interconexiones no han sido evaluadas y aprobadas como de seguridad intrínseca.

Aparatos de Seguridad Intrínseca. Aparatos en los cuales todos los circuitos son de seguridad intrínseca.

Circuito de Seguridad Intrínseca. Un circuito en el cual cualquier chispa o efecto térmico no es capaz de provocar la ignición de una mezcla de material inflamable o combustible, en el aire, en condiciones de ensayo determinadas.

NOTA: Las condiciones de prueba se describen en *Standard for Safety, Intrinsically Safe Apparatus and Associated Apparatus for Use in Class I, II, and III,*

Division 1, Hazardous (Classified) Locations, ANSI/ UL 913-1988.

Sistema de Seguridad Intrínseca. Un conjunto de aparatos de seguridad intrínseca interconectados, aparatos asociados y cables de interconexión en que aquellas partes del sistema que puedan usarse en lugares peligrosos (clasificados) son circuitos de seguridad intrínseca.

NOTA: Un sistema de seguridad intrínseca puede incluir más de un circuito de seguridad intrínseca.

Aparato Simple. Un dispositivo que no genera ni almacena más de 1,2 Volt, 0,1 Ampere, 25 miliwatt o 20 microjoules.

NOTA: Ejemplos: suiches, termopares, diodos emisores de luz (LEDs), conectores y dispositivos de resistencias para medir temperatura (RTDs).

504-3. Aplicación de Otras Secciones. Con excepción de lo modificado por esta Sección, todas las demás Secciones de este Código aplicarán.

504-4. Aprobación de Equipos. Todos los aparatos de seguridad intrínseca y aparatos asociados deberán ser aprobados.

Excepción. Los aparatos simples, descritos en el plano de control, no requieren de aprobación.

504-10. Instalación de Equipos.

(a) **Plano de Control.** Los aparatos de seguridad intrínseca, aparatos asociados y demás equipos se instalarán de acuerdo con el (los) plano (s) de control.

Excepción. Un aparato simple que no interconecte circuitos de seguridad intrínseca.

NOTA: La identificación del plano de control se encontrará marcada sobre el aparato.

(b) **Ubicación.** Se permitirá que los aparatos de seguridad intrínseca y los asociados sean instalados en cualquier lugar peligroso (clasificado), para el cual hayan sido aprobados.

NOTA: Los aparatos asociados pueden instalarse en lugares peligrosos (clasificados), si están protegidos por otros medios permitidos por las Secciones 501 a 503.

Se permitirán las cubiertas de uso general para aparatos de seguridad intrínseca.

504-20. Métodos de Cableado. Se permitirá la instalación de aparatos y cableado de seguridad intrínseca mediante cualquiera de los métodos de cableado adecuados para

Continuación anexo 6.

lugares no clasificados, incluyendo el Capítulo 7 y el Capítulo 8. El sellado será conforme al Artículo 504-70 y la separación conforme al Artículo 504-30.

504-30. Separación de Conductores De Seguridad Intrínseca.

(a) *Respecto a Conductores de Circuitos que no sean de Seguridad Intrínseca.*

(1) **Cableado a la Vista.** Los conductores y cables de circuitos de seguridad intrínseca que no se encuentren colocados en canalizaciones o bandejas para cables deberán fijarse y además separarse al menos 50 mm de los conductores y cables de circuitos que no sean de seguridad intrínseca.

Excepción: Cuando (1) todos los conductores del circuito de seguridad intrínseca sean cables del tipo MI o MC ó (2) todos los conductores del circuito que no sea de seguridad intrínseca estén en canalizaciones o sean cables del tipo MI o MC cuya cubierta o revestimiento es capaz de soportar la corriente de falla a tierra.

(2) **En Canalizaciones, Bandejas para Cables y Cables.** Los conductores de circuitos de seguridad intrínseca no se colocarán en canalizaciones, bandeja para cables o cables junto con conductores de circuitos que no son de seguridad intrínseca.

Excepción N°1: Cuando los conductores de los circuitos de seguridad intrínseca estén fijados y separados de los conductores de los circuitos que no son de seguridad intrínseca por una distancia de por lo menos 50 mm, o por un tabique metálico puesto a tierra o un tabique aislante aprobado.

NOTA 1: 50 mm es igual a 2 pulgadas aproximadamente.

NOTA 2: Por lo general, se consideran aceptables tabiques de hoja metálica N° 20, de un espesor de 912 micrómetros o menos.

Excepción N°2: Cuando (1) todos los conductores del circuito de seguridad intrínseca o (2) todos los conductores del circuito que no es de seguridad intrínseca estén en cubiertas metálicas o con revestimientos metálicos puestos a tierra, dichas cubiertas o revestimientos pueden conducir la corriente de falla a tierra.

NOTA: Normalmente, se consideran aceptables aquellos cables que cumplen con los requisitos de la Sección 330 y la 334.

(3) **Dentro de Cubiertas.**

a. Los conductores de los circuitos de seguridad intrínseca estarán separados 50 mm, por lo menos, de los conductores de los circuitos que no son de seguridad intrínseca, o como se especifica en el Artículo 504-30 (a)(2).

b. Todos los conductores estarán fijados o asegurados de tal manera que cualquier conductor que pudiera aflojarse de un terminal no llegará a estar en contacto con otro terminal.

NOTA 1: El uso de compartimientos de cableado separados para los terminales de seguridad intrínseca y los que no son de seguridad intrínseca es el mejor método para cumplir con este requerimiento.

NOTA 2: Para asegurar la separación requerida del cableado se pueden utilizar barreras físicas, tales como los tabiques metálicos puestos a tierra o tabiques de aislamiento aprobados o ductos de cableado aprobados para acceso restringido separados de los otros ductos al menos por 20 mm.

(b) **Respecto a Conductores de Circuitos De Seguridad Intrínseca Diferentes.** Los circuitos de seguridad intrínseca diferentes estarán en cables separados o estarán separados uno de otro mediante uno de los siguientes medios:

(1) Los conductores de cada circuito estarán dentro de una pantalla metálica puesta a tierra.

(2) Los conductores de cada circuito tendrán un aislamiento de un grosor mínimo de 254 micrómetros.

Excepción: Salvo que se apruebe de otra manera.

504-50. Puesta a Tierra.

(a) **Aparatos De Seguridad Intrínseca, Aparatos Asociados y Canalizaciones.** Los aparatos de seguridad intrínseca, aparatos asociados, pantallas de cables, cubiertas y canalizaciones que sean metálicas, deberán estar puestos a tierra.

NOTA: Puentes de unión adicionales a los electrodos de puesta a tierra pueden necesitarse para algunos aparatos asociados, por ejemplo, barreras de diodo zener, en caso que así se especifique en los planos de control. Véase *Installation of Intrinsically Safe Instrument System in Class I Hazardous Locations*. ANSI/ISA RP12.6 1987.

(b) **Conexión a Electrodo de Puesta a Tierra.** Siempre que sea necesaria una conexión al electrodo de puesta a tierra, este último deberá cumplir con lo especificado en el Artículo 250-81(a), (b), (c) y (d).

Anexo 7. Requisitos mínimos de profundidad de cable enterrados

Tabla 710-4(b). Requisitos mínimos de profundidad de los cables enterrados (en centímetros) (1)

Voltaje del circuito	Cables directamente enterrados	Tubería rígida no metálica aprobada para colocarse directamente enterrada (2)	Tubería metálica rígida y tubería metálica intermedia
De 600 V hasta 22 kV	75	45	15
De 22 kV a 40 kV	90	60	15
De más de 40 kV	105	75	15

NOTAS DE LA TABLA:

⁽¹⁾ Se define profundidad como la distancia más corta en cm, medida entre un punto situado en la superficie más alta de cualquier cable, conduit, conductor u otra canalización que se encuentren directamente enterrados, y la parte superior de la superficie del suelo, bien sea piso acabado, concreto o cubierta similares.

⁽²⁾ Estas tuberías deben estar aprobadas por un organismo calificado como adecuado para estar directamente enterradas. Todos los demás sistemas no metálicos requerirán una capa de concreto de 5 cm por encima de la tubería además de la profundidad indicada en la tabla.

Fuente: Canalizaciones subterráneas de media y baja tensión. [en línea]

<https://www.asturias.es/Asturias/DOCUMENTOS%20EN%20PDF/PDF%20DE%20TEMAS/ET5012.pdf> [Consulta: 1 de septiembre].