



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

**CONDUCTORES DE ALUMINIO COMO ALTERNATIVA AL COBRE EN EL USO DE  
INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN, Y ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES  
MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DEL CONDUCTOR, CONSIDERACIONES DE FIABILIDAD  
ECONÓMICA Y CON EL AMBIENTE**

**Julio Rodolfo Sandoval Monroy**

Asesorado por el Ing. Pedro Alejandro Mac Donald Ducuron

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CONDUCTORES DE ALUMINIO COMO ALTERNATIVA AL COBRE EN EL USO DE  
INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN, Y ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES  
MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DEL CONDUCTOR, CONSIDERACIONES DE FIABILIDAD  
ECONÓMICA Y CON EL AMBIENTE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JULIO RODOLFO SANDOVAL MONROY**

ASESORADO POR EL ING. PEDRO ALEJANDRO MAC DONALD DUCURON

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO ELECTRICISTA**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

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. Kevin Vladimir Armando Cruz
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Julio Ismael González Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
EXAMINADOR	Ing. José Luis Herrera Gálvez
EXAMINADOR	Ing. Ángel Jesús García Martínez
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier González 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:

**CONDUCTORES DE ALUMINIO COMO ALTERNATIVA AL COBRE EN EL USO DE  
INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN, Y ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES  
MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DEL CONDUCTOR, CONSIDERACIONES DE FIABILIDAD  
ECONÓMICA Y CON EL AMBIENTE**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha cinco de octubre 2020.

**Julio Rodolfo Sandoval Monroy**

Guatemala 24 de febrero 2021

Ing. Fernando Alfredo Moscoso  
Coordinador de Área de Potencia  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería, USAC.

Ingeniero Moscoso:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: **“CONDUCTORES DE ALUMINIO COMO ALTERNATIVA AL COBRE EN EL USO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN, Y ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DEL CONDUCTOR, CONSIDERACIONES DE FIABILIDAD ECONÓMICA Y CON EL AMBIENTE”**, desarrollado por el estudiante Julio Rodolfo Sandoval Monroy con carné 8816240, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos por lo que el autor y mi persona somos responsables del contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

**INGENIERO  
PEDRO A.  
MAC DONALD D.  
COLEGIADO No. 3208**

Ing. Pedro Alejandro Mac Donald Ducuron

ASESOR

Colegiado No 3208



Guatemala, 10 de mayo de 2021

Ingeniero  
Armando Alonso Rivera Carrillo  
Director  
Escuela de Ingeniero Mecánica Eléctrica  
Facultad de Ingeniería USAC

Ingeniero Rivera:

Por este medio, con base a lo indicado en el REGLAMENTO DE TRABAJOS DE GRADUACION vigente, tengo a bien proponer la aprobación del trabajo de graduación titulado:

**CONDUCTORES DE ALUMINIO COMO ALTERNATIVA AL COBRE EN EL USO DE  
INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN, Y ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES  
MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DEL CONDUCTOR, CONSIDERACIONES DE FIABILIDAD  
ECONÓMICA Y CON EL AMBIENTE**

del estudiante JULIO RODOLFO SANDOVAL MONROY, habiendo cumplido con los requisitos establecidos en el referido reglamento y conforme la aprobación del asesor.

Sin otro particular

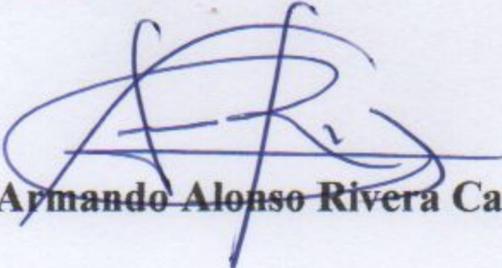
Atentamente,  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

  
Ingeniero Fernando Alfredo Moscoso Lira  
Coordinador Area de Potencia  
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica.



REF. EIME 126. 2021.

**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; JULIO RODOLFO SANDOVAL MONROY titulado: CONDUCTORES DE ALUMINIO COMO ALTERNATIVA AL COBRE EN EL USO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN, Y ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DEL CONDUCTOR, CONSIDERACIONES DE FIABILIDAD ECONÓMICA Y CON EL AMBIENTE, procede a la autorización del mismo.**

  
**Ing. Armando Alonso Rivera Carrillo**



**GUATEMALA, 31 DE AGOSTO 2,021.**



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato  
Facultad de Ingeniería  
24189101 - 24189102  
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG. 613-2021

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: **CONDUCTORES DE ALUMINIO COMO ALTERNATIVA AL COBRE EN EL USO DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN, Y ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y ELÉCTRICAS DEL CONDUCTOR, CONSIDERACIONES DE FIABILIDAD ECONÓMICA Y CON EL AMBIENTE,** presentado por el estudiante universitario: **Julio Rodolfo Sandoval Monroy**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, noviembre de 2021

AACE/cc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Creador de la vida.
<b>Mi madre</b>	Gloria Monroy Phedoglio, por su amor, dedicación, apoyo y confianza.
<b>Mi esposa</b>	Mayra Sierra Morales de Sandoval, por su apoyo, confianza y amor.
<b>Mis hijos</b>	José Manuel, Fernanda, Teresa y Belén, por ser mi inspiración y motivación.
<b>Mis hermanos</b>	César, Elly, Roberto y Claudia, por todos los lazos que nos unen.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Facultad de Ingeniería**

Por la oportunidad que me brindó para formarme como profesional

**A mi asesor**

Ing. Pedro Mac Donald Ducuron, por su apoyo desinteresado en la elaboración de este trabajo

**A mis amigos**

Álvaro José, Carlos Roberto, Héctor Alfredo, Marco Vinicio, Miguel Estuardo y Rafael Orlando, por todos los momentos vividos durante la carrera, y por el apoyo que me brindaron.



2.4.2.	Restricciones térmicas .....	34
2.5.	Los efectos de la expansión y contracción térmica .....	36
2.6.	Reacción al medio ambiente .....	37
2.6.1.	Tipos de corrosión.....	37
2.6.2.	Corrosión galvánica.....	40
2.6.3.	Contribución de la producción de aluminio a la contaminación ambiental.....	41
3.	ALUMINIO Y COBRE.....	45
3.1.	Comparativo entre aluminio y cobre.....	45
3.1.1.	Propiedades del cobre y aluminio .....	47
3.1.1.1.	Peso y capacidad eléctrica del cobre y aluminio .....	48
3.1.1.2.	Otras Consideraciones al comparar aluminio y cobre (Al vs Cu).....	49
3.1.1.3.	Relación peso volumen del aluminio con el cobre.....	51
4.	CONDUCTORES DE ALUMINIO.....	53
4.1.	Consideraciones por tomar en cuenta con los conductores de aluminio para baja tensión .....	53
4.1.1.	Problemas en las instalaciones con conductores de aluminio .....	53
4.1.2.	Consideraciones por tomar en cuenta para que la instalación sea confiable. ....	55
4.1.2.1.	Conexiones .....	56
4.1.2.2.	Problemas comunes con los conectores y/o terminales.....	59

4.1.3.	Condiciones y materiales por considerar para instalaciones eléctricas efectuadas con conductores de aluminio.....	61
4.1.3.1.	Corrosión en conductores de aluminio y cobre.....	62
4.1.3.1.1.	Corrosión por exposición al oxígeno... ..	62
4.1.3.1.2.	Corrosión galvánica entre cobre y aluminio. ....	63
4.1.3.2.	Consecuencias de la corrosión.....	63
4.1.3.3.	Corrosión: aluminio vs. cobre .....	63
4.1.3.4.	Coeficiente de expansión térmica y Fluencia o <i>creep</i> .....	64
4.1.3.5.	Instalaciones donde se mezclan conductores o barras de cobre con aluminio .....	66
4.1.4.	Consideraciones económicas.....	69
4.1.4.1.	Factores que determinan los precios de los conductores de Aluminio y cobre.....	69
4.1.4.2.	Costo en la bolsa de valores de los metales y su impacto en el precio final del conductor .....	72
4.1.4.3.	Relación costo amperaje versus tipo de conductor (comparativo entre cobre y aluminio) .....	74

4.1.5.	Consideraciones ambientales. Reacción del cobre y aluminio a los distintos medios ambientes y su impacto en las instalaciones. ....	76
4.1.5.1.	Cobre.....	76
4.1.5.2.	Aluminio.....	77
5.	TIPOS DE CONDUCTORES .....	79
5.1.	Tipos de aislamientos que ofrece el mercado .....	79
5.1.1.	Materiales elastoméricos y termoplásticos .....	82
5.2.	Construcciones disponibles.....	89
5.2.1.	Cables monofásicos o de una sola línea.....	89
5.2.2.	Reunidos .....	90
5.2.3.	Armados .....	90
5.2.4.	Tipos de conductores en cables armados .....	93
5.3.	Tipos de cables disponibles en el mercado.....	97
5.3.1.	Conductores XHHW-2 Aluminio S8000 y THWN- 2/THHN cobre .....	98
5.3.1.1.	Comparativo de las características de los distintos aislamientos con PVC (THWN-2/THHN) y XLPE (XHHW-2)....	99
5.3.2.	Conductores THHN tipo CCA (Copper Clad Aluminum) o bimetálicos .....	112
5.3.3.	Marcas comerciales más reconocidas en el mercado de cables monofásicos y armados .....	115
5.4.	Sistemas de ducto barra de aluminio .....	118
5.4.1.	Características de los equipos .....	122
5.4.2.	Sistemas de ducto barra o ducto de barra.....	125
5.4.3.	Elementos que componen un sistema de ducto barra.....	128

5.4.3.1.	Tipo <i>feeder</i> .....	128
5.4.3.2.	Tipo <i>plug-in</i> horizontal: .....	129
5.4.3.3.	Tipo « <i>riser</i> » vertical: .....	131
5.4.3.4.	Alimentador tipo «Tie Run» .....	132
5.5.	Normas locales que deben considerarse para la escogencia del conductor eléctrico para acometidas .....	133
6.	RESULTADOS .....	137
6.1.	Consideraciones por tomar en cuenta en el diseño de Instalaciones eléctricas.....	137
6.1.1.	Condiciones que demanda la Empresa Eléctrica de Guatemala para la instalación de ducto barra o conductores de aluminio para acometidas .....	137
6.1.2.	Tipo de carga y servicio a prestar para la definición del mejor sistema a utilizar .....	138
6.1.2.1.	Factores por analizar para escoger el sistema más adecuado según la carga.....	138
6.1.2.1.1.	Consideraciones por tomar en cuenta para el cálculo de instalaciones eléctricas .....	139
6.1.2.2.	Planificación de la instalación a realizar .....	141
6.1.2.2.1.	Aspectos relevantes y requisitos por tomar en cuenta al momento de elegir un sistema .....	141

6.1.2.2.2.	Distribución de las cargas .....	145
6.1.2.2.3.	Consideraciones ambientales.....	159
6.2.	Análisis de caso real, comparación de presupuesto con cables THWN-2/THHN de Cu, XHHW-2 S8000, Cable armado tipo MC con conductores XHHW-2 S8000 y ducto barra de aluminio para 1000 amperios.....	164
6.2.1.	Consideraciones por tomar en cuenta para el presupuesto de cables y ducto barra .....	165
6.2.1.	Características del diseño eléctrico.....	166
6.2.2.	Resultados de los cálculos realizado .....	173
CONCLUSIONES.....		177
RECOMENDACIONES .....		179
BIBLIOGRAFÍA.....		181
ANEXOS.....		189

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Esquema de corriente de corto circuito nominal para cables de cobre, con operación continua máxima de 90 °C.....	30
2.	Esquema de corriente de corto circuito nominal para cables de cobre, con operación continua máxima de 105 °C .....	31
3.	Esquema de corriente de corto circuito nominal para cables de aluminio, con operación continua máxima de 90 °C .....	32
4.	Esquema de corriente de corto circuito nominal para cables de aluminio, con operación continua máxima de 105 °C.....	33
5.	Imagen de la corriente galvánica que se provoca en la corrosión galvánica .....	40
6.	Gráfico variación de la fluencia (creep) en kP.....	60
7.	Materiales no deseables en una conexión con aluminio .....	61
8.	Conexión de doble clasificación UL AL-Cu .....	66
9.	Conectores Cu/Al para unir cables de cobre con aluminio.....	67
10.	Terminal bimetálica para cables de cobre y/o aluminio.....	68
11.	Tipos de cables armados .....	91
12.	Marcaje de un cable THWN/THHN .....	100
13.	Descripción de las siglas XHHW-2.....	102
14.	Apreciación del resultado de aplicar compresión y compactación en un conductor eléctrico .....	107
15.	Componentes de un ducto barra marca Square D.....	123
16.	Comparativo de espacio que ocupa ducto barra versus sistema de cables .....	124

17.	Sistema feeder en ducto barra.....	129
18.	Sistema "Plug-In" .....	130
19.	Sistema tipo "Riser" .....	131
20.	Sistema tipo «Tie-Run» .....	132
21.	Sistema ducto barra y cables como alimentador del tablero principal ..	143
22.	Panel de distribución de potencia con ducto barra .....	146
23.	Cables dispuestos en paralelo en bandeja tipo escalerilla.....	148
24.	Disposición de los conductores en paralelo y coeficiente de corrección según IEC 60364 .....	150
25.	Desplazamiento de la corriente y voltaje por 45 °C ( $\cos\phi = 0.5$ ) .....	151
26.	Conductores simétricos .....	153
27.	Aplicación a conductores en paralelo .....	154
28.	Cable Stabiloy™ .....	155
29.	Bandeja para cable de Aluminio para proyectos de cableado de edificios .....	158
30.	Diagrama unifilar E-01, del proyecto completo, en círculo parte del mismo que ha sido sujeto de análisis en este trabajo .....	169
31.	Diagrama unifilar E-02 de los ocho PMC's sujeto a análisis .....	170
32.	Diagrama unifilar E-03, de las cuatro opciones analizadas .....	171
33.	Diseño del ducto barra a utilizar en la instalación sujeta a análisis .....	172

## TABLAS

I.	Código numérico de aleaciones de aluminio.....	6
II.	Designación del tipo de temple en conductores de aluminio.....	10
III.	Propiedades físicas y mecánicas de aleaciones Al para electricidad.	13
IV.	Propiedades básicas de las aleaciones AA1350 H-19 y 6201 T-18....	15
V.	Propiedades físicas y térmicas de las aleaciones AA8030 y AA8176..	16

VI.	Conductividad y resistencia de aleaciones de Al en electricidad.....	19
VII.	Conductividad mínima IACS (%) según aleación y temple .....	20
VIII.	Ampacidades de conductores 8176 y 8030.....	21
IX.	Factores de corrección a temperatura menor 30 °C.....	23
X.	Coeficiente de resistencia de cobre y aluminio.....	24
XI.	Corriente máxima de cortocircuito por área conductora con cobre y aluminio.....	25
XII.	Valor de la constante K de acuerdo a la tabla 43 del IEC 603664-4-43.....	34
XIII.	Tensión térmica máxima permitida para cables I2t.....	35
XIV.	Comparativo propiedades físicas del cobre y AA6201 .....	36
XV.	Comparativo propiedades físicas del aluminio y cobre.....	45
XVI.	Características generales del cobre y aluminio.....	46
XVII.	Comparativo del costo del metal versus precio de venta en el mercado de un conductor de aluminio y cobre.....	70
XVIII.	Costo diario del cobre y aluminio en la bolsa de Londres mes de febrero 2020.....	73
XIX.	Ampacidad de los conductores 2 y 1/0 AWG.....	74
XX.	Costo en quetzales para conducir un amperio en conductores de cobre y aluminio.....	75
XXI.	Características materiales Termoplásticos & Termoestables.....	80
XXII.	Propiedades de los materiales termoestables.....	88
XXIII.	Identificación de Cables Tipo AC y MC.....	92
XXIV.	Significado de las siglas THHN; THWN & THWN-2.....	100
XXV.	Significado de cada letra del aislamiento tipo XHHW-2.....	101
XXVI.	Diferencia entre los materiales aislantes PVC y XLPE.....	104
XXVII.	Características cable THWN-2/THHN, cobre temple suave.....	108
XXVIII.	Características de cable XHHW-2 con aleación de Al 8176.....	109

XXIX.	Comparativo de distintos calibres de conductores de cobre y aluminio con relación a su capacidad de conducción.....	110
XXX.	Ampacidad para los cables THHN bimetálicos o CCA.....	114
XXXI.	Clasificación NEMA de protección a personas y medio ambiente...	160
XXXII.	Símbolos alfabéticos de protección de elementos.....	163
XXXIII.	Descripción de las cuatro opciones analizadas.....	173
XXXIV.	Análisis financiero.....	174

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Área de una superficie
<b>Al</b>	Aluminio
<b>Cu</b>	Cobre
<b><math>\rho</math></b>	Coeficiente de resistencia (ohm m <sup>2</sup> /m) ( $\Omega$ m)
<b><math>\alpha</math></b>	Coeficiente de temperatura °C
<b><math>\sigma</math></b>	Conductividad 1 /( $\Omega$ m))
<b>I</b>	Corriente en amperes
<b>US\$</b>	Dólar estadounidense
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>°F</b>	Grados Fahrenheit
<b>J/kg·K</b>	Jules por kilogramo por kelvin
<b>Ksi</b>	Kilolibras de fuerza por pulgada cuadrada que se ejercen sobre un objeto
<b>Kw</b>	Kilo watts
<b>Mg/m<sup>3</sup></b>	Miligramos de contaminante por cada metro cúbico.
<b><math>\Omega</math></b>	Ohms
<b>PMC</b>	Panel múltiple de contadores
<b>Q</b>	Quetzal
<b>TDP</b>	Tablero de distribución principal
<b>T</b>	Temperatura
<b>t</b>	Tiempo
<b>g/cm<sup>3</sup></b>	Unidad de densidad gas gramo por centímetro cúbicos
<b>Lb/in<sup>2</sup></b>	Unidad de fuerza libras por pulgada cuadrada

**Mpa**

Una unidad de presión que equivale a 1,000,000 pascales

**V**

Voltios

## GLOSARIO

<b>Aislamiento</b>	Material que ofrece una gran resistencia al paso de la corriente, se le conoce también como dieléctrico.
<b>Aleación</b>	Metal formado por la combinación de dos o más metales para obtener alguna característica específica.
<b>ANCE</b>	Asociación Nacional de Normalización y Certificación de México
<b>ANSI</b>	(American National Standards Institute): Instituto Nacional de Normalización de Estados Unidos.
<b>ASTM</b>	(American Society for Testing and Materials): Sociedad de Normalización de Materiales y Métodos de Prueba en Estados Unidos.
<b>AWG</b>	American Wire Gauge, estándar norteamericano usado en la designación (área de la sección transversal) de los alambres y cables eléctricos.
<b>Cadena Cruzada</b>	Unión química permanente entre cadenas de polímeros termoplásticos.

<b>Circular Mil</b>	Unidad para medir la sección transversal de los conductores eléctricos, en el sistema AWG. Un Circular Mil corresponde al área de un círculo que tiene por diámetro una milésima de pulgada.
<b><i>Copper-clad-steel</i></b>	Alambre de acero con recubrimiento de cobre.
<b><i>Copperweld</i></b>	Marca registrada de Flexo wire div. para sus conductores <i>Copper-clad-steel</i> .
<b>IACS</b>	(International Annealed Copper Standards): Norma Internacional para el cobre suave o recocido, elaborada para la Comisión Electrotécnica Internacional. medida usada como estándar de conductividad.
<b>ICEA</b>	(Anteriormente IPCEA). (Insulated Cable Engineers Association) Asociación profesional de ingenieros especialistas en conductores aislados en Estados Unidos.
<b>IEC</b>	(Internacional Electrotechnical Commission) Organismo Internacional de Normalización en el campo de la electrotecnia.
<b>Interlock, armadura</b>	Protección mecánica para cables, formada por flejes de Aluminio o acero en los cuales cada vuelta se asegura mecánicamente formando el traslape de los flejes, de tal forma que impida que se deslicen uno

	sobre el otro, pero permitiendo que el conjunto sea flexible.
<b>kCM</b>	Unidad de área en el sistema AWG equivalente a 1000 Circular Mils. Anteriormente designado como MCM.
<b>LS</b>	Término definido en la NOM – 063 – SCFI y que indica que los cables marcados “LS”, cumplen con las pruebas de no propagación de incendio, de baja emisión de humos y de bajo contenido de gas ácido, pruebas definidas en la misma NOM – 063 – SCFI.
<b>NEMA</b>	(National Electrical Manufacturers Association) Asociación de Fabricantes de equipo eléctrico en Estados Unidos.
<b>Policloruro de Vinilo</b>	(PVC) Compuesto sintético, del tipo termoplástico. Es un material principalmente empleado como aislamiento hasta 1000 Volts y como cubierta protectora.
<b>Polietileno</b>	Material termoplástico a base de unidades repetitivas de etileno. Existen 2 tipos básicos: Polietileno de baja densidad y polietileno de alta densidad, ambos para 75 °C de operación normal. Polietileno de Cadena Cruzada (XLPE) Material termofijo resultante de la vulcanización de polietileno en presencia de un catalizador.

<b>Temple</b>	Tratamiento térmico o mecánico dado a los metales o aleaciones para controlar sus características, como grado de suavidad.
<b>Termofijo</b>	Material que una vez curado (vulcanizado), no se deforma mediante la aplicación de calor.
<b>Termoplástico</b>	Material que se suaviza con la aplicación de calor y se solidifica al enfriarse.
<b>THHN</b>	Cable para construcción, con aislamiento de PVC y cubierta de Nylon, clasificado para 600 V y 90 °C en seco.
<b>THHW</b>	Cable para construcción con aislamiento termoplástico de PVC, 600 V, 90 °C en seco y 75 °C en ambiente mojado.
<b>THWN</b>	Cable para construcción, con aislamiento de PVC y cubierta de Nylon, clasificado para 600 V y 75 °C en seco y húmedo.
<b>UL</b>	Underwriters Laboratories, Organización norteamericana, que opera sistema de certificaciones de productos eléctricos y electrónicos, teniendo la seguridad como parámetro principal de los productos.

**XHHW**

Cable de construcción individual con aislamiento de XLPE 600 V, 90 °C en ambiente seco, 75 °C en mojado.

**XLP o XLPE**

Polietileno de cadena cruzada, polietileno con aditivos químicos que forman enlaces permanentes en las cadenas de la estructura molecular del polietileno.



## RESUMEN

La reducción de costos en la ejecución de proyectos, por medio de la aplicación de nuevas tecnologías, es una herramienta efectiva presente también en proyectos arquitectónicos de los cuales las instalaciones eléctricas en sus diversos niveles no son ajenas, por el impacto económico que representan como parte integral de los mismos.

De tal manera, el conocimiento de las ventajas en el uso de conductores eléctricos de Aluminio y cobre-Aluminio en sustitución de conductores de cobre para instalaciones eléctricas de baja tensión con énfasis en acometidas, beneficia la disminución de costos monetarios en proyectos arquitectónicos industriales y comerciales, así como la factibilidad de instalación y seguridad industrial.

Este estudio se enfoca en describir las similitudes y diferencias técnicas entre el Aluminio serie 800 y el cobre como conductor eléctrico, así como factores relacionados al impacto con el medio ambiente, costos y factibilidad de instalación, aspectos que benefician la industria energética.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Presentar las propiedades mecánicas y eléctricas de los conductores de Aluminio para baja tensión, a utilizar en instalaciones eléctricas de centros comerciales, edificios y data centers, así como las consideraciones de fiabilidad, económicas y con el medio ambiente.

### **Específicos**

1. Mostrar las diferencias en las propiedades mecánicas y eléctricas de los conductores de Aluminio, con los conductores fabricados con cobre.
2. Las consideraciones por tomar para que las instalaciones hechas con conductores de Aluminio sean seguras y fiables.
3. El impacto económico que presenta el utilizar conductores eléctricos fabricados con Aluminio en el diseño de una instalación comparado con conductores fabricados con cobre.
4. Impacto que tienen los distintos medios ambientes en las instalaciones hechas con conductores de Aluminio, y su posible interacción con conductores de cobre.



## INTRODUCCIÓN

Las instalaciones eléctricas complementan diversos proyectos arquitectónicos industriales por proveer de servicios eléctricos a dichas edificaciones, es por ello que para la instalación de estructuras eléctricas, se debe considerar factores como confiabilidad, costo, disponibilidad y resistencia, que respondan a las necesidades de dichos proyectos. Actualmente, en Guatemala, los diseñadores eléctricos consideran el uso del ducto de barra y cables eléctricos fabricados con aleación de Aluminio, debido a sus características apegadas a los factores descritos anteriormente.

El desconocimiento de las normas nacionales e internacionales que se refieren a conductores eléctricos de Aluminio, así como de las características propias del Aluminio para el uso en instalaciones eléctricas, limita la inclusión de conductores de Aluminio ensamblados en proyectos arquitectónicos industriales, los cuales a su vez aportan ventajas de instalación que benefician la reducción de costos, así como seguridad en el uso del material al evitar cualquier tipo de derivación eléctrica que pudiera suceder.

Esta investigación incluye un análisis técnico comparativo entre el Aluminio y el cobre como conductores eléctricos, por lo cual, se describen las propiedades mecánicas y eléctricas de los conductores de Aluminio para baja tensión a utilizar en instalaciones eléctricas de centros comerciales, edificios y *data centers*, así como las características de fiabilidad, económicas y de impacto con el medio ambiente, en sustitución del cobre.



# 1. ANTECEDENTES

El nombre aluminio proviene del término *aluminium*, el cual fue utilizado en 1808 por sir Humphrey Davy, quien descubre el aluminio como elemento compositivo al crear una aleación con hierro, posteriormente, se reconoció el Aluminio como un metal valioso, de manera que el precio de este se comparaba con el del oro y la plata<sup>1</sup>. El aluminio es un metal considerado relativamente moderno en comparación con el origen de la metalurgia, a inicios del siglo XIX fue aislado por primera vez por el químico Hans Cristian Oersted, de origen danés, en 1825, con lo cual se conocen las capacidades electromagnéticas del mismo<sup>2</sup>.

Posteriormente, en 1827, con el aporte de Friedrich Wöhler, quien a través de un proceso mejorado obtiene polvo de aluminio, se logra determinar la densidad y ligereza del metal. El aluminio se obtiene de la alúmina, elemento compuesto de óxido de aluminio, el cual se extrae de la bauxita, lo que disminuye su costo considerablemente. El ciclo de vida del aluminio es circular debido a que es un metal reciclable, circunstancia que reduce el costo a un 95 % menor que el de la extracción a partir de la bauxita. Proceso que se inicia en 1960<sup>3</sup>.

## 1.1. Aluminio en instalaciones eléctricas

---

1 EXTRUAL. *La historia del aluminio*. <http://www.extrual.com/es/noticias/articulos-tecnicos/la-historia-del-aluminio>. Consulta: 15 de junio 2020.

2 ALU-STOCK. *El aluminio*. <https://www.alu-stock.es/es/informacion-tecnica/el-aluminio/>. Consulta: 15 de junio 2020.

3 EXTRUAL. *La historia del aluminio*. <http://www.extrual.com/es/noticias/articulos-tecnicos/la-historia-del-aluminio>. Consulta: 15 de junio 2020.

A partir del descubrimiento del aluminio y sus propiedades conductoras de electricidad, durante la segunda mitad del siglo XX, se utiliza como componente elemental en instalaciones eléctricas domésticas, esta práctica industrial tuvo su auge en los años 60, esta popularidad disminuyó a partir de los años 70, recuperándolo nuevamente en la década de los 90, los cambios sucedidos surgieron por la mala utilización del cableado de aluminio por parte de los instaladores eléctricos<sup>4</sup>, quienes por los bajos costos de mano de obra no tomaban en cuenta las medidas de calidad y seguridad eléctrica.

Las debilidades particulares inherentes al aluminio, así como factores externos como la mala instalación y conexiones flojas causaron riesgos de incendio en las instalaciones del sistema eléctrico, por lo que se sustituyó nuevamente por el cobre<sup>5</sup>. Esto debido a las calidades del aluminio como la resistencia a la circulación eléctrica, fatiga por deformación que causa acumulación de calor, corrosión galvánica y oxidación ocasionada por la presencia de elementos naturales, además de la vibración excesiva provocada por el paso de la corriente eléctrica causan debilitamiento en la ramificación de conexiones.

---

<sup>4</sup> ELECTRICAPLICADA. *Ventajas y desventajas del cobre vs aluminio cableado*. <https://www.electricaplicada.com/ventajas-y-desventajas-del-cobre-vs-aluminio-cableado-electrico/> Consulta: 15 de junio 2020.

<sup>5</sup> GROMICKO, Nick; CMI; SHEPARD, Kenton. *El cableado del aluminio*. <https://www.nachi.org/aluminum-wiring-spanish.htm>. Consulta: 16 de junio 2020.

## **2. ALUMINIO PARA CONDUCIR ELECTRICIDAD**

La mejora de la resistencia, la ductilidad, la calidad de flexión y la resistencia a la corrosión a menudo se puede lograr mediante la adición de elementos de aleación, trabajo en frío (endurecimiento por deformación) y tratamiento térmico. Los medios que se tienen para aumentar la resistencia clasifican las aleaciones en dos categorías, no tratables térmicamente y tratables térmicamente.

### **2.1. Propiedades del aluminio**

Un estudio detallado de las aplicaciones de aluminio generalmente involucra aleaciones de aluminio que tienen propiedades específicas y diferentes de las del metal básico. Por lo tanto, con la adición de menos del 2.0 % de otros metales, sumando como complemento un tratamiento térmico específico convierte el aluminio casi puro en un conductor de ducto barra 6101-T6 con un aumento en el límite elástico mínimo de 3.5 ksi a 25.0 ksi. La reducción de la conductividad asociada con este importante cambio de resistencia es del 6 %, pasando del 61.0 % IACS a 55.0 % IACS.

Simplemente agregar los elementos de aleación a la mezcla no es suficiente para producir los resultados deseados. La resistencia mecánica de las aleaciones no tratables térmicamente se lleva al valor especificado de temple -H de la aleación, por trabajo en frío y/o recocido parcial, y la resistencia mecánica de las aleaciones tratables térmicamente se ajusta a la especificada al temple -T por medio de tratamiento térmico.

En la fabricación de alambre conductor de aleación de Aluminio tratable térmicamente, el tratamiento suplementario (tratamiento en frío y tratamiento térmico) generalmente se divide en dos partes, a menudo en diferentes etapas de la fabricación: (1) que se realiza durante la producción del alambión de la aleación de aluminio (0,375 pulgadas de diámetro), producto que es la materia prima en una fábrica de conductores y (2) que se realizó durante o después de la reducción del diámetro del alambión al tamaño del cable terminado. En la fabricación de los cables se le da la mayoría del tratamiento térmico necesario, sobre todo en la extrusión de este. La aceleración del envejecimiento puede realizarse posteriormente, por medio de tratamiento térmico que se da al producto terminado en hornos en donde se somete el conductor a un tiempo y temperatura determinado por la norma con la cual se está fabricando el conductor.

De tal manera, las características específicas de un conductor de Aluminio se determinan por los materiales con los cuales se alea, y el temple que se le dé en el momento de la fabricación o por medio de un tratamiento térmico adicional.

## **2.2. Propiedades mecánicas de los conductores de aluminio.**

El aluminio y sus aleaciones son materiales que destacan por su ligereza y resistencia a la corrosión, así como por su elevada conductividad térmica y eléctrica. Las propiedades mecánicas del aluminio puro son aceptables para algunos procesos, en general bajas, pero aleado con otros metales, su desempeño mecánico puede mejorar notablemente<sup>6</sup>. Si se comparan la

---

<sup>6</sup> OLIVER, Javier. *Implantación de una unidad productiva dedicada a la fabricación de estructuras soldadas de aluminio.*  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/2833/417748.pdf?sequence=8&isAllowed=y>.

resistencia o la rigidez específica (en relación con la densidad) los Aluminios son más ventajosos que los aceros en determinadas aplicaciones (aeronáutica, vehículos, piezas a grandes aceleraciones). Estas características, junto con la gran capacidad para la conformación (deformación en frío, forja, moldeo, extrusión, mecanizado), ha convertido al Aluminio en el segundo grupo de materiales más empleados.

### **2.2.1. Aleaciones de aluminio**

El Aluminio puro no tiene aplicación comercial, dado que se trata de un material blando y de poca resistencia mecánica tal y como ya se mencionó. Sin embargo, aleado con otros metales como: Cobre (Cu), Silicio (Si), Magnesio (Mg), Zinc (Zn) y Manganeseo (Mn) permite aumentar su resistencia y adquirir otras cualidades, que cambian según la naturaleza de los aleantes utilizados.

Además se utilizan otros metales, pero en menor medida, los cuales son usados como aditivos, o que pueden estar presente como impurezas en las aleaciones, están: el Hierro (Fe), Cromo (Cr) y Titanio (Ti). Para la obtención de otras aleaciones especiales se suele adicionar: Níquel (Ni), Cobalto (Co), Plata (Ag), Litio (Li), Vanadio (V), Circonio (Zr), Estaño (Sn), Plomo (Pb), Cadmio (Cd) y Bismuto (Bi)<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> OLIVER, Javier. *Implantación de una unidad productiva dedicada a la fabricación de estructuras soldadas de aluminio*.  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/2833/417748.pdf?sequence=8&isAllowed=y>.

### 2.2.2. Designación

Las aleaciones de Aluminio se designan con un número de 4 dígitos (YXXX) de acuerdo con el sistema adoptado por The Aluminum Association<sup>8</sup>. El primer dígito (Y) indica el tipo de aleación de acuerdo con el elemento aleante principal, tal como se describe en la tabla uno:

Tabla I. **Código numérico de aleaciones de Aluminio**

Componente Principal	Número Grupo de Aleación
Aluminio sin alear 99%	1
Cu	2
Mn	3
Si	4
Mg	5
Mg, Si	6
Zn	7
Otros	8

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

El Aluminio tiene la cuarta resistividad más baja (detrás de plata, cobre y oro), y por factor costo es el aluminio junto con el cobre el material que se utiliza para los conductores eléctricos. Debido a que el aluminio puro no es atractivo para trabajarlo, por algunas características como una resistencia muy baja a la

<sup>8</sup> THE ALUMINUM ASSOCIATION. *Bus Conductors*. <https://www.aluminum.org/sites/default/files/Chapter%2013%20Bus%20Conductor%20Design%20and%20Applications.pdf>. Consulta: 26 de octubre 2020.

tracción y poca dureza, en la industria se han realizado diversas aleaciones<sup>9</sup>, los metales más usados son:

- Cromo (Cr): aumenta la resistencia mecánica cuando se combina con otros elementos como el Cu, Mn, Mg.
- Cobre (Cu): incrementa las propiedades mecánicas, pero reduce la resistencia a la corrosión.
- Hierro (Fe): aumenta la resistencia mecánica y a la fatiga.
- Magnesio (Mg): presenta una gran resistencia tras el conformado en frío.
- Manganeso (Mn): incrementa las propiedades mecánicas, pero reduce la calidad de troquelado o embutición.
- Silicio (Si): combinado con magnesio (Mg), tiene mayor resistencia mecánica.
- Titanio (Ti): aumenta la resistencia mecánica.
- Zinc (Zn): aumenta la resistencia a la corrosión.
- Escandio (Sc): mejora la soldadura

Los demás dígitos que identifican la serie indican la aleación específica de aluminio. La aleación más frecuente para cables de aleación de aluminio es la

---

9 CONAL. *Cables de aleación de aluminio 6201 (AAAC). All Aluminum Alloy Conductors 6201 (AAAC)*. <http://www.promelsa.com.pe/pdf/02104271.pdf>. Consulta: 23 junio 2020.

denominada AAC (All Aluminum Conductor) con la aleación 1350-H19, tal como la aleación de Aluminio denominada AAAC (All Alloy Aluminum Conductor) con la aleación 6201-T81. En el caso de cables para baja tensión a utilizar en edificaciones, la serie es la 8000, que usualmente se representa como S8000, y la más común en el mercado es la 8176-H24. Se puede ver que después del número de serie hay un guion y otras siglas (H19-T81-H24) las cuales indican el temple que se le da al metal en su fabricación, lo cual es fundamental en las características que se le quieren dar al conductor, ya que toda la conectividad y herrajes están fabricados en función al tipo de metal no ferroso y su consistencia (duro-semi duro-suave)<sup>10</sup>. Las características de los grados del Aluminio son<sup>11</sup>.

- Grados de aluminio Serie 1xxx

Los tipos de aluminio (1050, 1060, 1100, 1145, 1200, 1230, 1350, entre otros.) se caracterizan por poseer excelente resistencia a la corrosión, alta conductividad tanto térmica como eléctrica, propiedades mecánicas bajas y excelente capacidad al trabajarla. Además de obtener aumentos moderados en la resistencia por medio de endurecimiento por deformación. En este caso, las principales impurezas son el hierro y el silicio.

- Grados de aluminio serie 6xxx

Las aleaciones de aluminio de la serie 6xxx: 6061, 6063, 6201, entre otras, contienen silicio y magnesio en las proporciones requeridas para la formación de siliciuro de magnesio ( $Mg_2Si$ ), lo que los hace tratables con calor. Estas aleaciones no son tan fuertes como la mayoría de las correspondientes a las

---

10 RAABE, Dierk. <http://www.dierk-raabe.com/aluminium-alloys/>. Consulta: 23 septiembre 2020.

11 TOTAL MATERIA. *Grados del aluminio*. <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=GradosdeAluminio&LN=ES>. Consulta: 2 de julio 2020.

aleaciones 2xxx y 7xxx, sin embargo, dentro de las características de las aleaciones de aluminio de esta serie son: buena formabilidad, soldabilidad, maquinabilidad y buena resistencia a la corrosión, con resistencia media. Las calidades de aluminio de este grupo tratable térmicamente se pueden formar en el temple T4 que aunque es una solución tratada térmicamente no es tratada térmicamente por precipitación, además de fortalecerse después de formar las propiedades T6 completas por medio de tratamiento térmico por precipitación.

- Grados de Aluminio serie 8xxx

La serie 8xxx (8006; 8111; 8079; 8176; 851.0; 852.0) se reserva específicamente para elementos de aleación no utilizados para las series 2xxx a 7xxx. El hierro y el níquel se usan para aumentar la resistencia sin una pérdida significativa de conductividad eléctrica, por lo que son útiles en aleaciones conductoras como 8017. La aleación de aluminio-litio 8090, que tiene alta resistencia y rigidez, fue creada para aplicaciones aeroespaciales. Las aleaciones de aluminio de la serie AA8000 pertenecen al Sistema de Numeración Unificado A98XXX, entre otros.

En relación a las siglas para indicar el temple, en el esquema descrito en tabla dos, explica la forma en que se logra el temple necesario para la aplicación que se le dará al conductor.

Tabla II. Designación del tipo de temple en conductores de aluminio

Designación	Descripción	Aplicación
O	Recocido, recristalizado	Menor esfuerzo de tensión, alta ductilidad.
F	Tal y como se fabrica	Fabricación sin control especial sobre el endurecimiento térmico o por deformación.
W	Solución con tratamiento térmico	Aplicación de temple inestable con un período posterior de envejecido naturalmente.
T1		Enfriado y con un período de envejecimiento natural, es decir, enfriado después de ser moldeado a sus dimensiones finales durante un proceso que involucra mucho calor, luego período de envejecido natural a una condición estable.
T2		Enfriado, trabajado en frío y sujeto a período de envejecido natural, es decir, enfriado después de conformarse a sus dimensiones finales durante un proceso que involucra mucho calor, luego trabajado en frío.
T3		Solución tratada térmicamente, trabajada en frío y con un período de envejecido natural.
T4		Solución tratada térmicamente y con un período de envejecido natural.
T5		Enfriado y sujeto a período de envejecido artificial, es decir, más específico, enfriado después de ser conformado a sus dimensiones finales durante un proceso que involucra mucho calor (como extrusión), luego sujeto a período de envejecido artificial.
T6		Solución tratada térmicamente y estabilizada, es decir, solución tratada térmicamente y sujeto a un período de envejecido artificial a una condición estable.
T7		Solución tratada térmicamente, estabilizada para proporcionar propiedades especiales, es decir, solución tratada térmicamente y sujeto a período de envejecido natural más allá del punto de una condición estable. Este proceso proporciona control de algunas características especiales.
T8		Solución tratada térmicamente, trabajada en frío, sujeto a período de envejecido artificial.
T9		Solución tratada térmicamente, sujeto a período de envejecido artificial, luego trabajada en frío.

Continuación tabla II.

T10	Enfriado, trabajado en frío, luego período de envejecido artificial, es decir, enfriado después de ser conformado a sus dimensiones finales durante un proceso que involucra mucho calor (como extrusión), luego trabajado en frío y sujeto a envejecimiento artificial.
-----	--

Fuente: <http://www.dierk-raabe.com/aluminium-alloys/>.

### **2.2.3. Propiedades físicas de las aleaciones de aluminio**

El aluminio posee una densidad baja ( $2,7 \text{ Mg/m}^3$ ,  $1/3$  de la de los aceros); una conductividad térmica elevada ( $80 \div 230 \text{ W/m.K}$ ), lo cual es beneficioso en piezas que tengan como fin disipar o conducir calor, tal y como sucede en las fuentes de poder, lámparas Led, entre otros; además, posee buena conductividad eléctrica (resistividad  $28 \div 60 \text{ n}\Omega.\text{m}$ ); calor específico adecuado ( $865 \div 905 \text{ J/kg.K}$ ); dilatación térmica elevada ( $20 \div 25 \mu\text{m /m.}^\circ\text{K}$  el doble que los aceros).

### **2.2.4. Propiedades mecánicas de aleación de aluminio utilizadas para conductores eléctricos**

En cuanto a las propiedades mecánicas, estas se refieren a la temperatura ambiente, la resistencia a la tracción ( $150 \div 450 \text{ Mpa}$ ), límite elástico ( $100 \div 300 \text{ Mpa}$ ) y el módulo de elasticidad ( $69 \div 73 \text{ Gpa}$ ) es moderado, así como la dureza no tan alta, en general no es conveniente para soportar presiones superficiales grandes; la resistencia a la fatiga es aceptable y la resiliencia es regularmente alta a excepción para aleaciones de Aluminios más resistentes (Al-Cu y Al-Zn).

El comportamiento en altas temperaturas es escaso: ya que a partir de 100-150 °C según las aleaciones, la fluencia se manifiesta de forma acusada y se reducen considerablemente las propiedades mecánicas (resistencia a la tracción, límite elástico y dureza) por lo que a partir de 350 °C la resistencia se mantiene únicamente en valores residuales; mientras que en el intervalo 200 ÷ 300 °C, el mejor comportamiento mecánico se encuentra en los grupos Al-Cu y Al-Mg. En cambio, las propiedades a bajas temperaturas son excelentes, porque la resistencia aumenta, así como el límite elástico y el alargamiento se mantienen hasta temperaturas operativas de –195 °C<sup>12</sup>.

El aluminio en estado puro (sin alear) no existe en el mercado eléctrico, así como tampoco para todas las demás aplicaciones que tiene el metal en la industria de la construcción, transportes, envases, entre otros. Por ello es necesario hacer la distinción de las propiedades de una aleación de aluminio en específico con su respectivo grado de temple más comunes en el mercado eléctrico válido a nivel mundial. En la tabla tres, se muestran las principales especificaciones de los conductores de aluminio.

---

<sup>12</sup>OLIVER, Javier. *Implantación de una unidad productiva dedicada a la fabricación de estructuras soldadas de aluminio*. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/2833/417748.pdf?sequence=8&isAllowed=y>.

Tabla III. **Propiedades físicas y mecánicas de aleaciones Al para electricidad**

Designación	Carga de ruptura (MPa)		Alargamiento mínimo en 10 pulg. (%)		Conductividad mínima IACS	Especificación ASTM	Temple
	máx	mín	máx.	mín.			
1350 H-19	200	160	2.3	1.4	61.2	B230	Duro
1350 H-16 ó H26	150	115			61.0	B609	3/4 Duro
1350 H-14 ó H24	135	100			61.0	B609	1/2 Duro
1350 H-12 ó H22	120	85			61.0	B609	1/4 Duro
1350-0	95	60	20		61.8	B609	Recocido
6201-T81	330	315	3		52.5	B398	Duro
8017-H212	152	103	10		61.0	B800	Intermedio
8030-H221	152	103	10		61.0	B800	Intermedio
8176-H24	152	103	10		61.0	B800	Intermedio
8177-H221	152	103	10		61.0	B800	Intermedio

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020, en base a <https://www.aluminum.org/sites/default/files/AECD%20part1%20compressed.pdf>.

En cuanto al uso de las aleaciones en la industria de los conductores de Aluminio para líneas de distribución y transmisión, que han desarrollado las mismas para servir las necesidades puntuales de las empresas de transmisión, la base para la conductividad es la AA1350 H-19 con los que se fabrican los cables denominados tipo AAC (*All aluminum conductor*), para aumentar la flecha del conductor y ahorrar en estructura se desarrollaron los cables con alma de acero denominados tipo ACSR (*aluminum conductor steel reinforced*). La

segunda aleación común es la 6201 T-18, con la cual se fabrican los cables denominados tipo AAAC (*All alloy aluminum conductor*), que como se indicó en el párrafo anterior, se sacrificó conductividad para aumentar la resistencia a la tensión del metal. Con lo anterior se logró aumentar la flecha del conductor, aunque para compensar su conductividad se aumenta el volumen, pero al ser el liviano aluminio, se logró flechas similares de los distintos calibres de conductores con acero, con solo aluminio lo que dio como resultado un menor peso total, lo cual permite ahorrar en las estructuras.

Se enfatiza en el tema para mostrar lo versátil del metal, con distintas aleaciones se logra obtener mejoras y ventajas para casos específicos. Y es que además de obtener mejores calidades mecánicas, se evita utilizar acero que es un elemento corrosivo en ambientes salinos, esto significa reducción de costos por disminuir la frecuencia de mantenimiento a las líneas.

En tabla cuatro, se presenta comparativo con las aleaciones AA1350 H-19 y 6201 T-18, ambas con su temple respectivo, las cuales son las más usadas para líneas de distribución y transmisión de energía eléctrica.

Tabla IV. **Propiedades básicas de las aleaciones AA1350 H-19 y 6201 T-18**

Especificaciones	Aluminio 1350	Aleación 6201
Temple	H19	T81
Masa específica a 20AC (g/cm <sup>3</sup> )	2,705	2,690
Conductividad mínima a 20AC (%IACS)	61,0	52,5
Resistividad máxima a 20AC ( $\square$ mm <sup>2</sup> /m)	0,028264	0,032840
Coeficiente de variación de la resistencia a 20AC (AC <sup>-1</sup> )	0,00403	0,00347
Coeficiente de dilatación lineal (AC <sup>-1</sup> )	0,000023	0,000023
Dureza Brinnell	42	85
Tensión de rotura mínima (Mpa) (*)	155 a 186	303 a 317
Alargamiento mínimo en 250mm (%) (*)	1,2 a 2,2	3,0

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020. (\*) De acuerdo con el diámetro del alambre.

Para cables de distribución en baja tensión BT, como las edificaciones, hay dos tipos de aleaciones que se utilizan regularmente, la 8030-H221 y 8176-H24 siendo el tipo de aislamiento de polietileno de cadena cruzada (XLPE) el común para este tipo de aleación por sus características físicas resistentes a la humedad e intemperie<sup>13</sup>.

En tabla cinco, se describen las propiedades físicas y térmicas de las dos aleaciones para cables a utilizar en baja tensión. Básicamente poseen las mismas características, siendo más conocida la aleación 8176, porque la 8030 fue patentada por la empresa ALCOA de Canadá.

<sup>13</sup> BEFEBE. *Cable Preensamblado de aluminio aislado tipo XLPE*. <https://cablesfb.com/product/cable-preensamblado-de-aluminio-aislado-tipo-xlpe/>. Consulta: 25 de junio 2020.

Tabla V. **Propiedades físicas y térmicas de las aleaciones AA8030 y AA8176**

Aleación de Aluminio	8176		8030	
Propiedades físicas y térmicas	Métrico	Imperial	Métrico	Imperial
Densidad	2.71 g/cm <sup>3</sup>	0.0979 lb/in <sup>3</sup>	2.71 g/cm <sup>3</sup>	0.0979 lb/in <sup>3</sup>
Punto de fusión	643 - 657.2°C	1190 - 1215 °F	643 - 657.2 °C	1190 - 1215°F
Fuerza de tensión	117 MPa	17000 psi		
Límite de elasticidad	96.5 MPa	14000 psi		
Elongación al rompimiento (@grosor de 1.59 mm/0.0625in)	15%	15%		
Módulo de elasticidad	68.9 GPa	10000 ksi		
Resistencia a la ruptura	68.9 MPa	10000 psi		
Coefficiente de expansión térmica (@20-100°C/68-212°F)	23.6 µm/m°C	13.1 µin/in°F	23.6 µm/m°C	13.1 µin/in°F
Conductividad térmica	231 W/mK	1600 BTU in/hr.ft <sup>2</sup> .°F	231 W/mK	1600 BTU in/hr.ft <sup>2</sup> .°F

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

Es importante mencionar que con los conductores de aleación de Aluminio llevan implícito el temple, de manera que cuando se indica un cable tipo AAC, ACSR, AAAC o S8000, el cumplimiento de cada temple, es certeza de cumplimiento de normas internacionales que se asumen al realizar un diseño eléctrico, ya sea para línea de transmisión, distribución o para una instalación interna.

En síntesis, las aleaciones más utilizadas son dos: 1350 y 6201 para cables de distribución y transmisión en bajo, medio, alto y extra alto voltaje. Hay otras aleaciones para cables a utilizar en repotenciamiento de líneas para alta

temperatura que no son sujetos de este estudio. Finalmente, está la aleación 8176 que es la más común para cables de baja tensión, y que junto con la aleación 8030 son las más desarrolladas para utilizarse como un conductor seguro en instalaciones de baja tensión.

### **2.3. Propiedades eléctricas de los conductores de aluminio**

Para cables y alambres la aleación más común y comercial es la 8176, por lo que se describirán sus propiedades eléctricas, físicas y mecánicas para su mejor comprensión y cómo la misma se puede utilizar para sustituir en los diseños e instalaciones a los conductores fabricados con cobre. Conocer este material es importante, porque aun cuando la aleación 8176 ha sido desarrollada para que pueda sustituir al cobre de forma práctica y confiable, la misma no es 100 % equivalente, sino más bien hay que conocerla para poder hacer una instalación segura y duradera.

Para el ducto barra, la aleación utilizada es la 6201, la cual es la más resistente mecánicamente y derivado a que es parte de toda una estructura, los elementos más importantes es su capacidad de soportar cargas altas y por ende esfuerzos mecánicos ya que la misma está adherida a la estructura metálica, que le da sustento a la instalación. Para el ducto barra se tiene un apartado en el capítulo V, por lo que a continuación, se presentará las características de las aleaciones utilizadas para la fabricación de cables y alambres eléctricos, ya que el conocimiento de la misma permitirá realizar diseños e instalaciones en muchas áreas de nuestro interés como electricistas, siendo un material que está ganando mucha relevancia en el medio local por su disponibilidad, confiabilidad y menor costo, este último comparado con el cobre.

### 2.3.1. Conductividad de los conductores de aluminio.

El cobre se empezó a utilizar para experimentos de electricidad, tal y como sucedió con el disco de Faraday, aparato que utilizó un disco de cobre y que se conoce como la base de los motores eléctricos, tal y como los conocemos hoy<sup>14</sup>.

En el siglo XIX y principio del siglo XX, el cobre se extraía y se purificaba principalmente en los Estados Unidos e Inglaterra, el cual se utilizaba para tender cables telegráficos, los cuales principalmente eran aéreos (que eran los más simples), pero también se fabricaron para líneas subterráneas y submarinas, al punto que a principios del siglo XX había varios cables submarinos uniendo a los continentes, Europa con América, con África y con Asia. Así que cuando surgieron las empresas generadoras de electricidad, Edison Electric (la cual paso a ser General Electric), y Westinghouse Electric, ya existía la experiencia para producir cables, que se fueron adaptando conforme aumentaba la capacidad de los generadores<sup>15</sup>.

En 1913, la Comisión Electrotécnica Internacional, con sus siglas en inglés IEC, tomó como referencia estándar la conductividad eléctrica del cobre puro para esta magnitud, por lo que estableció el Estándar Internacional del Cobre Recocido, conocido en inglés como International Annealed Copper Standard o IACS. De tal manera que la definición, se estableció en base a la conductividad del cobre recocido medida a 20 °C es igual a 58,0 MS/m<sup>16</sup>.

---

<sup>14</sup> ECURED. *Cable eléctrico*. [https://www.ecured.cu/Cable\\_el%C3%A9ctrico](https://www.ecured.cu/Cable_el%C3%A9ctrico). Consulta: de junio 2020.

<sup>15</sup> ECURED. *Cable eléctrico*. [https://www.ecured.cu/Cable\\_el%C3%A9ctrico](https://www.ecured.cu/Cable_el%C3%A9ctrico). Consulta: de junio 2020.

<sup>16</sup> Ibid.

A dicho valor se le conoce como el 100 % IACS<sup>17</sup> y la conductividad del resto de los materiales se expresa en un porcentaje de IACS. La mayoría de los metales tienen valores de conductividad inferiores a 100 % IACS, tal el caso del Aluminio para electricidad que en su mayoría de aleaciones presenta el 61 % IACS<sup>18</sup>, tal como se describe en la tabla seis.

Tabla VI. **Conductividad y resistencia de aleaciones de Al en electricidad**

Material	Conductividad		Resistencia
Aluminum	(% IACS)	(Siemens/m)	(Ohm-m)
Puro	61.00	3.538E+07	2.826E-08
1350-O	61.80	3.584E+07	2.790E-08
6201-T81	54.00	3.132E+07	3.200E-08
8176	61.00	3.538E+07	2.826E-08

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

Las características en base a las aleaciones 1350-O, 6201-T81 y 8176, se respaldan en estudios referentes al tema<sup>19</sup>.

Debido a que hace más de un siglo que se estableció la referencia de conductividad, actualmente se obtiene cobre comercial con una mayor capacidad de corriente, 102 % IACS, lo cual ha permitido reducir el diámetro de los actuales calibres, el calibre está en función de su resistividad. El anterior concepto ha permitido que en calibres delgados el cobre siga siendo más eficiente, y si se

<sup>17</sup> HUENUPAN, Francisco. Conductividad y Resistividad. <https://sites.google.com/site/ventanaaalelectricidad/conductividad-y-resistividad>. Consulta: 30 de junio 2020.

<sup>18</sup> TECHNICAL SPOTLIGHT. *Eddy Current Testing*. <https://www.asminternational.org/documents/10192/6013848/amp17104p25.pdf/b5176d62-0845-4e68-8ea7-d231babd1f41>. Consulta: 20 de junio 2020.

<sup>19</sup> DAVIS, Joseph. *Aluminum and Aluminum Alloys (ASM Specialty Handbook)*. 1992. Editorial ASM, Internacional.

suma a que en aluminio el NEC reconoce al AA8176 como opción a partir del calibre 6 AWG, la única competencia que tiene el cobre es el CCA (*copperclad aluminio*), el cual no es popular por la escasa difusión que ha tenido, por lo que la mayoría de los circuitos para iluminación y carga en construcciones residenciales y comerciales se hagan con cables de cobre con aislamiento tipo THWN-2. En cambio, los circuitos de alimentación y acometidas, se está utilizando más el Aluminio por su bajo costo.

En la tabla siete, se describe el IACS de cada aleación disponible en el mercado.

Tabla VII. **Conductividad mínima IACS (%) según aleación y temple**

Designación	Conductividad mínima IACS (%)	Especificación ASTM	Temple
1350 H-19	61.2	B230	Duro
1350 H-16 ó H26	61.0	B609	3/4 Duro
1350 H-14 ó H24	61.0	B609	1/2 Duro
1350 H-12 ó H22	61.0	B609	1/4 Duro
1350-0	61.8	B609	Recocido
6201-T81	52.5	B398	Duro
8017-H212	61.0	B800	Intermedio
8030-H221	61.0	B800	Intermedio
8176-H24	61.0	B800	Intermedio

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

La conductividad de las aleaciones comerciales de aluminio frecuentemente es del 61 % IACS, a excepción de la aleación 6201, la cual presenta una conductividad de 52,5 % IACS. Debido a que la capacidad de conducción está también determinada por el tipo de aislamiento o forro, el NEC indica a tres

temperaturas distintas y el tipo de aislamiento en la sección 310,15 las ampacidades en conductores de cobre y de Aluminio 8176 y 8030, las cuales se presentan en la tabla 310.15 (B) (16) del NEC, (anteriormente Tabla 310.16) donde se presentan las ampacidades permitidas de conductores aislados clasificados hasta 2000 voltios inclusive, temperaturas de 60 °C a 90 °C (140 °F a 194 °F), y no más de tres conductores que transportan corriente en bandeja, a ras de tierra, enterrados, apegados a temperatura ambiente de 30 °C (86 ° F)\*.

Tabla VIII. **Ampacidades de conductores 8176 y 8030.**

Índice de temperatura de los conductores (Ver Tabla 310.13.)							
	60°C – (140°F)	75°C – (167°F)	90°C – (194°F)	60°C – (140°F)	75°C – (167°F)	90°C – (194°F)	
			Types TBS, SA, SIS,				
			FEP, FEPB, MI, RHH,			Types TBS, SA, SIS,	
			RHW-2, THHN,			THHN, THHW,	
		Types RHW,	THHW, THW-2,		Types RHW,	THW-2, THWN-2,	
		THHW, THW,	THWN-2, USE-2, XHH,		THHW, THW,	RHH, RHW-2, USE-2,	
	Types TW, UF	THWN, XHHW, USE, ZW	XHHW, XHHW-2, ZW-2	Types TW, UF	THWN, XHHW, USE	XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
Size AWG or kcmil		<b>COPPER</b>		<b>ALUMINIO ALUMINIO</b>	<b>O COPPER-CLAD</b>		Size AWG or kcmil
<b>18</b>	—	—	14	—	—	—	—
<b>16</b>	—	—	18	—	—	—	—
<b>14*</b>	20	20	25	—	—	—	—
<b>12*</b>	25	25	30	20	20	25	12*
10*	30	35	40	25	30	35	10*

Continuación tabla VIII.

8	40	50	55	30	40	45	8
6	55	65	75	40	50	60	6
4	70	85	95	55	65	75	4
3	85	100	110	65	75	85	3
2	95	115	130	75	90	100	2
1	110	130	150	85	100	115	1
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0
2/0	145	175	195	115	135	150	2/0
3/0	165	200	225	130	155	175	3/0
4/0	195	230	260	150	180	205	4/0
250	215	255	290	170	205	230	250
300	240	285	320	190	230	255	300
350	260	310	350	210	250	280	350
400	280	335	380	225	270	305	400
500	320	380	430	260	310	350	500
600	355	420	475	285	340	385	600
700	385	460	520	310	375	420	700
750	400	475	535	320	385	435	750
800	410	490	555	330	395	450	800
900	435	520	585	355	425	480	900
1000	455	545	615	375	445	500	1000
1250	495	590	665	405	485	545	1250
1500	520	625	705	435	520	585	1500
1750	545	650	735	455	545	615	1750
2000	560	665	750	470	560	630	2000

Fuente: <https://www.electricaplicada.com/contenido-de-la-nec-national-electrical-code-spanish/> .

En lo que respecta a los factores de corrección de ampacidad donde la temperatura ambiente es diferente de 30 °C (86 °F) identificadas con \*, es necesario consultar la tabla 310.15 (B) (2) del NEC<sup>20</sup>.

<sup>20</sup> NEC. <https://conduit.site/tables/table-310.15-b-16.php>. Consulta: 22 de junio 2020.

En la tabla de ampacidad 310.15 (B) (16) se deben aplicar factores de corrección para temperaturas ambiente<sup>21</sup> que no correspondan a los 30 °C (86 °F), en la tabla nueve, se describe el factor de corrección respectivo que debe multiplicar las ampacidades permitidas según la temperatura.

Tabla IX. Factores de corrección a temperatura menor 30 °C

Factores de corrección de temperatura ambiente. Factores basados en 30 ° C (86 ° F)				
Temperatura ambiente (°C)	Índice de temperatura del conductor			Temperatura ambiente (°F)
	60 °C	75 °C	90 °C	
10 o menos	1.29	1.20	1.15	50 o menos
11-15	1.22	1.15	1.12	51-59
16-20	1.15	1.11	1.08	60-68
21-25	1.08	1.05	1.04	69-77
26-30	1.00	1.00	1.00	78-86
31-35	0.91	0.94	0.96	87-95
36-40	0.82	0.88	0.91	96-104
41-45	0.71	0.82	0.87	105-113
46-50	0.58	0.75	0.82	114-122
51-55	0.41	0.67	0.76	123-131
56-60	0.00	0.58	0.71	132-140
61-65	0.00	0.47	0.65	141-149
66-70	0.00	0.33	0.58	150-158
71-75	0.00	0.00	0.50	159-167
76-80	0.00	0.00	0.41	168-176
81-85	0.00	0.00	0.29	177-185

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

#### 2.4. Capacidad del aluminio de soportar las fuerzas impuestas bajo condiciones de corto circuito.

Al realizar un comparativo de un conductor de cobre con uno de aluminio, con la misma sección y largo, y se le aplica corriente de corto circuito el resultado será que el cobre tendrá un mejor desempeño derivado a que su coeficiente de resistencia es menor y el de temperatura es mayor que la del aluminio. La

<sup>21</sup> NEC. <https://conduit.site/tables/table-310.15-b-16.php>. Consulta: 22 de junio 2020.

resistividad depende de la temperatura del material, tal como se describe en tabla 10, que presenta datos basados en una temperatura referencia de 20 °C, referente a los coeficientes de resistencia y temperatura de ambos metales.

Tabla X. **Coeficiente de resistencia de cobre y aluminio**

Material	Coeficiente de resistencia	Coeficiente de temperatura	Conductividad
	- $\rho$ -	- $\alpha$ -	- $\sigma$ -
	(ohm m <sup>2</sup> /m)	(en grados °C)	(1 /( $\Omega$ m))
	( $\Omega$ m)	(1/°C)	
<b>Aluminio</b>	2.65 x 10 <sup>-8</sup>	3.8 x 10 <sup>-3</sup>	3.77 x 10 <sup>7</sup>
<b>Cobre</b>	1.724 x 10 <sup>-8</sup>	4.29 x 10 <sup>-3</sup>	5.95 x 10 <sup>7</sup>

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

Al aplicar un comparativo por calibre de la capacidad de corriente de corto circuito máximo por metal considerando distintas secciones de área, se determina que el cobre posee mejor desempeño en la misma sección de área. Sin embargo, el aluminio tiene una conductividad el 61 % IACS, lo que representa una compensación en el volumen del aluminio para obtener la misma conductividad, así como la capacidad de corto circuito, lo cual significa un circuito seguro y protegido, por lo que se debe considerar las capacidades de cada metal a fin de que el diseño sea de calidad.

Tabla XI. **Corriente máxima de cortocircuito por área conductora con cobre y aluminio**

Calibre conductor (mm <sup>2</sup> )	Corriente de corto circuito máxima (A)	
	Cobre	Aluminio
<b>95</b>	9,377	6,194
<b>120</b>	11,844	7,824
<b>150</b>	14,805	9,780
<b>185</b>	18,260	12,062
<b>240</b>	23,688	15,648
<b>300</b>	29,610	19,560
<b>400</b>	39,480	26,080
<b>500</b>	49,350	32,600
<b>630</b>	62,181	41,076

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

El cobre es un conductor térmico más efectivo que el aluminio<sup>22</sup>, sin embargo, las diferencias se reducen cuando se toman en cuenta los tamaños de conductores más grandes. De manera que, cuanto mejor sea la conductividad térmica, mejor será el rendimiento de cortocircuito del conductor. Cuando se hace la comparación entre los conductores, se debe tomar en cuenta los límites térmicos de los materiales en contacto con el conductor, siendo estos pantallas, aislamiento, cubiertas y chaquetas.

La corriente máxima de cortocircuito que se permite que fluya en el conductor aislado, o el blindaje metálico y componentes de unión (puesta a tierra), depende de la duración del cortocircuito y del material utilizado en el cable.

<sup>22</sup> GABRIAN. *Disipadores de cobre o aluminio. Lo que debe saber.* <https://www.gabrian.com/es/disipadores-de-cobre-o-aluminio-lo-que-debe-saber/>. Consulta: 23 de junio 2020.

### **2.4.1. Características de los conductores aislados en cortocircuitos**

Según se indica en la publicación *Short Circuit Characteristics of insulated cables No. P-32-382-2007 (R2013)* de ANSI/ICEA (2013), deben considerarse los siguientes elementos para estimar el rendimiento de cortocircuito de un circuito específico:

- La magnitud y duración de la corriente de falla incluyendo cualquier división de corriente de falla debido a las rutas conductoras disponibles.
- La capacidad de las uniones, terminaciones y otros accesorios en el circuito afectado para resistir las tensiones térmicas y mecánicas creadas por la falla.
- La interacción entre el circuito de falla y el equipo circundante, como soportes, amarres y abrazaderas.
- La capacidad del circuito del cable afectado, como está instalado, para resistir las fuerzas electromagnéticas creadas durante la falla.
- La temperatura máxima que los materiales de un cable pueden soportar sin sufrir daños debido al calentamiento causado por el flujo de corriente de falla.
- Daño al equipo adyacente debido a arcos en el sitio de la falla.
- Para conocer las limitaciones impuestas a la capacidad de cortocircuito del cable por la capacidad de falla de la cubierta / blindaje metálico del

cable, consulte la Publicación ICEA P-45-482, Características de cortocircuito de cubiertas y blindajes metálicos en cable aislado.

Una hipótesis simple e importante en la fórmula es el origen termodinámico del calor generado, en otras palabras, la duración de la falla es tan corta que se supone que todo el calor generado por la corriente de falla durante el tiempo en que esta está totalmente dentro del conductor. Por lo que la cantidad de calor disipado desde el conductor durante la secuencia de falla única de duración relativamente corta es mínima. También se puede disipar una cantidad significativa de calor durante los períodos de enfriamiento relativamente largos creados por fallas interrumpidas y restablecidas por medio del cierre automático de los dispositivos de protección del circuito. De tal manera que un cálculo no adiabático es más adecuado para tales circunstancias, así como para cortocircuitos únicos e ininterrumpidos con duración mayor a 2 segundos que requieren una exacta precisión<sup>23</sup>.

La fórmula que ICEA describe, se basa en la capacidad térmica del material conductor y el límite de temperatura transitoria del aislamiento. De tal manera, expone que: la cantidad de calor que contiene el conductor se crea por medio de la corriente de falla, además es una función del aumento de temperatura en el conductor<sup>24</sup>. La dimensión del aumento de temperatura corresponde a la diferencia entre la temperatura transitoria limitante del material de aislamiento y la temperatura de funcionamiento del conductor, justamente antes del inicio de la falla. Por lo que la temperatura transitoria limitante es la temperatura que no generó cambios relevantes en ningún componente del cable.

---

23 INSULATED CABLE ENGINEERS ASSOCIATION.  
[https://www.techstreet.com/standards/icea-p-32-382-2007-r2018?product\\_id=2007314](https://www.techstreet.com/standards/icea-p-32-382-2007-r2018?product_id=2007314).

Consulta: 23 de septiembre 2020.

<sup>24</sup> Ibid.

Además, se expone que existen ecuaciones para determinar los cálculos de cortocircuito en conductores de cobre o Aluminio. Los revestimientos y aislamientos, que determinan las temperaturas máximas permitidas de cortocircuito, son papel, tela barnizada y varios materiales termoplásticos y termofijos<sup>25</sup>. En dicho normativo se establecen límites de seguridad referentes a la temperatura, así como para los diferentes materiales de recubrimiento y aislamiento.

Estas ecuaciones son:

- El cortocircuito máximo permitido para un conductor específico y la duración del cortocircuito.
- El tamaño del conductor necesario para transportar una corriente de cortocircuito específica durante una duración determinada.
- La duración máxima que un conductor específico puede transportar una corriente de cortocircuito específica.

Existe actualmente una ecuación para determinar cálculos de cortocircuito con conductores de cobre o aluminio. Se debe tomar en cuenta que los aislamientos determinan la temperatura máxima permitida de cortocircuito<sup>26</sup>. La ecuación se fundamenta en el contenido de calor del material conductor y el límite de temperatura del aislamiento con la suposición de que el intervalo de tiempo es mínimo que el calor generado durante el cortocircuito está contenido en el conductor.

---

25 INSULATED CABLE ENGINEERS ASSOCIATION.  
[https://www.techstreet.com/standards/icea-p-32-382-2007-r2018?product\\_id=2007314](https://www.techstreet.com/standards/icea-p-32-382-2007-r2018?product_id=2007314).

Consulta: 23 de septiembre 2020.

26 Ibid.

Los resultados son lo suficientemente conservadores para omitir el efecto pelicular del conductor conocido también como efecto Skin o Kelvin, a excepción de conductores de gran tamaño. El efecto pelicular se consigue al dividir la variable derecha de las ecuaciones por la relación de resistencia CA / CC del conductor respectivo<sup>27</sup>.

Conductor de cobre:  $(I/A)^2 * T = 0.0297 \log_{10} ((T2 + 234) / (T1 + 234))$

Conductor de Aluminio:  $(I/A)^2 * T = 0.0125 \log_{10} ((T2 + 228)/(T1 + 228))$

Donde:

**I** = Corriente de cortocircuito (amperes)

**A** = Área transversal del conductor (circular mils)

**t** = Duración del cortocircuito (segundos)

**T1** = Máxima temperatura normal de operación, 90 °C

**T2** = Temperatura máxima de cortocircuito, 250 °C

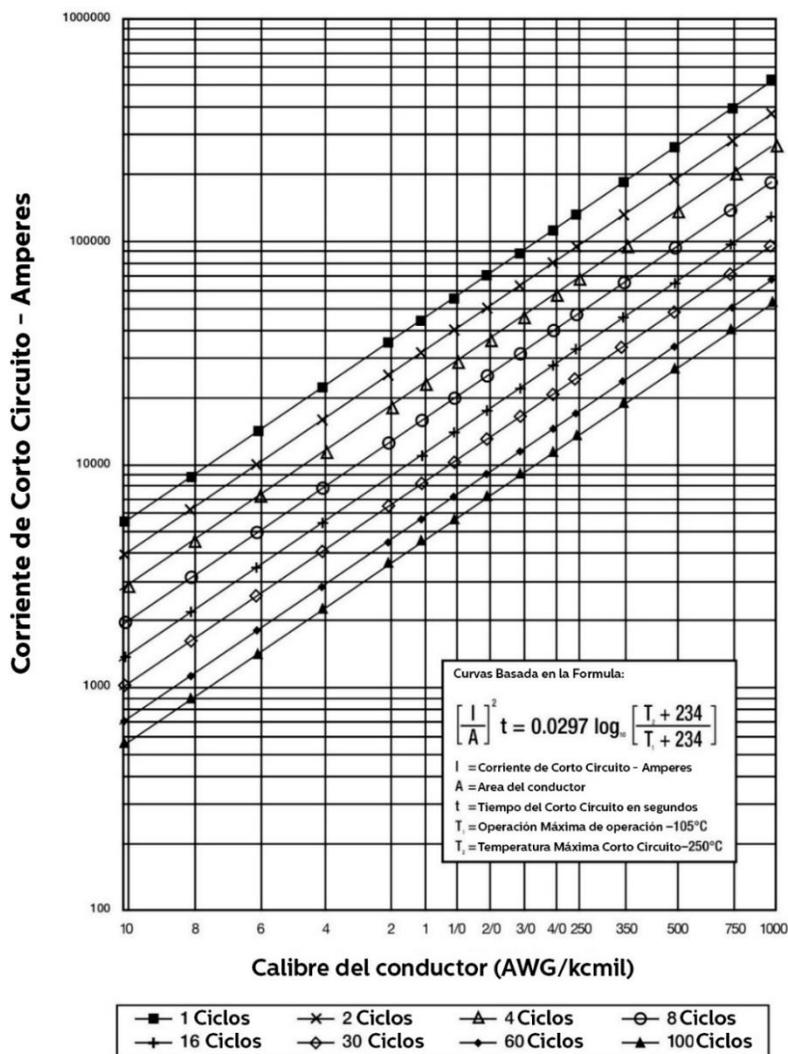
La descripción gráfica de las ecuaciones, se observan en los esquemas correspondientes a las figuras: uno, dos, tres y cuatro, en los cuales la capacidad de cortocircuito es de 10 AWG a 1000 kcmil, referentes a dos tipos de conductores: de cobre y Aluminio con aislamiento XLPE por varios períodos de tiempo. En la figura uno, se refiere a la corriente de corto circuito nominal permitida para cables de cobre aislados con material termofijo, a una operación continua máxima de 90 °C; en la figura dos, se observa la corriente de corto circuito nominal permitida para cables de cobre aislados con material termofijo, a

---

27 INSULATED CABLE ENGINEERS ASSOCIATION.  
[https://www.techstreet.com/standards/icea-p-32-382-2007-r2018?product\\_id=2007314](https://www.techstreet.com/standards/icea-p-32-382-2007-r2018?product_id=2007314).  
Consulta: 23 de septiembre 2020.

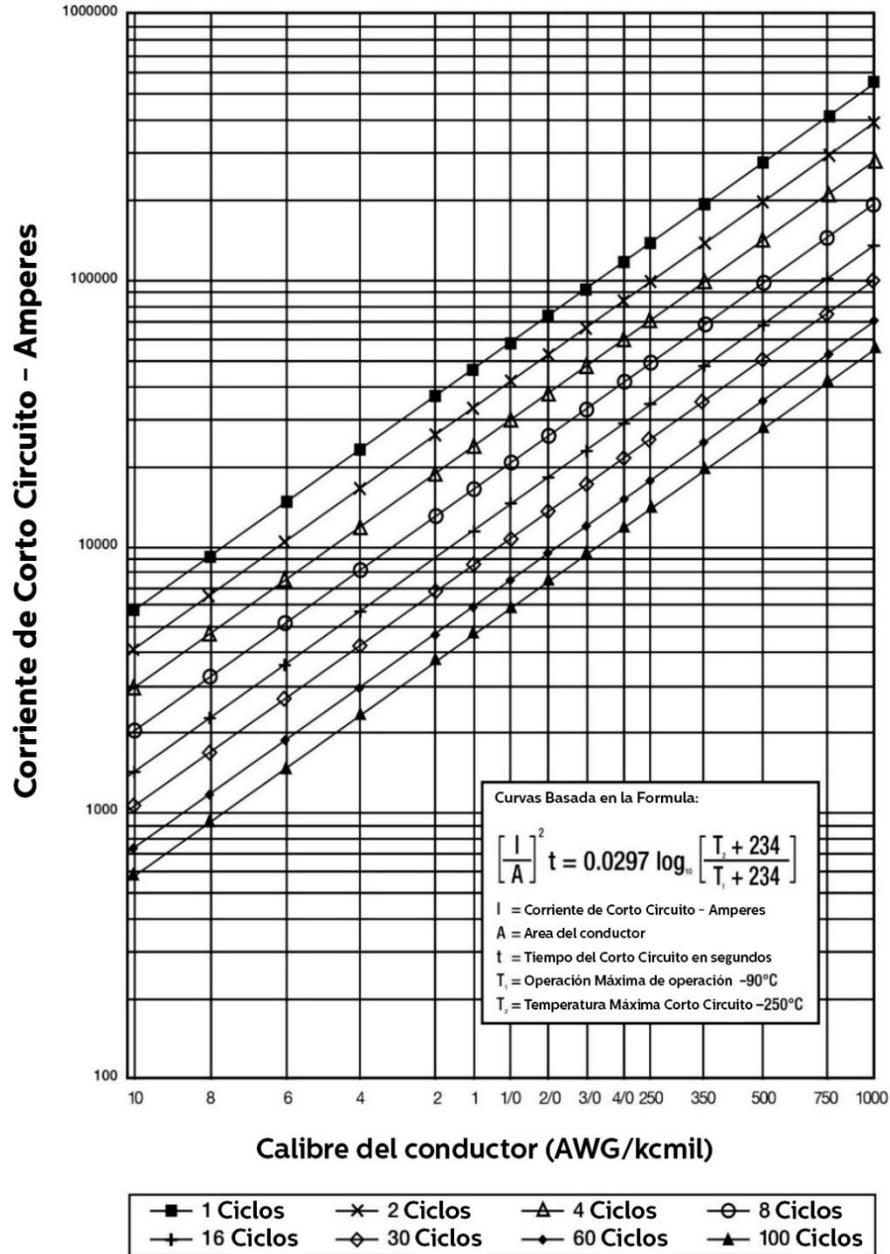
una operación continua máxima de 105 °C; en la figura tres, se refiere a la corriente de corto circuito nominal permitida para cables de aluminio aislados con material termofijo, a una operación continua máxima de 90 °C; y en la figura cuatro, se refiere a la corriente de corto circuito nominal permitida para cables de aluminio aislados con material termofijo, a una operación continua máxima de 105 °C.

Figura 1. **Esquema de corriente de corto circuito nominal para cables de cobre, con operación continua máxima de 90 °C**



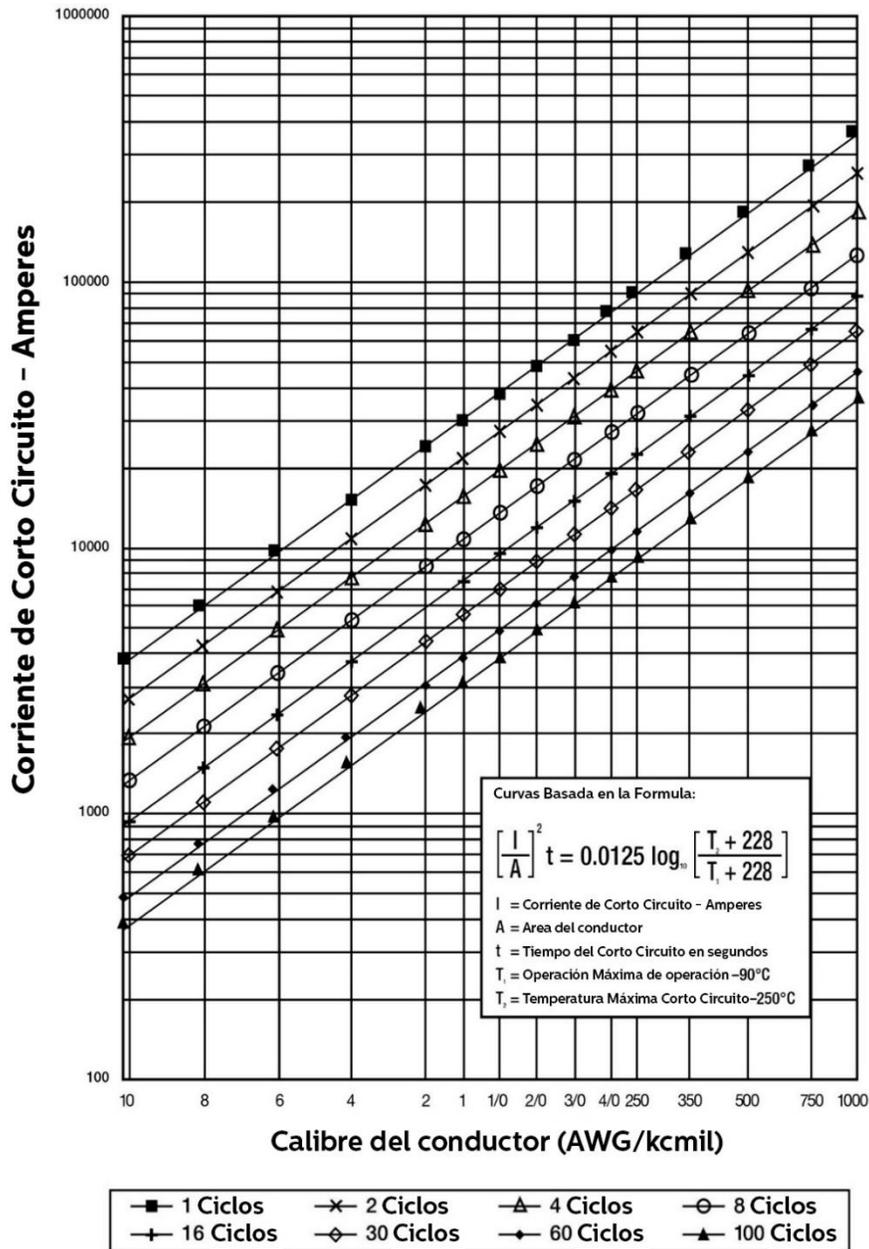
Fuente: <http://general-cable.dcatalog.com/v/Building-Wire/?page=86>.

Figura 2. Esquema de corriente de corto circuito nominal para cables de Cobre, con operación continua máxima de 105 °C



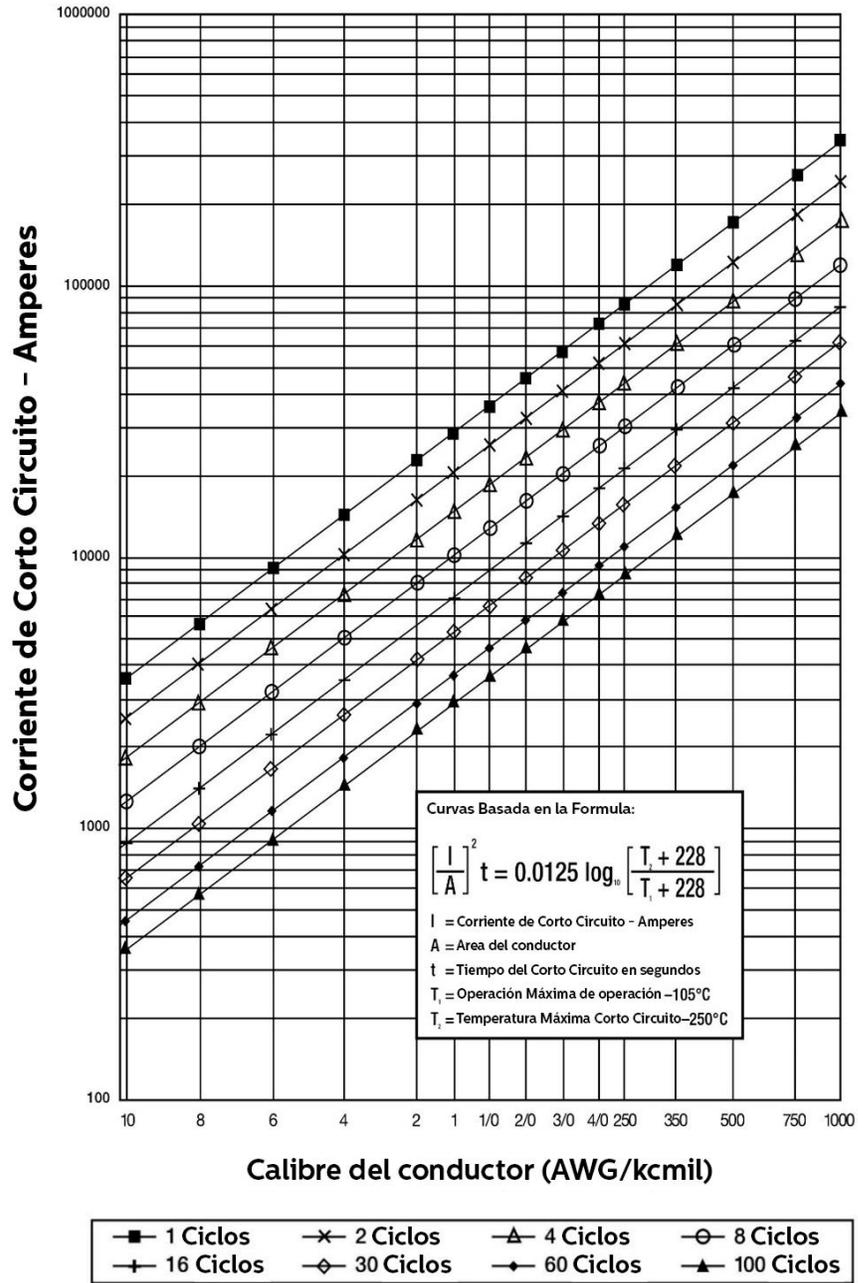
Fuente: <http://general-cable.dcatalog.com/v/Building-Wire/?page=86>.

Figura 3. Esquema de corriente de corto circuito nominal para cables de Aluminio, con operación continua máxima de 90 °C



Fuente: <http://general-cable.dcatalog.com/v/Building-Wire/?page=86>.

Figura 4. Esquema de corriente de corto circuito nominal para cables de Aluminio, con operación continua máxima de 105 °C



Fuente: <http://general-cable.dcatalog.com/v/Building-Wire/?page=86>.

## 2.4.2. Restricciones térmicas

Cuando la duración de la corriente de cortocircuito es breve (varias décimas de segundo hasta un máximo de cinco segundos) se supone que todo el calor producido permanece en el conductor, lo que hace que la temperatura aumente. Se dice que el proceso de calentamiento es adiabático (no transfiere el calor), una suposición que simplifica el cálculo y da un resultado pesimista, es decir, una temperatura del conductor más alta que la que realmente ocurriría, ya que, en la práctica, algo de calor saldría del conductor y pasaría al aislamiento<sup>28</sup>.

Durante un período de 5 segundos o menos, la relación  $I^2t = k^2S^2$  caracteriza el tiempo en segundos durante el cual un conductor de área  $S$  (mm<sup>2</sup>) puede transportar una corriente  $I$ , antes de que su temperatura alcance un nivel que dañe el aislamiento circundante.

Tabla XII. **Valor de la constante K de acuerdo a la tabla 43 del IEC 603664-4-43**

		Tipo de aislante para el conductor			
		PVC ≤ 300 mm <sup>2</sup>	PVC > 300 mm <sup>2</sup>	EPR XLPE	Hule 60 °C
Temperatura inicial (°C)		70	70	90	60
Temperatura final (°C)		160	140	250	200
Metal conductor	Cobre	115	103	143	141
	Aluminio	76	68	94	93

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

28 SCHNEIDER ELECTRIC. *Busway Systems Catalog 5600CT9101R03/18*. USA. 2018. Editorial Schneider Electric.

El método de verificación consiste en comprobar que la energía térmica  $I^2t$  por ohmio del material conductor, que deja pasar el disyuntor o breaker (dado en los catálogos de los fabricantes) es menor que la permitida para el conductor particular (como se muestra en la tabla a continuación) la cual muestra la tensión térmica máxima permitida para cables  $I^2t$  (expresado en amperios<sup>2</sup> x segundo x 10<sup>6</sup>) considerando los materiales aislantes más comunes en el mercado, que con el PVC (para los THWN-2/THHN) y XLPE (para el XHHW-2).

Tabla XIII. **Tensión térmica máxima permitida para cables  $I^2t$**

S (mm <sup>2</sup> )	PVC		XLPE	
	Cobre	Aluminio	Cobre	Aluminio
<b>1.5</b>	0.0297	0.0130	0.0460	0.0199
<b>2.5</b>	0.0826	0.0361	0.1278	0.0552
<b>4</b>	0.2116	0.0924	0.3272	0.1414
<b>6</b>	0.4761	0.2079	0.7362	0.3181
<b>10</b>	1.3225	0.5776	2.0450	0.8836
<b>16</b>	3.3856	1.4786	5.2350	2.2620
<b>25</b>	8.2656	3.6100	12.7806	5.5225
<b>35</b>	16.2006	7.0756	25.0500	10.8241
<b>50*</b>	29.8390	13.0320	46.1330	19.9360

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

\*Para el cable de 50 mm<sup>2</sup>, los valores se calculan para una sección transversal real de 47,5.  
mm<sup>2</sup>

## 2.5. Los efectos de la expansión y contracción térmica

Las propiedades de resistencia a la tensión y la expansión térmica de los materiales son diferentes para cobre y aluminio, de manera que la capacidad de soportar los efectos térmicos por variación en la corriente o falla de cortocircuito en las terminales en equipos fabricados con barras de aluminio es menor<sup>29</sup>.

Tabla XIV. **Comparativo propiedades físicas del cobre y AA6201**

Características	Cobre	Aluminio B6201
Resistencia a la tensión (lb/in <sup>2</sup> )	50,000	32,000
Resistencia a la tensión para la misma conductividad (lb/in <sup>2</sup> )	50,000	50,000
Peso para la misma conductividad	100	54
Sección transversal para la misma conductividad	100	156
Resistencia específica (ohms-cir/mil ft) (20 °C ref)	10.6	18.52
Coefficiente de expansión (por °Cx10 <sup>-6</sup> )	16.6	23

Fuente: <https://e-management.mx/cobre-vs-Aluminio-en-equipos-electricos-mitos-y-realidades/>.

Tal como se observa en la Tabla 14, la resistencia a la tensión del aluminio es menor que la del cobre. De manera que al utilizarse en una aplicación de corriente específica, la sección transversal de la barra de aluminio será 56 % mayor que la de cobre y la resistencia a la tensión para la misma conductividad no variará en ambos materiales. Lo que significa que la resistencia a los esfuerzos mecánicos ocurridos durante un cortocircuito es la misma, tanto para el cobre como para el aluminio. Tanto las normas UL, IEEE y NEMA, para

---

29 ENERGY MANAGEMENT. *Cobre vs. Aluminio en equipos eléctricos: mitos y realidades*. <https://e-management.mx/cobre-vs-aluminio-en-equipos-electricos-mitos-y-realidades/>. Consulta: 30 de junio 2020.

establecer criterios de pruebas de cortocircuito para equipo eléctrico, se fundamentan en publicaciones, por lo que los equipos fabricados con estas normas deben apearse a ellas, sin importar el material utilizado<sup>30</sup>.

## **2.6. Reacción al medio ambiente**

Siempre se ha destacado, como una de las principales cualidades del aluminio en comparación con el acero, su gran resistencia a la corrosión frente al ambiente. Sin embargo, también conviene saber que tiene una menor resistencia a la corrosión de contacto con otro metal. La corrosión es la interacción de un metal con un medio que lo rodea, produciendo el consiguiente deterioro en sus propiedades físicas y químicas<sup>31</sup>. Por lo tanto se puede decir que es un proceso natural por el cual el metal sufre una alteración y deterioro por reacciones químicas o electroquímicas.

### **2.6.1. Tipos de corrosión**

Hay dos tipos comunes de corrosión<sup>32</sup> y que son importantes para este estudio: a) la corrosión ante el ambiente, y b) la corrosión galvánica. La corrosión ante el ambiente se refiere al contacto del Aluminio contacto con el oxígeno. Esta oxidación es rápida si la comparamos con la oxidación del acero, pero que se diferencia en que formada la capa de óxido en la superficie del aluminio, esta actúa como un escudo, debido a que es muy dura y compacta, evitando de esta

---

30 ENERGY MANAGEMENT. *Cobre vs. Aluminio en equipos eléctricos: mitos y realidades*. <https://e-management.mx/cobre-vs-aluminio-en-equipos-electricos-mitos-y-realidades/>. Consulta: 30 de junio 2020

31

AUTOCASIÓN. *La corrosión del aluminio*. <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/la-corrosion-del-aluminio>. Consulta 25 de junio 2020.

<sup>32</sup> Ibid.

forma la progresión de la oxidación en el Aluminio. Sin embargo, en el acero no ocurre lo mismo, ya que hasta provocaría el deterioro de la pieza.

Aun cuando el potencial de oxidación del aluminio ante el ambiente es mucho mayor si lo comparamos con el potencial del hierro, debido a que se oxida mucho más rápido, la oxidación del aluminio no progresa hacia el interior rápidamente como ocurre con el hierro. Lo anterior le da una característica a la oxidación del aluminio, que la industria la ha aprovechado para desarrollar sistemas de protección (anodizados), que está basado en una oxidación controlada de una superficie con el objetivo de obtener un mayor espesor de óxido y a la vez más compacto, con el fin de aumentar su resistencia a la intemperie.

Esta capa de oxidación en el aluminio se denomina «Alúmina», la cual se produce de forma natural en la superficie de la pieza y posee una temperatura de fusión muy elevada, aproximadamente de 2050 °C, que comparada con los 660 °C del aluminio, se puede determinar que le da al material un 300 % más de resistencia de fusión. Sin embargo, también es un problema e inconveniente para obtener soldaduras eficientes, de manera que regularmente se debe corregir la superficie de la pieza por medio de cepillos de alambre de acero inoxidable justamente antes de soldar<sup>33</sup>.

La modificación de la superficie por medio del anodizado, el cual se da de forma natural en el Aluminio, ya que es una propiedad intrínseca del mismo, la cual le proporciona de forma natural de una delgada película de óxido, para

---

33 AUTOCASIÓN. *La corrosión del aluminio.* <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/la-corrosion-del-aluminio>. Consulta 25 de junio 2020.

protegerse de la acción de los agentes atmosféricos. El espesor de la capa de óxido cuando se ha formada de modo natural es de alrededor de 0,01 micras sobre el metal recientemente decapado, y se puede aumentar por medio de exponer el metal a un horno de recocido entre 0,2 o 0,4 micras.

Con un proceso de anodizado controlado se puede obtener capas de óxido más gruesas y de características distintas a las de la capa natural, que no es sujeto de interés para este estudio, ya que es utilizado para piezas para la construcción, decoración o para los rines de automóvil. El espesor se puede llegar a tener desde 25 micras hasta 100 micras.

El anodizado natural del aluminio es importante conocerlo porque afecta las partes del conductor que van a ser utilizadas para la conectividad, por ejemplo el extremo de un cable que será introducido en la borna de un tablero eléctrico, o una terminal, entre otros, siempre debe ser sujeta esa superficie a un proceso de raspado para eliminar lo más posible la capa de óxido que funciona como aislante<sup>34</sup>.

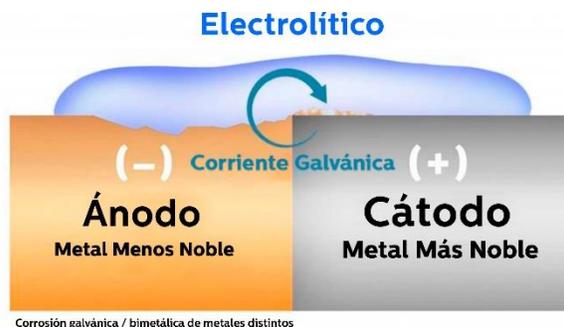
---

34 AUTOCASIÓN. *La corrosión del aluminio.*  
<https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/la-corrosion-del-aluminio>. Consulta 25 de junio 2020.

## 2.6.2. Corrosión galvánica

La corrosión galvánica se produce cuando se dan tres elementos: un electrolito corrosivo y dos metales que están en contacto. Esta corrosión se da del material menos noble (el ánodo) y disminuye en el más noble (el cátodo). Los metales nobles según la tabla periódica de elementos son el Cu, Ru, Rh, Pd, Ag, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Bh, Hs, Mt, Ds, Rg. El aluminio no se encuentra dentro del grupo de los principales metales nobles, por lo que se puede entender que en un contacto de Cu y Al, es el Aluminio el que más sufre de corrosión<sup>35</sup>.

Figura 5. **Imagen de la corriente galvánica que se provoca en la corrosión galvánica**



Fuente: <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/la-corrosion-del-Aluminio>.

Se entiende como corrosión metálica la pérdida de metal o material en un punto de la superficie expuesta. La corrosión se produce de varias formas, que

35 AUTOCASIÓN. *La corrosión del aluminio*. <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/la-corrosion-del-aluminio>. Consulta 25 de junio 2020.

van desde ataques uniformes sobre toda la superficie hasta ataques locales agudos.

Cuando un electrolito corrosivo como el agua y dos metales están en contacto (celda galvánica), la corrosión aumenta en el material menos noble (el ánodo) y disminuye en el más noble (el cátodo). Este aumento en la corrosión se denomina corrosión galvánica. La tendencia de un metal o de una aleación a corroerse en una celda galvánica viene determinada por su posición en la serie galvánica. La serie galvánica indica la nobleza relativa de los distintos metales y aleaciones en un entorno determinado (por ejemplo: agua de mar). Cuanto más lejos se encuentre un metal en la serie galvánica, mayores serán los efectos de la corrosión galvánica. Los metales o las aleaciones del extremo superior son nobles, mientras que los del extremo inferior son menos nobles.

El principio de la corrosión galvánica se utiliza en la protección catódica, la cual consiste en utilizar un ánodo de sacrificio (metal menos noble que el que se pretende proteger) el cual presenta una tensión más activa que el metal de la estructura, que generalmente es acero. El ánodo de sacrificio se elabora con zinc, magnesio y Aluminio<sup>36</sup>.

### **2.6.3. Contribución de la producción de aluminio a la contaminación ambiental.**

Como toda explotación minera, la producción de Aluminio representa un reto para los ambientalistas, por un lado, la extracción de la bauxita en minas de

---

36 *AUTOCASIÓN. La corrosión del aluminio.*  
<https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/la-corrosion-del-aluminio>. Consulta 25 de junio 2020.

cielo abierto, ya de por sí es un contribuyente a la destrucción del ambiente en donde se realiza, además la bauxita se procesa en óxido de Aluminio (alúmina) antes de que pueda convertirse en aluminio mediante electrólisis. Las refinерías de alúmina emplean el proceso Bayer que libera alúmina de la bauxita en una solución de sosa cáustica dentro de un digestor. A nivel mundial, se produce una tonelada de alúmina a partir de alrededor de 2,9 toneladas de bauxita. El residuo de bauxita resultante «lodo rojo» se compone de partículas insolubles<sup>37</sup>.

Los residuos de bauxita del proceso Bayer han planteado durante mucho tiempo un problema para el almacenamiento y la gestión. La industria genera unos 120 millones de toneladas de residuos por año a partir de unos 100 procesadores. La mayor parte se almacena en estanques de retención. Muy poco se reutiliza. La investigación continúa buscando aplicaciones adecuadas.

Otro tema es la energía utilizada, considerada como un mayor problema de la industria. El consumo del aluminio es tan grande, que se le llama, en broma, como electricidad congelada. La cantidad de energía necesaria para fabricar Aluminio es de 211 GJ por tonelada, en comparación con 22.7 GJ por tonelada de acero. La extensión del uso de energía se debe a que la fuerza del enlace químico entre el aluminio y el oxígeno es significativamente más fuerte que el mismo enlace entre el hierro y el oxígeno. Como resultado, se requiere mucha más energía para dividir el enlace y formar el metal.

Sin embargo, la ventaja que presenta el aluminio es poder ser reprocesado sin perder sus características. El reciclaje del aluminio generalmente produce varios ahorros importantes en materia económica y energética, aun cuando se tienen en cuenta los costes de recogida, separación y reciclaje. El principal

---

37 GREENSPEC. <https://www.greenspec.co.uk/building-design/aluminium-production-environmental-impact/>. Consulta: 28 de octubre 2020.

beneficio que se da al reciclar el aluminio es que solamente se produce el 5 % del dióxido de carbono durante el proceso de reciclado comparado con la producción de aluminio desde la materia prima, además, por citar un ejemplo, la producción de una lata a partir de aluminio reciclado requiere un 95 % menos de energía de la que sería necesaria para hacerla desde materiales vírgenes. Por lo anterior, reciclar Aluminio se puede hacer a nivel mundial, aunque el país no cuente con gran producción de energía eléctrica.



### 3. ALUMINIO Y COBRE

En el presente capítulo, se describen las características del aluminio con el cobre en su comportamiento como conductor de energía. La menor capacidad de conducción del aluminio versus el cobre, no lo descalifica como alternativa, debido no solo a la diferencia de densidad entre ambos metales, sino por el costo entre uno y otro, lo que ha llevado a los diseñadores eléctricos a tomar en cuenta a los conductores de aluminio. Se describen también los materiales que existen para aislar los conductores eléctricos, aislamiento que puede utilizarse de forma indistinta en cobre o una aleación de aluminio determinada.

#### 3.1. Comparativo entre aluminio y cobre

Un comparativo de las propiedades físicas del aluminio con el cobre se presentan en la tabla XV, en la que se describe que el cobre tiene una mejor conductividad, es menos resistivo y más denso.

Tabla XV. **Comparativo propiedades físicas del aluminio y cobre**

Propiedades	Cobre (Cu)	Aluminio (Al)
Conductividad (s/m) a 20 °C	$5.96 \times 10^7$	$3.5 \times 10^7$
Resistividad ( $\Omega$ m) a 20 °C	$1.68 \times 10^{-8}$	$2.82 \times 10^{-8}$
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	8.96	2.7

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

En la tabla 16, se compara las características generales de: producción, costo, capacidad de reciclaje, de ambos metales como conductores eléctricos.

Tabla XVI. **Características generales del cobre y Aluminio**

<b>Cobre – Cu</b>	<b>Aluminio - Al</b>
<b>Ocupa el puesto 25 en la lista de elementos más abundantes sobre la corteza terrestre</b>	<b>Ocupa el puesto 3 en la lista de elementos más abundantes sobre la corteza terrestre</b>
Producción mundial a 2016: 19 400 (miles de toneladas)	Producción mundial a 2016: 59 000 (miles de toneladas)
Mayor costo por su demanda.	Menor costo por su abundancia
Mayor volatilidad de precio	Menor volatilidad de precio
Reciclable	Reciclable
Se puede fundir	Se puede fundir
Se puede inyectar	Se puede inyectar
Maleable a temperatura ambiente	Maleable a temperatura ambiente
Dúctil	Dúctil
Capacidad de esfuerzo cortocircuito para masas iguales	Capacidad de esfuerzo cortocircuito (con una equivalencia eléctrica), tiene 30 % mayor capacidad de calor, comportándose mejor en las sobrecargas y esfuerzos de cortocircuitos

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

Otra de las características descritas en tabla 16, para que el aluminio sea considerado como alternativa para conductor eléctrico es su menor volatilidad en el costo versus el cobre. No se puede determinar si el costo del aluminio fuera elevado, influiría para tomarlo en cuenta como alternativa en la electricidad, tal como sucede en la industria de conductores.

### 3.1.1. Propiedades del cobre y aluminio

Ya se han expuesto las diferencias físicas, por lo que un factor importante a considerar es la resistencia en los conectores eléctricos que pueden aumentar o disminuir dependiendo de la expansión de un material.

Cuando se tienen ciclos térmicos en una instalación, las conexiones se ven sometidas a fuerzas por dilatación y contracción que puede producir deformaciones en los puntos de contacto y promover la fluencia o deformación en los materiales, lo cual se podría considerar como la principal preocupación en el uso del Aluminio, debido a que su coeficiente de dilatación térmica en promedio es aproximadamente 42 % superior al cobre, pero con la ventaja que el Aluminio disipa más rápido el calor que el cobre, sin embargo, varía según el tipo de aleación<sup>38</sup>.

Un factor que ayuda a mantener baja la temperatura o ser más eficiente es el hecho que al utilizar aluminio el volumen es mayor para compensar su menor conductividad que de la del cobre. Además el aluminio posee un módulo de Young entre 6,3-7,0 N/m<sup>2</sup>, el cual es menor al del cobre que es 10,8 N/m<sup>2</sup>, con lo cual se determina que el aluminio es menos rígido y obliga a tomar consideraciones distintas que al utilizar cobre en las terminaciones y conexiones. Se debe tomar en cuenta siempre que independientemente del material seleccionado las conexiones deben ser robustas para evitar una conectividad deficiente a lo largo del tiempo, debido a la deformación de la expansión térmica, así como a la fluencia.

---

38 GREENSPEC. <https://www.greenspec.co.uk/building-design/aluminium-production-environmental-impact/>. Consulta: 28 de octubre 2020.

Si bien es cierto que el aluminio es suave en comparación con el cobre, por ello solo se deben usar conectores de comprensión, y no se tiene en cuenta que con ciertas aleaciones se puede lograr que el módulo de elasticidad se logre equiparar al del cobre, con el fin de no tener problemas con la conectividad.

Aun cuando se ha logrado homologar una aleación de aluminio con el cobre, siempre existe la necesidad de utilizar un recubrimiento para reducir la oxidación ya que esto puede afectar la conexión, incluso una conexión Al a Al. Además, el recubrimiento a menudo incluye estaño o plata. Estos materiales reducen la corrosión en el aluminio y cobre, ya que son propensos a la oxidación cuando se exponen a la atmósfera.

La corrosión también es un problema cuando hay dos metales diferentes en un sistema, el aluminio reaccionará electroquímicamente con el Cu si hay presencia de humedad (humedad que actuaría como un electrolito que ya se explicó). Las uniones del cable Al a Cu son conectores que han sido soldados por fricción y encapsulados para evitar el ingreso de oxígeno y humedad que puedan producir corrosión dañe una conexión de Al a Cu.

### **3.1.1.1. Peso y capacidad eléctrica del cobre y aluminio**

Es muy probable que la propiedad del material más importante para decidir entre usar aluminio o cobre en una aplicación eléctrica es su capacidad de conducción.

El cobre (Cu) presenta una mejor capacidad de conducción eléctrica por volumen. Sin embargo, el Aluminio presenta una mejor capacidad por peso. Ya

se ha mostrado que el Aluminio a un volumen igual en ambos, el aluminio pesa el 30 % de lo que pesa el cobre, pero el aluminio puede ser hasta un 60 % más liviano que el cable con capacidad de corriente comparable de cobre.

El peso del aluminio, por poseer menor capacidad conductiva, no tiene relación directa, ya que se necesita más aluminio (Al) para igualar la capacidad de Cu. En general se puede decir que una libra de aluminio tiene una capacidad conductiva eléctrica igual a 1,85 libras.

Por ejemplo, una barra colectora de Cu podría pesar alrededor de 550 lb., mientras que la misma barra colectora en aluminio sería de aproximadamente 300 lb. Por lo anterior, el reducir el peso de los conductores, es probable que ayude en la reducción en el costo de la mano de obra, o con el envío del mismo.

### **3.1.1.2. Otras Consideraciones al comparar aluminio y cobre (Al vs Cu)**

El trabajo de instalación y manejo no es un elemento del material de un sistema eléctrico, este sí afecta el costo. De tal manera que algunos proyectos pueden ser más rentables si se disminuye el peso, porque requiere menos a la estructura de la construcción, así como la robustez de la soportería y manejo del material, entre otros aspectos<sup>39</sup>.

Sin embargo, no en todas las aplicaciones será la mejor elección, ya que se debe considerar el diámetro agregado en un cable de aluminio de manera que

---

39 ELECTRICAPLICADA. *Ventajas y desventajas del cobre vs aluminio cableado*. <https://www.electricaplicada.com/ventajas-y-desventajas-del-cobre-vs-aluminio-cableado-electrico/> Consulta: 15 de junio 2020.

coincida con la capacidad de Cobre (Cu)<sup>40</sup>. Existe un reglamento en el Código Eléctrico Nacional (NEC) sobre la cantidad máxima de cables para llenar un conductor. Se debe considerar que para conducir la misma cantidad de energía que puede llevar una de cobre, es indispensable añadir más material, de tal manera que ocuparán más espacio los conductores de aluminio. Ante la situación, comercialmente la industria ha compactando los conductores de aluminio, sin embargo el problema no es del todo resuelto, lo cual puede impactar en utilizar mayores diámetros de tubería, ancho en los canales, o espacio en los ductos, factores que afectan el costo y requiere mayor cantidad de mano de obra.

A pesar de esta tendencia, el costo y la planificación siguen siendo factores clave al estimar proyectos. El aluminio es el tercer material más abundante en la corteza terrestre, mientras que Cu es el vigésimo quinto. Lo anterior plantea una realidad que se mostrará a detalle más adelante, el costo del cobre fluctúa más que el del aluminio, siendo este último más estable.

Si un diseñador eléctrico planea un proyecto a largo plazo o futuro, los precios del Cu son casi imposible de predecir, aunque se tengan fundamentos sólidos como oferta y demanda. Por ello la posibilidad que se presente un costo para el Cu más alto al momento de la ejecución del proyecto, que lo proyectado, puede llegar a ser inalcanzable la compra, poniendo en serios aprietos la ejecución de un proyecto. Por lo anterior, para instalaciones grandes, tal el caso de generadores eléctricos, los mismos se diseñan con aluminio, caso particular de los grandes proyectos eólicos.

---

40 ELECTRICAPLICADA. *Ventajas y desventajas del cobre vs aluminio cableado*. <https://www.electricaplicada.com/ventajas-y-desventajas-del-cobre-vs-aluminio-cableado-electrico/> Consulta: 15 de junio 2020.

En el caso de los parques eólicos, las turbinas de viento pueden tener hasta 328 pies de alto y usar un cable de gran calibre para transmitir electricidad al suelo. Reducir el peso de un cable, como el que requiere para transmisión de energía, podría ayudar a reducir los soportes y tensiones innecesarias en los conectores, y facilitar su instalación. Es indispensable que al planificar durante largos períodos de tiempo se obtenga un precio estable para obtener estimaciones precisas del material a utilizar.

Los proyectos grandes que requieren cantidades masivas de cableado pueden encontrar que el aluminio es rentable. Tal y como se presenta más adelante, y para efectos de análisis, se mostrará que el costo para el cobre en un mes determinado fue USD 2,58 / lb., mientras que el aluminio costo USD 0,76 / lb. Como el costo es un factor determinante, sin negar lo anterior, si un aumento de tamaño no es una preocupación y se necesita una gran cantidad de él, el Aluminio podría ser una mejor opción que el cobre.

### **3.1.1.3. Relación peso volumen del aluminio con el cobre**

Este comparativo es fundamental para comprender el gran valor que tiene el conocer las aplicaciones de los cables de aluminio, Larry y Pryor (2015) indican que esto ocurre cuando la densidad de Cu ( $559 \text{ lb/ft}^3$  o  $8954,32 \text{ Kg/m}^3$ ) se compara con la de Al ( $169 \text{ lb / ft}^3$  o  $2707,12 \text{ Kg/m}^3$ ) sin descartar la relación de conductividad de Al a Cu del 61 %, el resultado demuestra que en una libra por libra, el Aluminio tiene una capacidad de amperaje aproximadamente de 1,85 veces mayor que la del cobre. En otras palabras, una libra de aluminio tiene la misma capacidad eléctrica que 1,85 libras de cobre.

El artículo 310 de NEC enumera las ampacidades permitidas de los conductores de aluminio y cobre<sup>41</sup>. A modo de comparación, la tabla 310,16 muestra que cuando un cable de 500 MCM, 75° C, el cobre tiene una clasificación de 380 A, un cable de 750 MCM, 75° C de aluminio sería necesario. Esto significa un aumento del 50 % en la sección transversal para la misma capacidad de carga actual. Si lo vemos en peso, el 500 MCM de cobre pesa 2297.43 Kg/Km, y el 750 MCM de aluminio pesa 1046.18 Kg/Km. Por lo anterior se puede concluir en términos generales que aun cuando el cobre tiene 1,7 veces más conductividad que los conductores de aluminio, pesa 3,3 veces más que el aluminio. Por lo tanto, los conductores de aluminio pueden reducir considerablemente el peso por la misma cantidad de pérdida de potencia en comparación con el cobre.

---

41 NATIONAL ELECTRIC CODE. <https://www.electrificacion.com/contenido-de-la-nec-national-electrical-code-spanish/>. Consulta: 20 de julio 2020.

## **4. CONDUCTORES DE ALUMINIO**

### **4.1. Consideraciones por tomar en cuenta con los conductores de aluminio para baja tensión**

Para esta acción es necesario considerar otros aspectos importantes aparte de las propiedades físicas, mecánicas y eléctricas del aluminio, entre ellos es conocer la forma efectiva y adecuada de utilizar el conductor de Aluminio y su relación con el medio ambiente. En lo que respecta al adecuado uso de los conductores de aluminio, se deben conocer antecedentes sucedidos en el pasado como consecuencia de la mala aplicación de estos, en lo que respecta a la efectiva utilización, es necesario seleccionar los elementos adecuados para que la instalación sea confiable, entre ellos: los equipos y conectores apropiados, se debe considerar también el costo del metal.

Si el Aluminio no fuera más barato que el cobre, no tendría sentido el tomarlo como opción, por lo que se considera importante como afecta el costo del metal en la bolsa internacional de metales en el precio final de los conductores. Lo que se presente con el aluminio es totalmente aplicable al cobre, de manera que al conocer las ventajas del aluminio puede tomarse una mejor decisión.

#### **4.1.1. Problemas en las instalaciones con conductores de aluminio**

Los problemas ocurridos durante las décadas de los 60`s y 70`s en Estados Unidos, por problemas de instalaciones eléctricas se debieron a que el cableado

de aluminio instalado en los hogares estadounidenses causó peligro de incendio. Los problemas con la instalación, las conexiones de salida y el metal en sí provocaron un cableado que se degradó y aflojó con el tiempo.

Poco después de que el cableado de aluminio se hizo popular, surgieron algunos problemas, entre ellos: luces parpadeantes, placas de cubierta calientes en interruptores y receptáculos, y aislamiento quemado en el cableado. Hubo un problema de sobrecalentamiento, lo que significó incendios. Al investigar se descubrió que había otras tres diferencias entre el cobre y el Aluminio:

- Suavidad: el aluminio es un metal mucho más blando que el cobre. Los electricistas que utilizaban el cobre descubrieron que era muy fácil cortar o comprimir el cableado de aluminio al quitar el aislamiento o hacer conexiones. Tenían que ser más suaves. El cable dañado crea puntos calientes locales y provoca un sobrecalentamiento.
- Arrastramiento: cuando la electricidad fluye a través del cable, este se calienta. El alambre de aluminio se expande más que el cobre cuando se calienta. La repetida expansión y contracción a medida que el cable se calentó y enfrió causó que el cable se deslizara por debajo de los tornillos terminales que lo sujetaban en su lugar. Este alambrado provocó conexiones flojas y sobrecalentamiento.

La aleación de aluminio utilizada en esa ocasión fue la 1350, que presenta grandes diferencias de comportamiento térmico al cobre y temple. Por ello el tema no se logró subsanar hasta que fue plenamente desarrollada las aleaciones 8176 y 8030 que, como ya se ha mencionado, su comportamiento térmico y mecánico es el más similar al cobre.

- Oxidación: cuando los metales se oxidan, forman un óxido en la superficie. El óxido en el acero es rojo, el óxido en el cobre es verde y el óxido en el aluminio es blanco. No es un gran problema cuando el cableado de cobre se oxida, ya que el óxido de cobre que se forma es eléctricamente conductor. No interfiere con la capacidad del cable para hacer su trabajo. Cuando el cableado de aluminio se oxida, el óxido blanco no es un muy buen conductor eléctrico. Interfiere con el flujo de electricidad y puede causar sobrecalentamiento.

#### **4.1.2. Consideraciones por tomar en cuenta para que la instalación sea confiable**

En primer lugar, hay que saber reconocer que al trabajar con aluminio se deben tener varias consideraciones, es otro metal, es distinto al cobre y por ende hay que saber el trabajar con el mismo. El objetivo de este estudio es resaltar las diferencias mecánicas, es decir saber dónde se puede aplicar, así como describir los beneficios técnicos y económicos, tal y como lo han hecho los fabricantes de transformadores, que en gran medida han emigrado de las bobinas de cobre a las de aluminio, por su menor peso y precio, lo cual les ha permitido ser competitivos en un mercado donde existen muchos proveedores y necesidades. Anteriormente, una generadora de 300 MWh era grande (por ejemplo, Chixoy), sin embargo, actualmente existen plantas de más de 1000 MWh que son muy comunes, lo cual da una idea del crecimiento en la demanda de energía a nivel global, e igualmente suceden con las construcciones comerciales y residenciales, las cuales exigen contar con servicios para electrodomésticos, electrónica y climatización, situación que hace 40 años no existía o bien eran vistas como suntuosas. Solo la iluminación ha sufrido una gran transformación, con la tecnología LED toda la arquitectura en iluminación ha

variado, no se diga con la domótica y los equipos electrónicos que son parte de la cotidianidad de vida de cualquier comunidad.

Por la mayor demanda que existe, y que los centros de carga han cambiado de tener su mayor carga en iluminación (por la ya casi inexistente iluminación incandescente), y se han centrado en climatización, servicios de limpieza, y los distintos equipos electrónicos, también las instalaciones eléctricas han variado y su costo ha aumentado.

Tomando en cuenta lo anterior, el cableado con conductor de Aluminio ha aumentado, en sus acometidas, y alimentación a las principales cargas, por lo que se deben buscar opciones para realizar la instalación, y en base a lo vivido, se ha llegado a enfocar el tema de la instalación en las conexiones, si las mismas cumplen con las exigencias que propone el conductor de Aluminio, no se tendrá problemas técnicos.

#### **4.1.2.1. Conexiones**

Al conocer que el problema está en las conexiones, como receptáculos, interruptores, lámparas, conexiones de electrodomésticos y en el panel. La solución fueron conectores especiales.

110.14 Conexiones eléctricas. Debido a que metales distintos tienen características diferentes, los dispositivos tales como terminales a presión o conectores de empalme a presión y lengüetas soldadas se deben identificar en cuanto al material del conductor y se deben instalar y usar adecuadamente. Por ningún motivo se deben colocar, en un terminal o en un conector de empalme, conductores de metales distintos en donde hagan contacto físico entre ellos (como, por ejemplo, cobre y Aluminio, cobre y Aluminio revestido de cobre o Aluminio y Aluminio revestido de cobre), a menos que el dispositivo esté identificado para ese fin y esas condiciones de uso. Si se utilizan materiales como soldadura, fundentes, inhibidores, y

compuestos, estos deben ser adecuados para el uso y deben ser de un tipo que no afecte adversamente los conductores, la instalación o el equipo<sup>42</sup>.

Por lo anterior, la industria eléctrica creó conectores que funcionan bien con cobre y aluminio. Eso incluyó:

- Recipientes pequeños marcados CO / ALR o AL-CU.
- Grandes receptáculos (> 20 amperios) marcados AL-CU o CU-AL.
- Interruptores marcados CO / ALR o AL-CU.
- Conectores de cable retorcidos (a veces llamados tuercas de cable) marcados con AL-CU o CU-AL.
- Los paneles eléctricos y los interruptores marcados con AL-CU o CU-AL también están disponibles.

La norma que deben cumplir los conectores está determinada por la UL 486A-486B:

Esta norma se aplica a los conectores de polaridad única para su uso con todas las aleaciones de cobre o Aluminio, o conductores de Aluminio recubiertos de cobre, o los tres, para proporcionar contactos entre piezas portadoras de corriente, de acuerdo con el Código Eléctrico Canadiense, Parte I, C22.1, en Canadá, el Código Eléctrico Nacional, NFPA-70, en los Estados Unidos de América, o la Norma para Instalaciones Eléctricas, NOM-001-SEDE<sup>43</sup>.

---

<sup>42</sup> INSTITUTO NACIONAL AMERICANO DE NORMAS. pág. 40.  
<https://es.scribd.com/document/347300195/NEC-NFPA-70-2008-Spanish-pdf>. Consulta: 26 octubre 2020.

<sup>43</sup> UL STANDARD. pág. 7.  
<https://standardscatalog.ul.com/ProductDetail.aspx?productId=UL486a-486b>. Consulta: 24 de septiembre 2020.

Cabe mencionar que los conductores de Aluminio revestidos de cobre son utilizados únicamente en los Estados Unidos según el normativo del Código Eléctrico Nacional, NFPA 70.

- Conectores de cable de presión destinados a sujetar uno o más conductores.
- Conectores destinados a su uso en aparatos electrodomésticos y equipos que cumplan con los requisitos para dichos aparatos electrodomésticos y equipos.
- Conectores de soldadura.
- Conectores de alambre de empalme destinados a su uso con 4 Conductores AWG (21,2 mm<sup>2</sup>) o más grandes. Un conector de cable y cable de empalme que toma una gama de tamaños de conductor puede incluir tamaños de conductor menores que 4 AWG (21,2 mm<sup>2</sup>).
- Barras para neutros.
- Conectores no aislados que se utilizan en circuitos clasificados 35 000 V y por debajo.
- Conectores con clasificación amperio no destinados a uso general.
- Conectores perforantes de aislamiento.

Este estándar está diseñado para su uso con conductores en los rangos de tamaño de la siguiente manera:

- Aluminio:
  - 12 AWG (3,3 mm<sup>2</sup>) y 10 AWG (5,3 mm<sup>2</sup>) sólido.
  - 12 AWG (3,3 mm<sup>2</sup>) a 2 000 kcmil (1 010 mm<sup>2</sup>) trenzados, concéntricos, de clase B concéntricos, comprimidos y compactos.
  - 12 AWG (3,3 mm<sup>2</sup>) a 1 000 kcmil (508 mm<sup>2</sup>) cable de entrada único trenzado (SIW).

Esto responde a que no se pueden utilizar conectores de cobre o terminales del mismo material, se debe tener el cuidado que toda la conectividad de los conductores cumplan con la norma anterior, de lo contrario se puede producir un par galvánico o bien conexiones con desperfectos que se deriven en problemas de calentamiento o pérdida de la conducción.

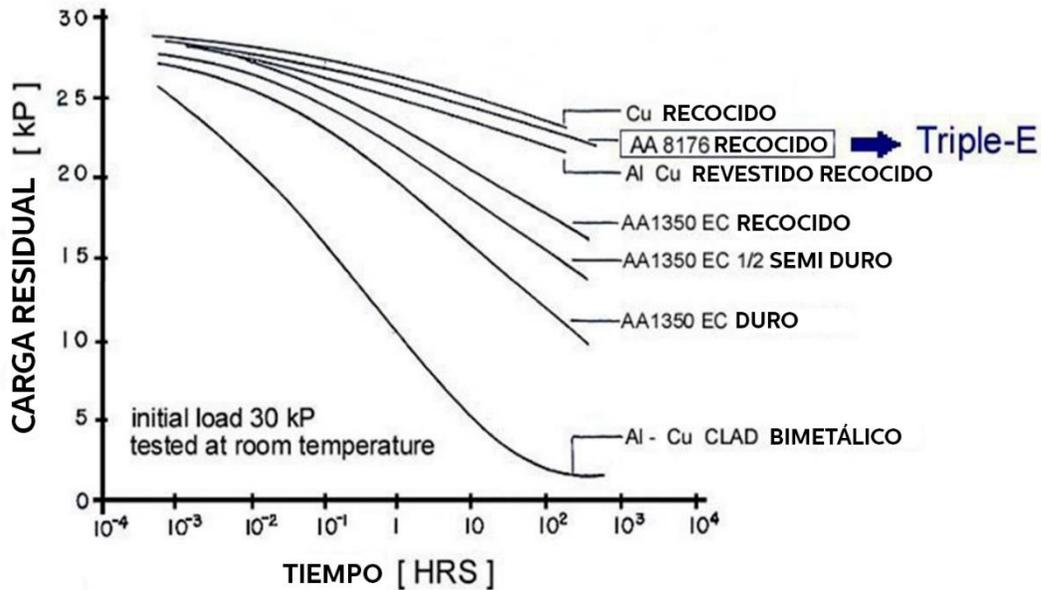
#### **4.1.2.2. Problemas comunes con los conectores y/o terminales**

Los problemas causados con los conectores de aluminio en la segunda mitad del siglo XX en instalaciones eléctricas residenciales se originaron por la fluencia (*creep*) que posee, tal como se observa en la figura 6, se muestra la variación en el tiempo a diferentes presiones<sup>44</sup>.

---

<sup>44</sup> SOUTHWIRE. Grouper.ieee.org.  
<https://grouper.ieee.org/groups/railtransit/ocs/Archives/OCSarchive2011/AluminumPresentationlEEE%5bCompatibilityMode%5d.pdf>. Consulta: 28 de septiembre 2020.

Figura 6. Gráfico variación de la fluencia (creep) en kP

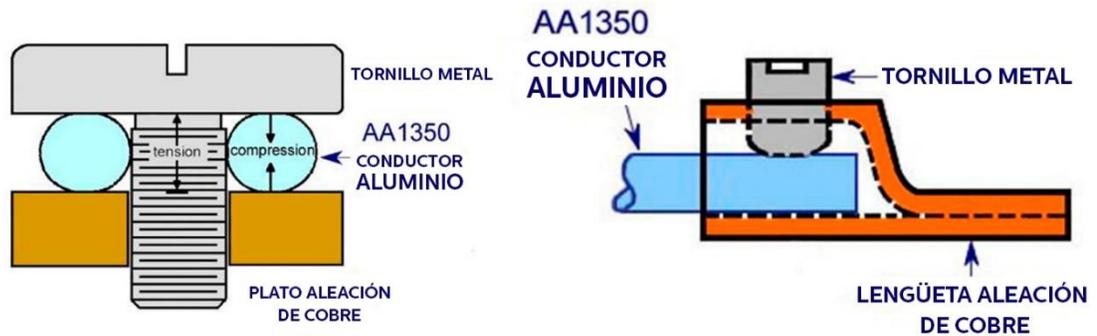


Fuente: <https://grouper.ieee.org/groups/railtransit/ocs/Archives/OCSarchive2011/AluminumPresentationIEEE%5bCompatibilityMode%5d.pdf>

Esto demuestra dos hechos fundamentales, primero: el aluminio aleación 1350 muestra una gran diferencia de comportamiento mecánico con respecto al cobre, por ello las fallas que se detectaron en su momento, y segundo: la gran similitud que presenta la aleación de aluminio 8176, que se utiliza para los cables en baja tensión como sustituto de los conductores de cobre.

En la figura siete, se presenta los materiales no deseables para un conector a utilizar con cables de aluminio:

Figura 7. **Materiales no deseables en una conexión con aluminio**



Fuente: <https://grouper.ieee.org/groups/railtransit/ocs/Archives/OCSarchive2011/AluminumPresentationIEEE%5bCompatibilityMode%5d.pdf>.

El resultado del uso de materiales no adecuados es la deformación rápida del conductor debido a la fluencia (*creep*) y la pérdida de carga mecánica que produce degradación del conector.

#### **4.1.3. Condiciones y materiales por considerar para instalaciones eléctricas efectuadas con conductores de aluminio**

Hay dos condiciones que se presentan de forma cotidiana al realizar una instalación con conductores de aluminio, la corrosión por oxidación y otra por la presencia de cobre, que se explica a continuación.

#### **4.1.3.1. Corrosión en conductores de aluminio y cobre**

La corrosión se define como el deterioro de los materiales metálicos a través de reacciones combinadas químicas y electroquímicas<sup>45</sup>. Los efectos de la corrosión en metales causan repercusión tanto en seguridad, conservación de materiales, así como en aspectos económicos. En el caso del Aluminio, la corrosión surge en su relación con el ambiente, por lo que el oxígeno es un elemento natural que al entrar en contacto con el aluminio le produce deterioro, sin embargo, su contacto con el acero y otros metales, le causa daños más agudos que requieren reparación y uso de adhesivos que contengan un recubrimiento de cinc y que a su vez no sean conductores de electricidad<sup>46</sup>.

##### **4.1.3.1.1. Corrosión por exposición al oxígeno**

El aluminio se oxida fácilmente cuando se expone al aire. Una capa externa dura y fuertemente unida de óxido eléctricamente aislante se forma rápidamente alrededor del metal. El cobre también se oxida cuando se expone al aire, pero en un grado mucho menor. El óxido que se forma es relativamente blando y, a diferencia del aluminio, es conductor, aunque no tan conductor como el metal base. Por lo cual, es indispensable limpiar las terminales previamente a realizar la conexión.

---

<sup>45</sup> PASTRANA, Rubén, ARGÜELLO, Wilson. *Corrosión en metales*. <https://www.coursehero.com/file/60560904/CORROSION-EN-METALESpdf/>. Consulta: 11 agosto 2020.

<sup>46</sup> AUTOCASIÓN. *La corrosión del aluminio*. <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/la-corrosion-del-aluminio>. Consulta 25 de junio 2020.

#### **4.1.3.1.2. Corrosión galvánica entre cobre y aluminio**

La corrosión galvánica ocurre cuando metales diferentes están en contacto entre sí y con un electrolito. Para el aluminio, un metal reactivo en la serie galvánica, esta es la causa más común de corrosión. Cuando el aluminio entra en contacto con un material más catódico, actúa como un ánodo de sacrificio y se vuelve susceptible a la corrosión. El cobre, que es un metal relativamente noble, no suele presentar una gran cantidad de corrosión galvánica.

#### **4.1.3.2. Consecuencias de la corrosión**

La corrosión puede volverse una amenaza por dos razones básicas:

La primera razón es la pérdida de material y, en consecuencia, la pérdida de funciones vitales del conductor de aluminio y la segunda razón es el revestimiento laminado de aluminio con la introducción de una resistencia adicional, lo que conlleva inevitablemente a la falla.

Las diferencias entre ambos metales respecto a la corrosión es la clave para evitar fallas eléctricas, por lo que es importante utilizar los conectores correctos.

#### **4.1.3.3. Corrosión: aluminio vs. cobre**

En general, se reconoce que la corrosión del aluminio es un problema importante, aunque todavía se está trabajando para comprender completamente el mecanismo, su impacto en la confiabilidad y el desarrollo de métodos de protección relacionados. Sin embargo, particularmente cuando se preparan juntas en conductores de aluminio, se debe prestar atención al conector con respecto al fenómeno de oxidación. La capa de óxido debe eliminarse y, a

menudo, se puede aplicar un compuesto inhibidor de óxido para reducir la oxidación.

Para el cobre, la corrosión no es un problema. El cobre es resistente a la mayoría de los productos químicos orgánicos y puede operar indefinidamente en la mayoría de los entornos industriales. Se puede formar una pátina verde después de una larga exposición a la atmósfera, pero esta es una función de la película protectora de la superficie y no indica un ataque dañino. De hecho, la protección del cobre es innecesaria, incluso cuando se usa en instalaciones en alta mar cuando está expuesta a una atmósfera salada.

#### **4.1.3.4. Coeficiente de expansión térmica y fluencia o *creep***

Dos fenómenos se deben tomar muy en cuenta:

El CTE, siglas en inglés del coeficiente de expansión térmica que se define como el aumento fraccional de longitud por unidad de aumento en temperatura. Micro pulgadas / pulgada °F.

La fluencia o *creep* es la medida de la tasa de cambio de una dimensión del material durante un período de tiempo cuando es sujeto a una fuerza a una temperatura particular. El cobre y el aluminio de la serie AA8000 tiene tasas de fluencia similares a diferencia de la aleación de aluminio 1350, que tiene una velocidad de fluencia mucho mayor que el cobre. Micro pulgadas por pulgada por hora a temperatura T y fuerza F.

Por lo anterior, los materiales a utilizar para los conectores deben ser compatibles al material, con ello se evita problemas de corrosión y que las

terminales se aflojen produciendo puntos calientes en la instalación, y con ello evitar fallas en el circuito.

El conductor de aluminio y el conector deben tener *creep* o fluencias similares para evitar la pérdida de carga de contacto y degradación del circuito, durante su vida útil.

Requerimientos por parte de UL y el NEC al utilizar conductores de aluminio para instalaciones en baja tensión para edificaciones<sup>47</sup>.

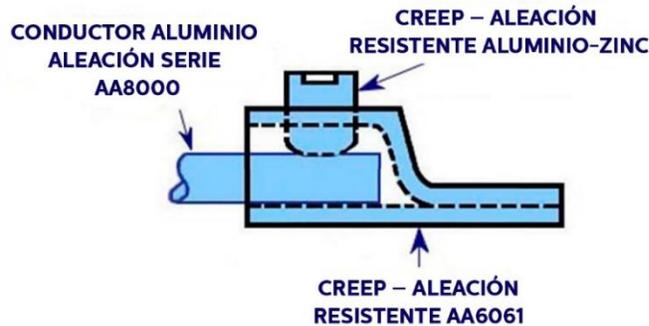
- Conductores de Aluminio de 600 voltios utilizados en instalaciones para edificaciones deberán estar hechos de AA-8000 serie.
  
- Conectores:
  - UL 486A & 486B
  - Terminales de doble clasificación para cobre o aluminio bimetálicos, para una conexión por compresión y mecánica.

En la figura ocho, se observa un ejemplo típico de una conexión de doble clasificación UL Al-Cu, Al7-Cu o Al9-Cu

---

<sup>47</sup> Asociación Nacional de Protección contra incendios. <https://archive.org/details/nationalelectric00quin/page/n1/mode/2up>. Consulta: 22 de junio 2020.

Figura 8. **Conexión de doble clasificación UL AL-Cu**



Fuente: <https://grouper.ieee.org/groups/railtransit/ocs/Archives/OCSarchive2011/AluminumPresentationIEEE%5bCompatibilityMode%5d.pdf>.

#### **4.1.3.4. Instalaciones donde se mezclan conductores o barras de cobre con aluminio**

La combinación de aluminio y cobre es problemática. Por ello en el mercado hay terminales de cable de compresión Al / Cu para acoplar conductores de aluminio con elementos de cobre. Y es que hay que tomar en cuenta que, el cobre ha sido el material elegido durante décadas, y continúa utilizándose, existen problemas para conectar ambos materiales de manera segura. En la práctica, los ingenieros eléctricos se enfrentan a este desafío cada vez más a menudo<sup>48</sup>.

Se requiere conectar aluminio y cobre con más frecuencia de lo que se piensa. Por ejemplo, es necesario si un conductor de anillo de Aluminio está ubicado en un área industrial, pero las plantas adyacentes se suministran a través

<sup>48</sup> KLAUKE. <https://www.klauke.com/at/en/correctly-connecting-al-and-cu> .Consulta: 15 de octubre 2020.

de conductores de cobre. Incluso en estaciones transformadoras, los conductores de Aluminio deben conectarse a barras de cobre.

En figura nueve, se muestran imágenes de los conectores Cu / Al para unir conductores a barras de distinto metal para evitar los problemas antes indicados.

Figura 9. **Conectores Cu/Al para unir cables de cobre con aluminio**



Fuente: <https://www.klauke.com/at/en/correctly-connecting-al-and-cu>.

No hay que confundir las terminales Cu/Al para unir cables de distinto metal, a las terminales bimetálicas que son fabricadas para conductores de aluminio, que también se pueden utilizar con conductores de cobre.

En la figura 10, se observa terminales de la serie 4000, marca 3M que ofrece el mercado.

Figura 10. **Terminal bimetálica para cables de cobre y/o aluminio**



Fuente: <https://multimedia.3m.com/mws/media/691681O/3m-scotchlok-copper-aluminum-compression-lugs.pdf>.

Las terminales de compresión 3M Scotchlok Copper / Aluminum 40000 Series, están hechos de aluminio de alta conductividad y están diseñados para cubrir una amplia gama de tamaños de conductores desde 6 AWG hasta 1000 kcmil (MCM). Las terminales son de un orificio para calibres del 6 AWG hasta 1000 kcmil (MCM) y terminales de dos orificios, para mayores requisitos de seguridad, que van desde 1/0 AWG hasta 1000 kcmil(MCM). Están diseñados para conductores de Aluminio o cobre. Cada terminal está electro estañado para resistir la corrosión electrolítica. Se instalan usando herramientas estándar de la industria<sup>49</sup>.

En síntesis, hay dos tipos de conectores, uno para unir conductores de cobre y Aluminio, y conectores para ser utilizados con conductores de Aluminio y/o cobre.

---

<sup>49</sup> 3M. <https://multimedia.3m.com/mws/media/691681O/3m-scotchlok-copper-aluminum-compression-lugs.pdf>. Consulta: 15 de octubre 2020.

#### **4.1.4. Consideraciones económicas**

El precio de los conductores está definido por el costo de los metales con los cuales están fabricados. A continuación, se describen las más relevantes.

##### **4.1.4.1. Factores que determinan los precios de los conductores de Aluminio y cobre**

Tanto el aluminio como el cobre están formados de metal no ferroso, proceso de manufactura, aislamiento, embalaje y transporte. De manera que al analizar el precio comercial de conductores calibre 2 AWG, los cuales son ampliamente utilizados en la industria de la construcción, comparando el costo de los conductores con el precio en que el metal se cotiza en la bolsa de valores, se determinará que el costo del cobre en metal es aproximadamente el costo del 65 % del conductor, y en el caso de los Aluminios, el costo es de aproximadamente el 25 % en comparación a los conductores.

Dichos datos se desglosan en la tabla 17.

Tabla XVII. **Comparativo del costo del metal versus precio de venta en el mercado de un conductor de aluminio y cobre**

Cable aislado	Contenido de metal Kg/Km	Costo según el LME promedio febrero 2020 US\$/KG	Total, costo conductor x metal US\$/KM	Costo MN (Q) tipo de cambio 7.70 x dólar	Precio mercado Guatemala Q/Km*	Costo del metal en el precio de mercado en Guatemala
Cable 2 AWG THHN 19H COBRE	304.9	5.60	1,707.44	13,147.29	20,285.71	0.65
Cable 2 AWG XHHW-2 19 ALUMINIO 8176	92.19	1.54	141.97	1,093.19	4,410.71	0.25
Cable 1/0 AWG XHHW-2 19 ALUMINIO 8176	147.11	1.54	226.55	1,744.43	6,919.64	0.25

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

El precio de mercado en Guatemala (\*), fue dado por medio de una cotización emitida por Almacén Antillón Guatemala, 5 de agosto 2020, precio no incluye el IVA.

El precio del conductor se obtiene al multiplicar el costo del metal según lo publicado por la bolsa de metales de Londres, por el contenido de metal que posee el conductor por kilómetro, teniendo claro que esto no incluye ningún otro costo, como de convertir el cobre a cable, aislar, marcar, embalar, transportar y comercializar, en donde cada actor presente en la cadena de suministros obtiene un margen en la transacción de los insumos.

Por lo que se puede entender que por cada dólar que cuesta un conductor de cobre como el THHN, solo en cobre el consumidor está pagando más o menos el USD 0,65 solo por el metal, y en aluminio paga USD 0,25, por lo que el impacto de cada punto porcentual que varía el costo de la materia prima es en la proporción del contenido de metal por conductor.

De manera que el precio del metal en la principal bolsa en donde se comercializa los metales no ferrosos, El London Metal Exchange, más conocidos por LME, determina el precio del conductor cada día del año. Si el metal sube, el conductor lo hará de forma proporcional, igualmente si el costo baja. Por ello es importante entender esta dinámica, porque el conductor llega a ser el 40 % del costo de una instalación comercial y domiciliar, por lo que afectará cual variación grande en la bolsa, el costo final de la instalación.

La predicción de una variación en el costo de los metales es muy compleja, ya que no solo depende de la oferta y demanda. Según modelos aceptados en el mundo de la minería, para poder determinar sus inversiones en las faenas, las variables que inciden de una forma u otra en los precios son:

- Consumo y demanda de los metales.
- Producción.
- Tipo de cambio del dólar americano y el precio del petróleo.
- Los índices de las bolsas de valores, principalmente Standard & Poor's 500 más conocido por S&P500.

Ante dichas variables se suman que el cobre principalmente, por la alta demanda que existe, hay inversores de corto plazo que utiliza el metal como refugio a sus inversiones, cuando el dólar se deprecia.

El Aluminio también se mueve muy parecido al cobre, pero su precio es regularmente el 30 % del cobre, lo que motiva el uso de los conductores en Aluminio, ya que reduce considerablemente el costo de la instalación y su impacto es menor ante las variaciones que pueden darse en la bolsa.

Si se revisa la demanda mundial de los metales no ferrosos en el siglo XX, se observará que la demanda estaba concentrada en los países más industrializados, encabezando la misma por Estados Unidos de América, seguido de Japón, Alemania, Gran Bretaña, Italia, Canadá y Francia<sup>50</sup>. Es hasta finales de siglo que aparece China como un actor importante, y es a principios del siglo XXI, que China pasa a ser el país de mayor demanda, llegando hoy en día a ser determinante en la misma, al punto que en los análisis se considera la demanda de China y el resto del mundo, ya que solo este país demanda aproximadamente el 35 % de los metales no ferrosos, siendo el segundo productor de cobre con una participación del 18 % y el primero en aluminio con una participación del 27 %.

#### **4.1.4.2. Costo en la bolsa de valores de los metales y su impacto en el precio final del conductor**

En la tabla 21 se presenta el impacto que tiene el costo del metal en el precio final de un conductor, por ello en la industria los metales no ferrosos se le llaman *commodities*, (productos de alta demanda) tal y como sucede con el petróleo, el oro, la plata, y varios productos agrícolas, entre ellos.

---

<sup>50</sup> COMISIÓN CHILENA DE COBRE.  
<https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Bases%20de%20Datos/Precio-de-los-Metales.aspx>  
Consulta: 16 de octubre 2020.

En la bolsa de valores el precio del metal se cotiza a diario, regularmente los fabricantes venden el conductor considerando el precio promedio mensual previo al mes de facturación<sup>51</sup>. Si se compran conductores en un mes específico, se utilizará el costo promedio del metal del mes anterior, ver tabla 18.

Tabla XVIII. **Costo diario del cobre y aluminio en la bolsa de Londres mes de febrero 2020**

COTIZACIÓN DIARIA DEL CU Y AL SEGÚN LME		
FECHA	COBRE USD/KG	ALUMINIO USD/KG
3/02/20	2.5379	0.7686
4/02/20	2.5637	0.7652
5/02/20	2.5918	0.7657
6/02/20	2.5973	0.7702
7/02/20	2.5642	0.7682
10/02/20	2.5671	0.7602
11/02/20	2.5837	0.7663
12/02/20	2.6068	0.7743
13/02/20	2.5927	0.7718
14/02/20	2.6023	0.7731
17/02/20	2.6317	0.7614
18/02/20	2.5982	0.7625
19/02/20	2.6061	0.7648
20/02/20	2.5991	0.7652
21/02/20	2.5864	0.7607
24/02/20	2.5662	0.7586
25/02/20	2.5689	0.7643
26/02/20	2.5465	0.7604
27/02/20	2.5483	0.7580
28/02/20	2.5279	0.7543
PROMEDIO	2.5793	0.7647

Fuente: <https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Bases%20de%20Datos/Precio-de-los-Metales.aspx>.

Por lo tanto, el costo a asumir por el metal es de USD 2,5793 por kilogramo de cobre y USD 0,7647 por kilogramo de aluminio.

<sup>51</sup> COMISIÓN CHILENA DE COBRE.  
<https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Bases%20de%20Datos/Precio-de-los-Metales.aspx>  
 Consulta: 16 de octubre 2020.

#### 4.1.4.3. Relación costo amperaje versus tipo de conductor (comparativo entre cobre y aluminio)

Para conocer cuánto vale conducir un amperio en conductores con similar capacidad de corriente, en tabla 19 se describe la ampacidad de un conductor de cobre THHN-THWN-2 a 90° C y uno de aluminio aleación 8176 XHHW-2, que se manejan el mercado guatemalteco<sup>52</sup>.

Tabla XIX. Ampacidad de los conductores 2 y 1/0 AWG

Índice de temperatura de los conductores (Ver Tabla 310.13.)							
	60°C – (140°F)	75°C – (167°F)	90°C – (194°F)	60°C – (140°F)	75°C – (167°F)	90°C – (194°F)	
			Types TBS, SA, SIS,				
			FEP, FEPB, MI, RHH,			Types TBS, SA, SIS,	
			RHW-2, THHN,			THHN, THHW,	
		Types RHW,	THHW, THW-2,		Types RHW,	THW-2, THWN-2,	
		THHW, THW,	THWN-2, USE-2, XHH,		THHW, THW,	RHH, RHW-2, USE-2,	
	Types TW,	THWN, XHHW,	XHHW, XHHW-2,	Types TW,	THWN, XHHW,	XHH, XHHW,	
	UF	USE, ZW	ZW-2	UF	USE	XHHW-2, ZW-2	
<b>Size AWG or kcmil</b>		<b>COBRE</b>		<b>ALUMINIO O COPPER-CLAD ALUMINIO</b>			<b>Size AWG or kcmil</b>
2	95	115	130	75	90	100	2
1/0	125	150	170	100	120	135	1/0

Fuente: <https://www.electricaplicada.com/contenido-de-la-nec-national-electrical-code-spanish/>.

<sup>52</sup> NATIONAL ELECTRIC CODE. Sección 310,15, <https://www.electricaplicada.com/contenido-de-la-nec-national-electrical-code-spanish/>. Consulta: 20 de julio 2020.

De tal manera que, al analizar los datos, se puede elegir el calibre 2 AWG en cobre y 1/0 en aluminio, que poseen muy similar ampacidad, 130 amperios y 135 amperios respectivamente, y calibres que ya fueron mostrados sus costos en metal y precio de venta en el mercado local.

En la tabla XX se observa que tanto un conductor de cobre calibre 2 AWG con capacidad de conducir hasta 130 amperios, costaría Q 156,04 por kilómetro, mientras que un conductor de Aluminio 8176 calibre 1/0 AWG con capacidad de conducir hasta 135 amperios, el costo para conducir un amperio por kilómetro es de Q 51,26, lo que representa el 33 % del costo con un conductor de cobre.

Tabla XX. **Costo en quetzales para conducir un amperio en conductores de cobre y aluminio**

Cable aislado	Contenido de metal Kg/Km	Precio mercado Guatemala Q/Km	Ampacidad* Amp	Costo para conducir un Amp x Q
Cable 2 AWG THHN 19H COBRE	304.9	20,285.71	130	156.04
Cable 2 AWG XHHW-2 19 ALUMINIO 8176	92.19	4,410.71	110	40.10
Cable 1/0 AWG XHHW-2 19 ALUMINIO 8176	147.11	6,919.64	135	51.26

Fuente: <https://www.electrificacion.com/contenido-de-la-nec-national-electrical-code-spanish/>

\*Ampacidad según sección 310.15 del NEC.

En este caso se puede observar la ventaja económica al usar la aleación 8176 de aluminio.

#### **4.1.5. Consideraciones ambientales. Reacción del cobre y aluminio a los distintos medios ambientes y su impacto en las instalaciones**

Es importante conocer los materiales con los cuales el cobre y aluminio no son compatibles y que son de uso común en las construcciones, los mismos se detallan a continuación.

##### **4.1.5.1. Cobre**

El cobre no puede estar en contacto con el aluminio ya que se produce corrosión por par galvánico ante la presencia de agua o humedad, igual sucede con el hierro, el cobre no es compatible<sup>53</sup>.

En cambio el cobre no se ve afectado ante la presencia y en contacto con repellos a base de cal, yeso utilizado en los tabiques de tabla yeso y el hormigón de las fundiciones. Ante la exposición de oxígeno, el cobre por corrosión superficial tiende a ponerse opaco, y hasta tomar un color verdoso. Sin embargo, en ambientes salinos el cobre se puede ver afectado por la presencia de cloruros, aun cuando el mismo este embebido en hormigón, y también sería afectado por el amoniaco y nitratos. La sal es cloruro sódico, y la sal marina puede tener trazas de cloruro de magnesio, potasio, yodo, manganeso y calcio.

---

<sup>53</sup> SANJUÁN, Carlos. *Incompatibilidad entre materiales de construcción*. <https://www.patologiasconstruccion.net/2016/03/incompatibilidad-materiales-construccion-1/>. Consulta: 16 de octubre 2020.

Las tuberías de cobre no soportan las aguas muy blandas como las provenientes de lluvia o condensación, por lo que no se recomienda su uso en tuberías evacuación o su exposición a la intemperie.

Algunos tratamientos de protección de la madera contienen cobre, lo que puede ocasionar corrosión severa en elementos metálicos de sujeción o fijación no protegidos. El cobre es incompatible con el acero inoxidable y el zinc (todo material galvanizado)<sup>54</sup>.

#### **4.1.5.2. Aluminio**

El aluminio no debe fundirse con el hormigón, pues se produce corrosión, especialmente si está en contacto con elementos de acero (armaduras) ante la presencia de cloruros y con un elevado contenido de álcalis. No presenta incompatibilidad con el yeso y sus derivados.

El aluminio utilizado en la construcción no es Aluminio puro sino distintas aleaciones que suelen contener:

- Cromo: aumenta la resistencia mecánica cuando está combinado con otros elementos Cu, Mn, Mg.
- Cobre: incrementa las propiedades mecánicas, pero reduce la resistencia a la corrosión.
- Hierro: aumenta la resistencia mecánica.
- Magnesio: tiene una gran resistencia tras el conformado en frío.

---

<sup>54</sup> SANJUÁN, Carlos. *Incompatibilidad entre materiales de construcción*. <https://www.patologiasconstruccion.net/2016/03/incompatibilidad-materiales-construccion-1/>. Consulta: 16 de octubre 2020.

- Manganeso: incrementa las propiedades mecánicas y reduce la calidad de troquelado y embutición.
- Silicio: combinado con magnesio (Mg), tiene mayor resistencia mecánica.
- Titanio: aumenta la resistencia mecánica.
- Zinc: aumenta la resistencia a la corrosión.
- Escandio: mejora la soldadura.

No es compatible con latón, bronce, plomo o pinturas que contengan este último elemento.

Maderas como el roble o el castaño atacan al aluminio ante la presencia de humedad. Con el acero inoxidable solo muestran incompatibilidad en ambientes marinos ante la presencia de sales ambientales. Finalmente es incompatible con el cobre, ya que como se comentó en el inciso anterior, produce corrosión por par galvánico ante la presencia de agua o humedad.

## 5. TIPOS DE CONDUCTORES

### 5.1. Tipos de aislamientos que ofrece el mercado

Existen muchos materiales que se usan para aislar y proteger los conductores eléctricos, este trabajo se enfoca en los materiales más utilizados en baja tensión, los mismos son el PVC y XLPE., con el fin de describir los beneficios de aislar los cables de Aluminio con XLPE en lugar del PVC, el cual se utiliza comúnmente en los cables de baja tensión hechos de cobre, por su confiabilidad, seguridad, bajo costo y factibilidad de pigmentación. Además, se han añadido tecnologías que hacen el compuesto más deslizante (baja en su coeficiente de fricción), el cual prácticamente toda la industria del cable lo está ofreciendo, en el caso del fabricante VIAKON le llama RAD®, y Southwire le llama SIMpull®, entre otros<sup>55</sup>.

Características generales del PVC y el XLPE<sup>56</sup>:

- Termoplásticos: es un plástico que al exponerse a altas temperaturas se derrite y cambia su forma original cuando está caliente, sin embargo, al enfriarse la materia se endurece, los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular. El PVC más popular es uno de los termoplásticos más utilizados.

---

<sup>55</sup> RIBERA, Marta, RIBERA, Alicia. Definición: termoplásticos, termoestables, elastómeros. <https://sites.google.com/site/pruevasriberadeltajo/propiedades>. Consulta 16 de septiembre 2020

<sup>56</sup> PLAREMESA.NET. *Termoplásticos*. <https://www.plaremesa.net/termoplasticos/>. Consulta: 10 de septiembre 2020.

- Termoeestables: son polímeros infusibles e insolubles. La razón consiste en que las cadenas de estos materiales forman una red tridimensional espacial, porque se entrelazan con fuertes enlaces covalentes, el más común es el XLPE (polietileno de cadena cruzada).

En la tabla XXI se describen algunas características de los termoplásticos y termoeestables y como este afecta al producto final:

Tabla XXI. **Características materiales Termoplásticos & Termoeestables**

Característica	Termoplástico	Termoeestable	Cómo afecta al producto
Alta temperatura rendimiento mecánico	Pobre a bueno	Excelente	Aumenta la capacidad de seguir operando después de una emergencia o el uso normal a temperaturas altas.
Coefficiente de fricción	Muy Pobre a moderado	De moderado a muy alto	Afecta la tensión de tracción, la instalación del cable y la sensación táctil.
Alargamiento	Pobre a bueno	Bueno a excelente	Medida de estiramiento antes de romperse, que se da durante la instalación, proceso de fabricación y al ser doblado.
Resistencia a la tracción	Pobre a excelente	Pobre a excelente	Amplia gama en ambos materiales afecta la durabilidad y el rasgado del material durante su instalación.
Capacidad de pigmentación (colores)	Bueno a excelente	Pobre a excelente	Afecta a la identificación, especialmente en condiciones de poca luz.
Deformación del calor	Pobre a bueno	Bueno a excelente	Se vuelve muy suave a medida que se acerca a su punto de fusión.
Temperatura fría Compatibilidad	Pobre a excelente	Bueno para sobresaliente	Afecta al almacenamiento, manejo, instalación y uso en ambientes fríos, incluyendo el envío aéreo.

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

Antes de la Segunda Guerra Mundial, el hule natural era el polímero más conocido y utilizado. Dicho material se empleaba como aislamiento y cubierta exterior. En referencia a los plásticos estos estaban en dicha época en su primera fase. Es en 1930 cuando se desarrolla el policloruro de vinilo (PVC), primer termoplástico que se empleó como aislamiento para baja tensión. Al principio, la temperatura de operación era 60 °C, para lugares secos y para tensiones de 600 volts, en Guatemala, aún hace 20 años, el cable tipo TW era altamente demandado porque apreciaban que su cubierta era más gruesa y por ende asumían que era más robusto<sup>57</sup>.

Con el tiempo mejoraron el compuesto de PVC para 60 o 75 °C, el primero para ambientes húmedos y el segundo para ambientes secos. El cable se le conoció como THW, y las últimas mejoras ha permitido que la temperatura máxima de operación sea de 90 °C o 105 °C, tal y como sucede con el THHN. En algunos mercados han realizado agregados y mejoras para tener baja emisión de humos, no propagan la llama y de bajo contenido de gas ácido, que son los que se utilizan actualmente.

Durante la Segunda Guerra Mundial, hubo escases de muchas materias primas<sup>58</sup>, una de ellas fue el hule natural, por lo que surgió la necesidad de desarrollar nuevos materiales sintéticos, que sirvieran como aislamientos de baja tensión. En Alemania desarrollaron el hule estireno butadieno, el cual fue conocido como elastómero o hule GRS o SBR. En los países occidentales se desarrollaron varios tipos de aislamientos, que fueron la base de los que hoy se maneja en la industria de la fabricación de conductores eléctricos.

---

<sup>57</sup> RTE de México. *Materiales aislantes de conductores eléctricos*. <https://rte.mx/materiales-aislantes-para-conductores-electricos>. Consulta: 11 de septiembre 2020.

<sup>58</sup> Ibid.

### 5.1.1. Materiales elastoméricos y termoplásticos

Al finalizar la segunda guerra mundial, en 1945, se desarrolló la fabricación de termoplásticos y elastoméricos, lo que permitió un mayor crecimiento en la industria de conductores eléctricos, entre los materiales fabricados están: el hule butilo, polietileno convencional, polietileno de cadena cruzada o polietileno vulcanizado, etileno propínelo, polietileno clorosulfonado, polietileno clorado, el hule silicón, entre otros<sup>59</sup>.

- POLICLORURO DE VINILO (PVC/ PVC-RAD)

Los compuestos aislantes de este termoplástico tienen como base el polímero del cloruro de vinilo (PVC). Las primeras formulaciones de este material para la fabricación de compuestos termoplásticos aislantes surgieron en 1930 inicialmente, esos compuestos se emplearon solamente para conductores con una temperatura de operación máxima de 60 °C, posteriormente, han mejorado, actualmente se desarrollan compuestos con temperaturas máximas de operación de 90 °C y 105 °C, para un voltaje máximo de 600 volts.

Debido a que los compuestos de PVC contienen cloro en sus moléculas, son inherentemente no propagadores de flama, es importante acotar que los fabricantes poseen formulaciones especiales para lograr mejorar esta cualidad, para hacerlos resistentes a la no propagación de incendio, de baja emisión de humos y bajo contenido de gas ácido. Lo anterior es una característica que mercados como el de México y Colombia exigen sea incluida esta particularidad en el compuesto de PVC, característica que no se exige en los cables con norma.

---

<sup>59</sup> RTE de México. *Materiales aislantes de conductores eléctricos*. <https://rte.mx/materiales-aislantes-para-conductores-electricos>. Consulta: 11 de septiembre 2020.

El PVC presenta muy buenas propiedades mecánicas, sin embargo sus propiedades eléctricas no son sobresalientes, sobre todo si se le compara con otros materiales aislantes que se han venido desarrollando, por lo que el PVC es un material que solo se usa para voltajes no mayores de 600 volts. En Europa, se ha utilizado para cables de energía de hasta 23,000 voltios, pero por su alta constante dieléctrica y factor de potencia, lo hacen poco atractivo para usarlo en cables de media y alta tensión. Actualmente el PVC se utiliza ampliamente para fabricar chaquetas o cubiertas de cables de media tensión, por sus propiedades mecánicas, por evitar la propagación de la flama y resistencia a los hidrocarburos, siendo el material aislante los polietilenos o etileno propileno, pero hasta ahí su uso en cables para voltajes mayores de 1000 voltios. El PVC es el material base para la fabricación de alambres y cables de los tipos T, TW, THW, THHN, THWN-2, THHW, THHW-LS.

Para la industria de gas y petróleo se desarrollaron los cables de PVC con una delgada capa de nailon, lo cual le proporcionó un buen desempeño en contra de los hidrocarburos y sus derivados, ácidos, álcalis, gasolinas y productos químicos, siendo un producto especificado para gasolineras, refinerías, petroquímica, etc. Además el nailon le proporcionó al conductor menor fricción al momento de ser entubado, por lo que el cable THHN se volvió muy popular, siendo el cable número uno en ventas en el continente americano.

- POLIETILENO (PE)

El polietileno es uno de los materiales termoplásticos aislantes de menor precio y fácil de producir, por ello es muy utilizado en cables de baja tensión para la distribución de energía. El más común y económico es el de baja densidad, que está constituido por cadenas lineales. El polietileno de cadenas ramificadas y cruzadas, presentan un mayor costo, pero por sus excelentes cualidades, se

usa ampliamente para aislar cables desde 600 V a 15 000 V. Fue desarrollado en 1933 fue sintetizado en Inglaterra el de baja densidad conocido como PEBD (LDPE en inglés) y en la década de los 50 se inició la fabricación del PE de alta densidad conocido como PEAD (HDPE en inglés).

El polietileno (PE) presenta excelentes características como: aislamiento, teniendo alta rigidez dieléctrica, bajo factor de potencia y constante dieléctrica, alta resistividad volumétrica. A pesar de poseer las propiedades mecánicas descritas, por ser propagador de la flama lo hace poco atractivo para cables de baja tensión para uso en edificaciones.

El polietileno convencional está normalizado como aislamiento para conductores para 600 o 1,000 volts, cuya temperatura de operación en el conductor no exceda de 75 °C. El polietileno de baja densidad está formado por la polimerización de moléculas de etileno en forma lineal simple, pero si el proceso de polimerización se realiza a baja presión se obtienen cadenas con ramificaciones, lo que da un compuesto más duro y rígido y especialmente resistente a la abrasión, el cual se pigmenta con negro de humo especial, lo cual le proporciona un material excelente para cables tipo intemperie o para distribución aérea de baja tensión.

En síntesis, el polietileno es ampliamente utilizado en la industria de cables telefónicos aéreos y subterráneos, cables aéreos para distribución de energía para 600 V, y para cubiertas o chaquetas para cables de media tensión.

- POLIETILENO DE CADENA CRUZADA (XLPE o XLP)

El polietileno de cadena cruzada conocido por sus siglas XLPE o XLP, es el resultado de combinar polietileno termoplástico y un peróxido orgánico particular, bajo una presión y temperatura determinadas.

El color natural del producto resultante es un blanco opaco o blanquecino, tal y como se puede apreciar en el aislamiento de los cables de media tensión. Para que tenga un buen desempeño como cubierta exterior de un conductor, se mezcla con negro de humo o cargas minerales que mejoran sus propiedades físicas y contra los rayos UV, evitando que se degrade el material, pero a la vez adicionar productos no lo hacen viable para que sea tan buen aislante como lo es en estado puro, por lo que no se emplea como aislamiento en cables para voltajes superiores a los 5000 voltios. Por esa razón en cables semi aislados o ecológicos, que son usados en líneas aéreas compactas, regularmente las mismas están compuestas de tres capas, aunque todas sean de XLPE, y es porque se necesita que el material aislante sea puro, mientras que la chaqueta exterior, por fuerza debe contener aditivos como el negro de humo para evitar la degradación de la chaqueta ante la exposición de los rayos UV.

Parte de un proceso para aislar un cable con XLPE, la línea de producción posterior a ser extruido el material sobre el conductor, el mismo se debe pasar por una línea de vulcanización a alta presión, hay dos procesos utilizados, uno curado por medio de vapor de agua y otro curado en seco, en donde se utiliza nitrógeno como medio para transferir calor.

El polietileno reticulado o de cadena cruzada es ampliamente utilizado en cables de media y alta tensión (desde 1000 V hasta 525 kV), por su excelente resistencia al envejecimiento debido a los cambios de temperatura, resistencia a

la deformación y compresión, y sus cualidades eléctricas en donde sobresale la rigidez dieléctrica, constante dieléctrica y de aislamiento, factor de potencia, y finalmente la estabilidad eléctrica que presenta en agua.

El XLPE presenta un excelente desempeño ante la humedad, a algunos productos químicos y es altamente resistente al ozono. Su temperatura de operación máxima es 90 °C en operación normal, 130 °C en condiciones de emergencia y 250 °C en condiciones de cortocircuito.

- Otras diferencias entre el PVC y XLPE
  - Temperatura de trabajo máxima del conductor: el cable aislado PVC es 70 centígrados, cable aislado XLPE es 90 centígrados.
  - Temperatura corto circuito máxima (durando menos de 5 segundos): el cable aislado PVC es 160 de centígrados, cable aislado XLPE es 250 centígrados.
  - Vida de servicio: generalmente, el cable aislado XLPE es más largo que el cable aislado PVC.
  - Precio: generalmente, el precio aislado XLPE del cable es más alto que el cable aislado PVC.
  - Funcionamiento a prueba de agua en el ambiente de uso: el cable aislado PVC es mejor que el cable aislado XLPE.
  - Aspecto de la protección del medio ambiente: el cable XLPE, puede contener el cloro que lanzan los gases tóxicos que queman de una

vez, así que el cable aislado XLPE es favorable al medio ambiente comparado con el cable aislado PVC.

A largo plazo, el XLPE cable aislado es mejor que el PVC cable aislado, pero el precio es un poco más alto, pero si se consideran todos los factores como protección del medio ambiente, vida de servicio, seguridad y así sucesivamente, el cable aislado XLPE tiene un alto coste de funcionamiento.

- Propiedades de los materiales aislantes usados en la industria del cable

Previo a describir los materiales más comunes para cables de baja tensión, de forma breve se explicará el desempeño de los materiales que se usan para aislar y cubrir conductores de baja y media tensión. Estas propiedades son muy importantes al tener en cuenta el ambiente donde se va a desempeñar un cable. Si el ambiente es muy alcalino, como sucede en cementeras y caleras, se debe considerar el desempeño que tendrá el material que cubra al cable. Es importante también conocer que en muchos cables se utiliza un material para aislar, y otro para cubrir, que normalmente se le llama chaqueta, ya que en inglés la industria lo llama *jacket*. Un aislante puede ser PVC (termoplástico) y la chaqueta XLPE (termoestable).

En las tablas 22 y 23, se describe el tipo de resistencia de los materiales termoestables y termoplásticos, de acuerdo a los siguientes códigos de clasificación:

P= Pobre

R= Regular

E= Excelente

S= Sobresaliente

Tabla XXII. **Propiedades de los materiales termoestables**

Material aislante o protección / propiedades	Poliuretano clorado (cpe)	Polioruro de polivinilo (pvc)	Poliuretano de baja densidad	Poliuretano celular	Poliuretano de alta densidad	Poliuretano	Poli-propileno	Nylon	Teflon*	Tpe
Resistencia a la oxidación	E	E	E	E	E	E	E	E	S	E
Resistencia al calor	B-E	B-E	B	B-E	E	E	B	E	S	B
Resistencia al petróleo	E	E	B-E	B-E	B-E	E	E	E	S	P
Flexibilidad a baja temperatura	B	R-B	B-E	E	E	E	B	B	S	E
Resistencia a los rayos del sol	E	B-E	E	E	E	E	R-B	E	S	-
Resistencia al ozono	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
Resistencia a la abrasión	E	R-B	R-B	B	E	R-B	S	E	B-E	R
Propiedades eléctricas	B	R-B	E	E	E	E	P-R	R-B	E	B
Resistencia a la flama	E	B	P	P	P	P	P	P	S	R
Resistencia a la radiación nuclear	B-E	P-R	B	B	B	P	B	R-B	P-R	P
Resistencia a la humedad	E	B-E	E	E	E	E	P	P-R	E	E
Resistencia a los ácidos	B-E	B-E	B-E	B-E	B-E	E	P	P-R	E	B
Resistencia a los alcalinos	B-E	B-E	B-E	B-E	B-E	E	R	E	E	B
Resistencia a hidrocarburos	B	B	P-R	P-R	P-R	P-R	R	B	E	P
Resistencia a hidrocarburos aromáticos	B	P-R	P	P	P	P-R	P	B	E	P
Solventes	R	P-R	P	P	P	P	P	B	E	P
Resistencia al alcohol	B	B-E	E	E	E	E	P	P	E	E

Fuente: <http://general-cable.dcatalog.com/v/Industrial-Cable/?page=25>.

\*Teflon® es una marca comercial registrada propiedad de *The Chemours Company*.

## 5.2. Construcciones disponibles

Los conductores eléctricos se pueden obtener de varias formas, cada una de ellas con un uso específico, que se describen a continuación.

### 5.2.1. Cables monofásicos o de una sola línea

Los conductores individuales con aislamiento estándar en la mayoría de los casos deben cumplir con los requisitos del Código Eléctrico Nacional (NEC). Se requiere que los conductores estén enterrados directamente en la tierra o instalados en conductos u otros tipos de canalización reconocidas, excepto según lo permitido en artículos específicos de NEC<sup>60</sup>.

Los conductores fabricados para cumplir con los requisitos de los laboratorios de prueba como UL incluyen los tipos RHH, RHW, RHW-2, TW, THW, THHN, THWN, THWN-2, XHHW y XHHW-2, y generalmente están disponibles en tamaños de hasta 2000 kcmil. Los conductores se seleccionan en función de las consideraciones de aplicación, como la clasificación de temperatura en relación con la ampacidad, el tipo de canal y la ubicación de instalación. En la selección de conductores, se debe hacer referencia al NEC.

Los conductores individuales de aluminio de 600 voltios también se utilizan ampliamente como entrada de servicio subterráneo, distribución y cables de alimentación. La aleación de aluminio común en cables de hasta 600 V es la 8176, no se encuentra otra aleación que no pertenezca a la serie AA8000 que se utilice para este tipo de conductores, sin embargo, se pueden encontrar cables

---

<sup>60</sup> THE ALUMINUM ASSOCIATION. *Bus Conductors*. <https://www.aluminum.org/sites/default/files/Chapter%2013%20Bus%20Conductor%20Design%20and%20Applications.pdf>. Consulta: 26 de octubre 2020.

mono polares para líneas de distribución, que puede ser con aleación 1350 con o sin alma de acero, lo cuales son utilizados únicamente por las distribuidoras de energía y para ser suspendidos.

### **5.2.2. Reunidos**

Los cables de bajada de servicio, a veces denominados cable multiplex o para acometida, se fabrican para cumplir con los requisitos aplicables de las especificaciones ICEA S-76-474 para cables de bajada con servicio neutral. Se utilizan en circuitos que no superan los 600 voltios de fase a fase para suministrar energía desde la fuente de servicios públicos hasta el punto de conexión del usuario, donde se conecta a los conductores de entrada del servicio. Los conjuntos consisten en uno, dos o tres conductores de fase aislados cableados alrededor de un mensajero neutro desnudo, el que también puede ir aislado, según lo requiera la compañía distribuidora de energía. Los conductores de fase se aíslan comúnmente con polietileno (PE) o polietileno de cadena cruzada (XLPE). El cable de bajada de servicio se instala y generalmente está dentro de la jurisdicción de la compañía de servicios públicos. (Ver NEC Artículo 230).

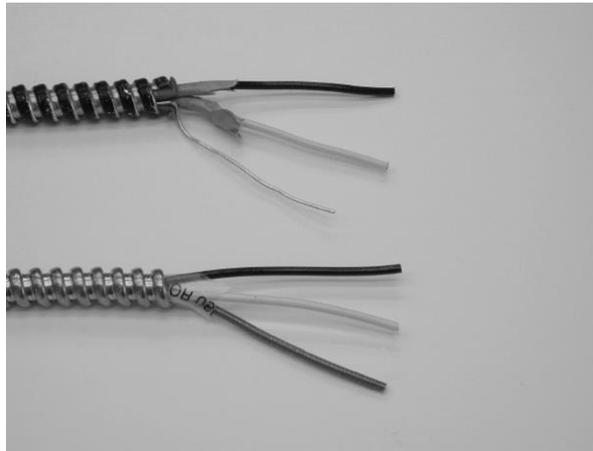
Las empresas de servicios públicos y otros usuarios también utilizan los conductores de servicio para alimentar los sistemas de iluminación de seguridad o distribuir los gastos generales de una estructura a otra.

### **5.2.3. Armados**

En el mercado eléctrico, es común encontrar dos tipos de cable armado, los cables Tipo MC y AC pueden parecer similares en su exterior, ver figura 11. Es importante seleccionar el cable adecuado para instalaciones donde se especifican características de construcción o se desean, o se solicitan,

requerimientos de rendimiento en NEC<sup>61</sup>. En el mercado guatemalteco es común el uso del MC, a continuación, tabla 24, se especifica la diferencia entre el AC y MC.

Figura 11. **Tipos de cables armados**



Fuente: [https://apps.necanet.org/files/NECA\\_NACMA\\_120\\_Track\\_Changes.pdf](https://apps.necanet.org/files/NECA_NACMA_120_Track_Changes.pdf).

---

<sup>61</sup> NECA-NACMA. Staliboy.com. <http://www.staliboy.com/NR/rdonlyres/74796C5B-5CE6-4461-A06F-5544E0A57899/0/2421NormasdeInstalaciondeMCporNECA.pdf>. Consulta: 20 de octubre 2020.

Tabla XXIII. **Identificación de Cables Tipo AC y MC**

<b>Tipos de cables</b>		
<b>Características</b>	<b>Cable Tipo AC</b>	<b>Cable Tipo MC de Armadura Engargolada</b>
<b>Número de Conductores</b>	Limitado máximo a 4 conductores más un conductor de tierra física de equipo.	Sin límite en el número de conductores.
<b>Tamaño de Conductores</b>	14AWG a 1 AWG	18 AWG a 2000 kcmil
<b>Tierra Física</b>	Cuenta con un hilo de conexión de 16 AWG en contacto constante con la armadura metálica. El hilo de conexión y la armadura se utilizan conjuntamente como un conductor de tierra física de equipo.	Sin hilo de conexión. La armadura por sí misma no es una tierra física de equipo. El conductor de tierra física de equipo interno en combinación con la armadura es la tierra física de equipo.
<b>Construcción de Cable</b>	Conductores individuales se envuelven en un papel retardante de fuego, resistente a la humedad.	Conductores individuales no se envuelven. El ensamble conductor tiene una envoltura generalmente no metálica bajo la armadura.

Fuente: <http://www.stabiloy.com/NR/rdonlyres/74796C5B-5CE6-4461-A06F->.

El cable Tipo MC (metal clad) es un sistema que consiste en uno o más conductores aislados (de cobre o Aluminio), con uno o más conductores sin forro (desnudos), para tierra física, todos reunidos dentro de un tubo metálico que se le denomina armadura<sup>62</sup>. Los tipos de armadura disponibles en el mercado son:

<sup>62</sup> NECA-NACMA. Staliboy.com. <http://www.stabiloy.com/NR/rdonlyres/74796C5B-5CE6-4461-A06F-5544E0A57899/0/2421NormasdeInstalaciondeMCporNECA.pdf>. Consulta: 20 de octubre 2020.

- Cinta metálica engargolada (acero o aluminio)
- Lisa (sólo aluminio)
- Corrugada (cobre o aluminio)

Además de conductores, neutro y tierra, los cables MC pueden contener fibras ópticas se denominan como Tipo MC-OF y se consideran como cables compuestos<sup>63</sup>.

#### **5.2.4. Tipos de conductores en cables armados**

El cable MC tipo derivación, puede contener conductores del calibre 18 AWG a 2000 kcmil, en el caso que sean todos los conductores fabricados en cobre y del calibre 12 AWG a 2000 kcmil para conductores de Aluminio. Los cables Tipo MC de circuito de derivación, se pueden encontrar con cables con distintos aislamientos, siendo THHN, THHN/THWN-2 o XHHW-2 los más comunes, siendo independiente el tipo de aislamiento al metal que se utiliza para el conductor, por lo que se le pueden encontrar fabricados con cobre o Aluminio, no es común el encontrar cables MC con conductores de cobre y Aluminio al mismo tiempo y regularmente son para circuitos de hasta 600 voltios.

Existe la opción de cables armados para media tensión, son para uso específico y regularmente se piden contra pedido a fábrica, ya que por su costo por lo regular no hay material en inventario. El uso de estos productos no es usual por su costo, además las fábricas piden un mínimo de fabricación, que por lo

---

<sup>63</sup> NATIONAL ELECTRIC CODE. <https://www.electricaplicada.com/contenido-de-la-nec-national-electrical-code-spanish/>. Consulta: 20 de julio 2020.

regular es 1000 a 1500 metros, lo cual no lo hace viable para su comercialización, como puede suceder con cables THHN.

En Guatemala, el cable armado más popular es el de armadura de aluminio engargolada, con cuatro conductores, tres de fase y un neutro, más un conductor para tierra que regularmente es de menor calibre que los de fase y neutro y no viene aislado, todos los conductores son de aluminio de la serie 8176 con aislamiento XHHW-2 para 600 voltios. Estos cables son muy útiles para acometidas y circuitos derivados, son fáciles de instalar y más económicos que los THHN de cobre y el ducto barra. Además, las características del engargolado permiten suspender el cable en decenas de metros, lo cual permite alimentar edificios de hasta 20 niveles. Es importante recalcar que la armadura de cable tipo MC con funda de cinta metálica engargolada por sí misma no es adecuada como conductor de tierra física de equipo. El cable incluye un conductor de tierra física de equipo, el cual está desnudo o aislado.

Los cables descritos se pueden utilizar en donde no se someta a daño físico<sup>64</sup>:

- Para acometidas.
- Para alimentadores.
- Para circuitos de derivación.
- Para circuitos de energía, alumbrado, control y señalización.

---

<sup>64</sup> NATIONAL ELECTRIC CODE. <https://www.electricalcaplicada.com/contenido-de-la-nec-national-electrical-code-spanish/>. Consulta: 20 de julio 2020.

- Interiores y exteriores.
- Donde esté expuesto u oculto.
- Directamente enterrado donde se identifica para tal uso
- En bandeja porta cables.
- En cualquier canalización.
- Para teatros, áreas de audiencia de estudios de cine y televisión, áreas de espectáculos y lugares similares, construcción con clasificación contra fuego.
- Para teatros, áreas de audiencia de estudios de cine y televisión, áreas de espectáculos y lugares similares, construcción sin clasificación contra fuego.
- Para estudios de cine y televisión y lugares similares, cableado permanente de escenario o plató.
- Para grúas y montacargas.
- Para elevadores, montaplatos, escaleras mecánicas, andamios, elevadores de sillas de ruedas, y elevadores para sillas de escalera.
- Para equipo de tecnología de información, bajo pisos realizados.
- Pared contra fuego a través de penetraciones.

No se recomienda utilizarlos en las siguientes condiciones:

- Cuando se expone a humos o vapores corrosivos.
- Directamente enterrado en la tierra.
- En concreto, para ello es necesario que esté cubierta la armadura con una capa de PVC color negro.
- Donde se expone a rellenos de escorias, cloros fuertes, álcalis cáusticos o vapores de cloro o de ácidos clorhídricos.

El cable armado más conocido en Guatemala cuenta con las tres fases, neutro y tierra, siendo las marcas más conocidas Stabiloy y Armanel. El conductor neutro no tiene importancia como conductor de corriente cuando lleva sólo la corriente desregulada de otros conductores del mismo circuito tal como un cable de 3 hilos para un circuito de derivación de multihilo de 120/240 voltios.

El conductor neutro sí tiene importancia como conductor de corriente bajo cualquiera de las siguientes condiciones:

- Un circuito de 3 hilos consiste de dos hilos de fase y el neutro de un sistema conectado en estrella de 4 hilos, 3 fases.
- Un circuito de 4 hilos, 3 fases donde la porción principal de la carga consiste de cargas no lineales como corrientes armónicas están presentes en el conductor neutro. Las cargas no lineales incluyen circuitos para computadoras y alumbrado inductivo tal como fluorescencia y la iluminación led, la cual es muy común hoy en día.

Existe la opción de contar con conductores neutros sobredimensionados, por lo que cuenta con conductores de circuito de tamaño estándar y uno o más conductores neutros de calibres mayores a los conductores de fase y se usa con frecuencia para el manejo de corrientes armónicas neutras excesivas en forma segura provocadas por cargas no lineales. Las cargas que producen las corrientes armónicas son computadoras, controladores programables, alumbrado con balastos y tipo LED, y otro equipo electrónico que presentan corrientes armónicas aditivas a partir de cargas de conmutación no lineal. Cuando se trata de grandes cargas tal y como se da en el caso de una *data center* o centro de procesamiento de datos, es común el uso del ducto barra, ya que es más fácil encontrar configuraciones con neutro sobredimensionados, lo cual se explicará con mayor detenimiento en el siguiente capítulo.

### **5.3. Tipos de cables disponibles en el mercado**

Para conocer la disponibilidad de material en el mercado, es necesario delimitar el mercado, como el mercado que está influenciado por la región centroamericana, México y Estados Unidos de América. Las razones son por dos situaciones:

- Lugar de procedencia de los materiales

La gran mayoría de normas que cumplen los materiales eléctricos con los que se realizan las instalaciones en las construcciones que se ejecutan en Guatemala provienen de los Estados Unidos, los calibres, las certificaciones, normas, estándares, etc. Por ello se ha utilizado el NEC como referente, y en menor medida las normas NOM de México, debido también a que actualmente México es el mayor proveedor de conductores eléctricos en la región centroamericana, incluyendo a Panamá. En la región centroamericana hay dos

fábricas de conductores eléctricos, una en El Salvador (CONDUSAL) y otra en Costa Rica (CONDUCEN), esta última pertenece al fabricante PRYSMIAN que tiene su sede corporativa en Milán Italia, las cuales fabrican bajo normas estadounidenses.

- Cumplimiento de normas internacionales

Todas las fábricas de la región Norte y Centro de América de donde proviene los conductores que se consumen en Guatemala, producen bajo normas ASTM, NOM y UL, siendo su principal producto los conductores para edificaciones (THHN/THWN-2, XHHW-2, RHH-2, SPT, TSJ etc.). Hay productores de China presentes, pero solo en conductores de Aluminio, en cobre el país asiático no es competitivo, por lo que solo se le encuentra presente con las distintas aleaciones de aluminio más conocidas. Producto del Caribe y Sur América es casi inexistente su presencia, debido a temas de normas (hay países que trabajan con normas europeas), arancelarios y costo de transportes, que encarecen el precio final del producto.

### **5.3.1. Conductores XHHW-2 Aluminio S8000 y THWN-2/THHN cobre**

Indistintamente se utilice cobre o aluminio para fabricar un conductor, el tipo de aislamiento utilizado es el mismo para ambos. Se ha mencionado con anterioridad, pero si es importante hacer énfasis que la industria de conductores eléctricos regularmente no posee aislamientos exclusivos para un metal, más bien tiende a utilizar un tipo de aislamiento para el cobre, que es con PVC, y el Aluminio con polietileno, lo cual no significa que no existan conductores THWN-2/THHN de Aluminio S8000, y XHHW-2 de cobre.

La industria del conductor eléctrico de cobre se desarrolló de la mano con el PVC, y posiblemente el aluminio tendió a utilizar polietileno de baja, alta y de cadena cruzada influenciado por los cables para acometidas, distribución aérea y subterráneas que se fabrican para las empresas distribuidoras de energía eléctrica, y es que para esas aplicaciones el PVC no fue popular, ya que los polietilenos poseen mejores características contra la humedad y rigidez dieléctrica que también se explicará a detalle.

#### **5.3.1.1. Comparativo de las características de los distintos aislamientos con PVC (THWN-2/THHN) y XLPE (XHHW-2)**

En el mercado se encuentran dos tipos de aislamientos, fabricados de distinto material, pero con el mismo uso, se detalla a continuación ambos.

- Descripción del aislamiento tipo THWN-2/THHN

Para identificar el tipo de aislamiento que tiene un cable, se debe conocer el significado de las inscripciones que aparecen sobre él<sup>65</sup>, estas son abreviaturas en inglés. Los cables que se utilizan para instalaciones en oficinas y viviendas son: TW, THW, THHW y THWN. El significado de las abreviaturas es el siguiente:

---

<sup>65</sup> MÁSVOLTAJE. *Tipos de cables eléctricos que existen*. <https://masvoltaje.com/blog/tipos-de-cables-electricos-que-existen-n12> Consulta: 20 de septiembre 2020.

Figura 12. **Marcaje de un cable THWN/THHN**



<b>T</b>	(Thermoplastic): Aislamiento termoplástico.
<b>H</b>	(Heat resistant): Resistente al calor hasta 75° centígrados (167 °F).
<b>HH</b>	(Heat resistant): Resistente al calor hasta 90° centígrados (194 °F).
<b>N</b>	(Nailon): cubierta final de nailon.
<b>W</b>	(Water resistant): Resistente al agua y a la humedad.
<b>-2</b>	90 °C para ambientes tanto húmedo como seco.
<b>MTW</b>	Machine Tool Wire.
<b>AWM</b>	Appliance Wiring Material.

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

El cable más común en la región centroamericana es el THHN, como es conocido, pero realmente las mejoras que se han aplicado al compuesto de PVC, el aislamiento comercial y más común de encontrar es el: THWN-2/THHN, MTW, AWM, 600V, 90°C, siendo el significado de cada letra el siguiente:

Tabla XXIV. **Significado de las siglas THHN; THWN & THWN-2**

THHN	THWN	THWN-2
<b>T</b> = Termoplástico	<b>T</b> = Termoplástico	<b>T</b> = Termoplástico
<b>HH</b> = Alta resistencia al calor	<b>H</b> = Resistente al calor	<b>H</b> = Resistente al calor
	<b>W</b> = Resistencia a la humedad	<b>W</b> = Resistencia a la humedad
<b>N</b> = Cubierta de Nylon	<b>N</b> = Cubierta de Nylon	<b>N</b> = Cubierta de Nylon
<b>Temp de operación:</b> 90° C en ambientes secos	<b>Temp Rating:</b> 90° C en ambientes secos y 75° C en ambientes húmedos	<b>Temp Rating:</b> 90° C tanto para ambientes secos y húmedos

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

- MTW (*Machine Tool Wire*): conductor con sistema termoplástico para alambrado de máquinas herramientas.
- AWM (*Appliance Wiring Material*): conductores destinados al alambrado interno en aparatos electrodomésticos.

El aislamiento THWN-2 se utiliza para cobre y aluminio, sin embargo, en aluminio es limitado el número de fabricantes que lo ofrecen, por ello el THWN-2 se identifica como el aislante para el cobre. De hecho, la mayoría de los aislamientos se pueden utilizar en ambos metales, por lo que se pueden encontrar cables tipos XHHW-2 y RHH-2, en ambos metales, siendo el XHHW-2 muy popular para el aluminio y el RHH-2 para el cobre.

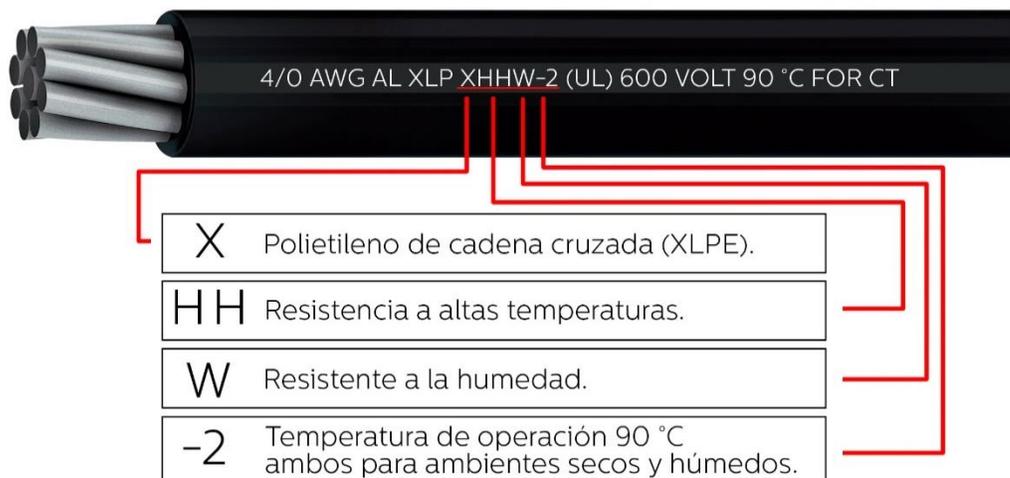
- Aislamiento tipo: XHHW y XHHW-2

Tabla XXV. **Significado de cada letra del aislamiento tipo XHHW-2**

XHHW	XHHW-2
<b>X = Polietileno de cadena cruzada (XLPE)</b>	<b>X = Polietileno de alta densidad (XLPE)</b>
<b>HH = Alta Resistencia a la temperatura</b>	<b>HH = Alta Resistencia a la temperatura</b>
<b>W = Resistente a la humedad</b>	<b>W = Resistente a la humedad</b>
<b>Temp operación: 90 °C en ambientes secos y 75 °C en ambientes húmedo</b>	<b>Temp operación: 90 °C tanto en ambientes secos como húmedos</b>

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

Figura 13. Descripción de las siglas XHHW-2



Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

- Comentarios sobre las diferencias entre el THWN-2 y XHHW-2

Además de las especificaciones descritas, la principal diferencia entre THHN / THWN / THWN-2 y XHHW / XHHW-2 está en la cubierta del cable. El aislamiento de la familia THHN es más delgada, lo que significa que, si bien se podría colocar más THHN a través de las distintas canalizaciones, su aislamiento no ofrece tanta protección como el aislamiento tipo XHHW. Además, el aislamiento XHHW es más resistente a los productos químicos, el ozono y las abrasiones, mientras que el revestimiento más delgado de THHN, en condiciones extremas, puede provocar fugas de corriente, por este motivo el PVC no es utilizado en cables para instalaciones mayores de 1000 V, y puede romperse por exposición química o ambiental, emitiendo un humo tóxico cuando se quema.

El tema del humo tóxico que emite el PVC es motivo por el cual en algunas regiones o países utilizan compuesto de baja emisión de humo, por ello se incluye

en la descripción LS (Low Smoke), lo anterior es obligatorio en México, más no en los Estados Unidos, por lo que el resto de la región no tiene normado el utilizar PVC de baja emisión de humos.

Sin embargo lo anterior no es suficiente para otras regiones, principalmente en Europa, donde se utiliza el cable RZ1-K, que es el aislamiento para cables de cobre flexibles, lo cual también se diferencia con lo utilizado en el norte y centro de América, ya que los THHN son cables de 19 hilos regularmente, en algunos lugares se comercializa de 7 hilos para los calibres del 14 al 4/0 AWG, lo cual solo da flexibilidad al cable y no es un factor determinante para la compra. En cambio, Europa utiliza cables más flexibles, regularmente clase 5 y el tipo de cubierta libre de halógenos, por lo que utilizan una poliolefina, teniendo las siguientes definiciones para cada letra<sup>66</sup>:

- R indica el tipo de aislamiento, en ambos casos, se trata de Polietileno Reticulado (XLPE).
- Z1 indica que este cable tiene una cubierta de poliolefina, libre de halógenos y con baja emisión de humos y gases corrosivos en caso de incendio. Su designación es Z1.
- K la letra K nos indica que se trata de un conductor flexible de cobre (clase 5), para instalaciones fijas. 0,6/1 kV indica que se trata de un cable de 1000 Voltios.

Las diferencias entre ambos aislamientos se describen en la tabla 27.

---

<sup>66</sup> BHADRA, Arindam. <https://bhadrafiresafety.blogspot.com/2015/10/difference-between-xlpe-and-pvc-cables.html>. Consulta: 22 de octubre 2020.

Tabla XXVI. Diferencia entre los materiales aislantes PVC y XLPE

PROPIEDADES	XLPE	PVC
1. Estructura química	Polímero más simple. Se representa con su unidad repetitiva (CH <sub>2</sub> -CH <sub>2</sub> ) <sub>N</sub> .	Cloruro de Polivinilo, fórmula química: CH <sub>2</sub> =CHCl
2. Estructura del polímero	Parcialmente cristalino	Amorfo
3. Temperatura de trabajo a largo término	90 °C	70 °C
4. Sobre carga de emergencia	130 °C	90 °C
5. Máxima temperatura en corto circuito	250 °C	160 °C
6. Capacidad de corriente(A)	1, 25a	1a
7. Constante dieléctrica (20°C,60Hz)	2.3	8
8. Trabajo por realizar para instalar el cable	Fácil manejo debido a menor peso, menor diámetro y menor radio de curvatura.	No es tan flexible como el XLPE
9. Vida útil (años)	30	20
10. Diámetro del cable	0,92D	D
11. Resistividad volumétrica (Ω·m)	1016~1018	1010-1013
12. Resistencia a la tracción (Mpa)	23	20
13. Resistencia térmica (Deg C/cm/watt)	7,4	730
14. Conductividad térmica (W/m·K)	0,48	0,15
15. Pérdida dieléctrica tangencial (20°C,60Hz)	0.0002-0.0003	0.04-0,12
16. Elongación (%)	450-600	100-400
17. Ruptura ante campo de fuerza (MV/m)	35-50	20-35
18. Factor de potencia a 20DegC X1013	-90	80
19. Fragilidad a bajas temperaturas Deg. C	Excelente	-15
20. Resistencia de penetración de la humedad	Excelente	Bueno
21. <i>Water quantity</i> (%)	<0.01	0.8
22. Índice de oxígeno	18	30
23. Índice de toxicidad	1.77	15.01
24. Fragilidad a la temperatura°C	-60	-40

Continuación tabla XXVII.

25. Ablandamiento a temperatura°C	120	120
26. Resistencia a ácidos y alcalinos, y al clima.	Muy bueno	Bueno a muy bueno
27. Si contiene halógenos	No contiene	Contiene
28. Resistencia a la penetración de la humedad	Excelente	Bueno
29. Resistencia a aceites	Excelente	Bajo
30. Resistencia a solventes	Excelente	Pobre
31. Resistencia a los ácidos	Excelente	Pobre
32. Resistencia alcalina	Excelente	Bueno
33. Standard	BS 5467	BS 6346

Fuente: <http://bhadrafiresafety.blogspot.com/2015/10/difference-between-xlpe-and-pvc-cables.html>.

- Otras propiedades de los aislantes:
  - Excelentes propiedades mecánicas y físicas: XLPE tiene una alta resistencia térmica y un punto de fusión más alto que la mayoría de los cables estándar que se encuentran en el mercado. Estos cables poseen un delta tangente bajo (pérdida capacitiva menor), alta resistencia dieléctrica inicial, baja resistencia dieléctrica y propiedades mecánicas mejoradas a alta temperatura. Además, XLPE resiste la humedad, la luz ultravioleta, la oxidación, el estrés ambiental, el agrietamiento por estrés y la ruptura.
  - Ligero: el cable XLPE es más liviano que otros cables estándar con aislamiento de papel o plomo. Por eso es más conveniente instalarlo y transportarlo. Los cables XLPE se

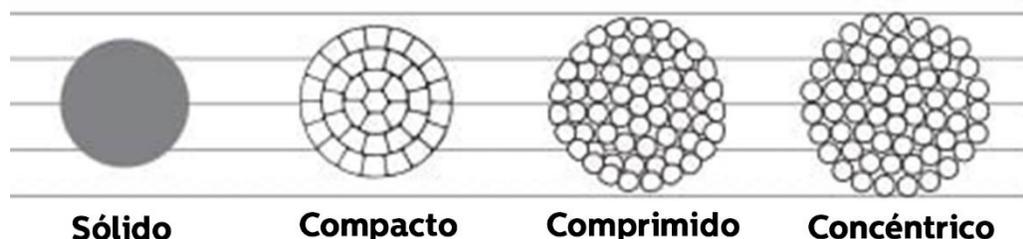
utilizan principalmente en la industria de la construcción porque reducen los costos de transporte e instalación.

- Fácil de mantener: los cables XLPE requieren menos mantenimiento, en comparación con otros cables estándar. Además, tienen procedimientos fáciles de unión y terminación.
- Se usa para cables de alta-media-baja tensión.
- Flexibilidad: los cables XLPE tienen múltiples núcleos, lo que los hace altamente flexibles. Esta flexibilidad adicional contribuye a un radio de curvatura más pequeño también.

Siendo tan bueno el XLPE, ¿por qué se utiliza más el PVC que los polietilenos?

La respuesta es la economía, el PVC es más barato y fácil de procesar, por lo que ha sido más popular. Cuando se empezó a desarrollar la Serie AA8000 en los Aluminios, la industria eléctrica se inclinó a utilizar XLPE para los cables con la finalidad de acercarse más a las capacidades del cobre con aislamiento PVC. Además, el cable de Aluminio se compacto, lo que significó reducir el diámetro final del conductor como se puede apreciar en la siguiente ilustración:

Figura 14. **Apreciación del resultado de aplicar compresión y compactación en un conductor eléctrico**



Fuente: [https://www.anixter.com/en\\_us/resources/literature/wire-wisdom/conductor-strand-types.html](https://www.anixter.com/en_us/resources/literature/wire-wisdom/conductor-strand-types.html).

Los conductores, previo a ser aislados se comprimen o compactan para reducir el diámetro, práctica que es usual con los conductores de Aluminio serie AA8000 para baja tensión. Para crear conductores comprimidos o compactos, el fabricante hace pasar los conductores de filamento completo a través de una serie de matrices en forma de embudo para reducir el diámetro. Los conductores de filamento completo tienen espacio de aire entre los mismos (como se aprecia en la lámina anterior para cable concéntrico). El proceso de compresión exprime el espacio de aire, reduciendo así el diámetro sin reducir el área de la sección transversal del conductor. En la lámina anterior se muestra un ejemplo de conductor compacto. Tenga en cuenta que después de la compresión, los hilos ya no son redondos. El diámetro de los conductores comprimidos se reduce en aproximadamente un tres por ciento. El diámetro de los conductores compactos se reduce en aproximadamente un nueve por ciento. Si elige comprar conductores comprimidos o compactos, los conectores de compresión que están diseñados para ajustarse a conductores concéntricos por lo que pueden no funcionar en conductores comprimidos o compactos. Los conductores compactos son casi tan pequeños como los conductores sólidos. Consulte con el fabricante del conector antes de comprar los conectores.

La industria del cable empezó a utilizar XLPE para el aluminio, aun cuando es más caro, pero es tanta la diferencia entre el costo del cobre y aluminio, que permite utilizar un compuesto más costoso sin que eso se vuelva un problema de precio, con lo que se logró mejorar el desempeño del cable XHHW-2 con Aluminio 8176 con el fin de acercarse lo más posible al THWN-2 de cobre, y si a eso se le suma la reducción del área total del conductor por la compactación a la que se somete el cable previo a ser aislado, permite realizar una sustitución de un conductor de cobre por uno de Aluminio, eso sí, en aluminio el calibre debe ser un calibre mayor.

En la tabla XXVIII, se describen las dimensiones y capacidad de corriente de los cables THWN-2 de cobre con el XHHW-2 de aluminio. En cuanto a los datos sobre la capacidad de corriente de 90 °C, de ambas tablas, se basan en la tabla 310-15 de la NOM-001-SEDE para una temperatura ambiente de 30 °C.

Tabla XXVII. **Características cable THWN-2/THHN, cobre temple suave**

Tabla Descripción	Calibre	Área nominal de la sección transversal	No. de hilos	Espesor de aislamiento (mm)	Espesor nominal de nylon (mm)	Diámetro sobre aislamiento (mm)	Peso neto Kg (100 m)	Capacidad de corriente* 90 °C
Cables THHN/ THWN-2 cobre temple suave	6 AWG	13,30	19	0,76	0,13	6,7	15	75
	4 AWG	21,15	19	1,02	0,15	8,5	24	95
	2 AWG	33,62	19	1,02	0,15	10,1	36	130
	1/0 AWG	53,49	19	1,27	0,18	12,7	56	170
	2/0 AWG	67,43	19	1,27	0,18	13,9	70	195
	3/0 AWG	85,01	19	1,27	0,18	15,2	87	225
	4/0 AWG	107,22	19	1,27	0,18	16,7	108	260
	250 KCMIL	126,70	37	1,52	0,20	18,5	128	290
	300 KCMIL	152,00	37	1,52	0,20	19,9	152	320
	350 KCMIL	177,30	37	1,52	0,20	21,3	177	350
	400 KCMIL	202,70	37	1,52	0,20	22,5	201	380
500 KCMIL	253,40	37	1,52	0,20	24,7	249	430	

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

Tabla XXVIII. **Características de cable XHHW-2 con aleación de Al 8176**

Descripción	Calibre	Área nominal de la sección transversal	No. de hilos	Espesor de aislamiento (mm)	Diámetro sobre aislamiento (mm)	Peso neto Kg 100 m	Capacidad de corriente* 90 °C
Cables XHHW-2 Aluminio 8176	6 AWG	13.30	7	1.14	6.70	5.8	55
	4 AWG	21.15	7	1.14	7.80	8.3	75
	2 AWG	33.62	7	1.14	9.20	12.3	100
	1/0 AWG	53.49	19	1.40	11.40	19.4	135
	2/0 AWG	67.43	19	1.40	12.40	23.8	150
	3/0 AWG	85.01	19	1.40	13.40	29.2	175
	4/0 AWG	107.22	19	1.40	15.00	35.9	205
	250 KCMIL	126.70	37	1.65	16.70	43.2	230
	300 KCMIL	152.00	37	1.65	17.90	50.9	260
	350 KCMIL	177.30	37	1.65	19.10	58.5	280
	400 KCMIL	202.70	37	1.65	20.20	66.1	305
	500 KCMIL	253.40	37	1.65	22.10	81	350

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

En la tabla 30 se describen dos comparaciones, en las tres primeras columnas se comparan cables de aluminio y cobre del mismo calibre. En el mismo se puede apreciar que el diámetro del conductor de cobre es 10,2 % más grande que el de aluminio, aun cuando su área nominal es la misma, la diferencia se da por la compactación a la que se somete el conductor de aluminio, lo cual no sucede con el cobre, en la industria no es común encontrar cables de cobre compactado para baja tensión. Además, se puede apreciar que el aislamiento del THWN-2 es muy parecido al del XHHW-2, tan solo hay que tomar en cuenta que el nailon únicamente sirve para protección contra hidrocarburos y ayuda a que se deslice mejor el conductor en el momento de la instalación, en cambio el XLPE que tiene el XHHW-2 da protección mecánica y dieléctrica.

Con la corriente la comparación entre calibres del mismo tamaño da como resultado que el THWN-2 puede conducir en promedio el 22 %, lo que lo hace más eficiente.

Si se busca una equivalencia eléctrica entre ambos conductores, generalizando se puede decir que un calibre de cobre se puede sustituir por su equivalente eléctrico en XHHW-2 utilizando el calibre inmediato superior. Vemos en la tabla que el diferencial de capacidad de corriente se reduce en promedio al 10 %, siempre siendo el cobre más eficiente, y el diámetro de los cables de aluminio son casi el mismo, aun cuando tiene la misma sección, pero con el proceso de compactación se logra una reducción del diámetro, siguiendo con la comparación del 1/0 de cobre que tiene un diámetro de 12,7 mm (con aislamiento) versus el calibre 2/0 de aluminio que tiene un diámetro de 12,4 mm (con aislamiento).

**Tabla XXIX. Comparativo de distintos calibres de conductores de cobre y aluminio con relación a su capacidad de conducción**

Calibre	Diferencial diámetro sobre aislamiento	Diferencial peso	Diferencial corriente a 90 °C	Diferencial corriente a 90 °C con una diferencia de calibre	Diferencial diámetro sobre aislamiento con una diferencia de calibre
6 AWG	0,0%	38,7%	73,3%	0%	16,4%
4 AWG	8,2%	34,6%	78,9%	0%	8,2%
2 AWG	8,9%	34,2%	76,9%	5%	12,9%
1/0 AWG	10,2%	34,6%	79,4%	4%	-2,4%
2/0 AWG	10,8%	34,0%	76,9%	-12%	-3,6%
3/0 AWG	11,8%	33,6%	77,8%	-10%	-1,3%
4/0 AWG	10,2%	33,2%	78,8%	-9%	0,0%
250 KCMIL	9,7%	33,8%	79,3%	-12%	-3,2%

Continuación tabla XXX.

300 KCMIL	10,1%	33,5%	81,3%	-10%	-4,0%
350 KCMIL	10,3%	33,1%	80,0%	-13%	-5.2%
400 KCMIL	10,2%	32,9%	80,3%	-13%	-1.8%
500 KCMIL	10,5%	32,5%	81,4%	-8%	0.8%

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

Por lo tanto, diseñar con cobre y aluminio se vuelve más práctico, teniendo en cuenta que, con un calibre superior, se puede utilizar Aluminio en vez de cobre, en términos generales.

Es importante acotar que lo anterior solamente es para fines comparativos, lo que se trata de explicar es que se puede obtener un gran ahorro utilizando Aluminio, aun cuando se trate de calibres mayores, pero si lo vemos desde el punto de vista de contenido de metal de cada conductor, vemos que un conductor de cobre 1/0 lleva 190 Kgs de metal a un costo tres veces mayor al del aluminio, mientras que un calibre 2/0 de Aluminio lleva 23 Kg de metal, con un costo menor, siendo el ahorro sumamente significativo.

En la industria del cable es común encontrar XHHW-2 tanto en cobre como en Aluminio, al igual que el THWN-2 se utiliza para ambos metales, es tan solo tener en cuenta la ampacidad de cada conductor en el momento del diseño. ¿Por qué en el mercado no es común el XHHW-2 con cobre? esto es derivado a que la industria está altamente influenciada por las normas estadounidenses, quienes son los que marcan la tendencia en la industria, siendo el mayor consumidor de materias primas en nuestra región, esto fácilmente explica el por qué se utilizan X o Y materiales, en resumen, los costos y diseños responden a una economía de mercado estadounidense que es mucho más grande que toda la economía de Latinoamérica.

Sin embargo, en muchos países han desarrollado compuestos distintos para sus mercados, es el caso de México que utiliza un compuesto de PVC de baja emisión de humo, distinta al compuesto de PVC para los THWN-2/THHN, con el fin de evitar la penetración del mercado local por parte de la mayor economía del mundo, que es Estados Unidos de América, que tiene como genérico el uso del PVC para THWN-2/THHN. Este tipo de conductor es un poco más caro, pero al existir una norma de instalación en México que exige PVC de baja emisión de humos, se logra marginar al PVC que se procesa en la unión americana.

### **5.3.2. Conductores THHN tipo CCA (*Copper Clad Aluminum*) o bimetálicos**

Los cables bimetálicos o CCA como se le describe en el NEC (2017), están fabricados es un conductor eléctrico que tiene una cubierta exterior de cobre unida metalúrgicamente a un núcleo de Aluminio macizo. Con lo anterior los fabricantes de este tipo de conductor ofrecen un conductor robusto que un conductor de aluminio y no sufre deformación en una conexión mecánica, siempre con la ventaja que es más liviano y más fácil de manejar e instalar que los productos de cobre que reemplaza.

Al igual que en cobre, se encuentra ampliamente en todos los tipos de conductores, que van del cordón SPT, TSJ y cables THHN con sello UL desde el calibre 12 AWG al 2,000 Kcmil. La ventaja que presentan sus promotores es el contar con un conductor que se puede instalar al igual que el cobre, no tiene la limitante del Aluminio con respecto a las conexiones, ya que la cubierta de cobre que trae le permite una conectividad igual al conductor de cobre, y con la limitante de capacidad de conducción del Aluminio, que obliga el considerar un calibre mayor al cobre como se puede observar en la tabla 31. Este material no es

aceptado por varios países, en nuestra región, solo Estados Unidos lo acepta y lo tiene normado, en Canadá y México que poseen sus propios códigos eléctricos no lo aceptan, no tanto por un tema técnico, sino más bien por intereses económicos, debido a que en Canadá hay una gran industria de aluminio, que prefiere promover los conductores hechos con ese metal, y por su parte México, posee una importante capacidad de explotación de cobre, por lo que promueven su uso.

Una de las observaciones que se hace al cable bimetálico (CCA) es que un poco más rígido que el cobre, lo que lo hace un tanto quebradizo. Lo anterior se da debido a que algunos de sus promotores lo presentan como un conductor con las mismas características mecánicas de los cable de cobre, lo cual no es posible porque se trata de un material que en gran porcentaje (80 % como mínimo) está compuesto de Aluminio, por lo que se deben tener algunas consideraciones parecidas a las dadas para conductores enteramente fabricados de aleación de Aluminio serie 8176, con excepción al tema de la conectividad, que por ser cobre lo que está expuesto, no se tiene el inconveniente del par galvánico anteriormente explicado en el capítulo dos.

Tabla XXX. Ampacidad para los cables THHN bimetálicos o CCA

CONDUCTORES THHN, 90° C, 600 V				
100 % COBRE		↔	C C A 10%	
RESISTENCIA DC @ 25° (Ohm/Km)	**AMPACIDAD (amperios)	AWG / MCM	**AMPACIDAD (amperios)	RESISTENCIA DC @ 25° (Ohm/Km)
8.610		A 14	—	—
8.780	25*	14	—	—
5.420	30*	A 12	25*	8.237
5.530		12		8.402
3.408	40*	A 10	35*	5.183
3.476		10		5.287
2.143	55	A 8	45	3.257
2.186		8		3.323
1.375	75	6	60	2.091
0.865	95	4	75	1.318
0.544	130	2	100	0.828
0.342	170	1/0	135	0.520
0.271	195	2/0	150	0.413
0.215	225	3/0	175	0.327
0.170	260	4/0	205	0.259
0.144	290	250	230	0.219
0.103	350	350	280	0.157
0.072	430	500	350	0.110
0.06	475	600	385	0.099
0.048	535	750	435	0.073
*Limitación del NEC para calibres 14, 12, 10 no exceder <b>15, 20, 30 Amp.</b> respectivamente		↔	*Limitación del NEC para calibres 12 y 10 no exceder <b>15 y 25 Amp.</b> respectivamente	
** A 30° C temperatura ambiente no más de tres conductores en ducto.				

Fuente: <https://www.electricaplicada.com/contenido-de-la-nec-national-electrical-code-spanish/>.

Este material se encuentra disponible en el mercado guatemalteco, lo fabrica la empresa CONDUSAL de El Salvador, quienes tienen convenio con la empresa Copperweld®, quien fue pionero en la fabricación de alambres de acero recubiertos de cobre a principios del siglo XX, por lo que el nombre Copperweld quedó ligado a ese tipo de material. Posteriormente a principios de los 70's fabricaron el Aluminio cubierto de cobre, logrando que fuera aceptado por el NEC,

por lo que su aplicación es aceptada por las compañías aseguradoras. El material no se ha vuelto popular por dos razones, la primera y principal es que el cobre aún puede ser adquirido a precios razonables, y es fácil de procesar, por lo que para cables delgados 24 AWG al 8 AWG, es la mejor alternativa, y para cables más gruesos la aleación de Aluminio se ha vuelto la alternativa más económica. En el anexo de catálogos se puede encontrar la ficha técnica para el THWN-2/THHN.

### **5.3.3. Marcas comerciales más reconocidas en el mercado de cables monofásicos y armados**

Por muchos años la empresa Phelps Dodge dominó el mercado centroamericano, gracias al impulso que se le dio a la industria en la región al tratado que se firmó a principios de los 60's y que creó el Mercado Común Centroamericano, donde se establecieron altos aranceles para todos los productos que fueran fabricados en la región. Por ello Phelps Dodge a mediados de los 60's montó una planta en El Salvador. Posteriormente a principios de los 70's Condumex de México montó planta en Costa Rica, la cual fue comprada por Phelps Dodge a los pocos años de su establecimiento, con lo que logró tener más del 90 % del mercado regional. Con la apertura de mercados decretada a finales de los 90's y suscrita a Tratados de Libre Comercio con varios países, el mercado paulatinamente se abrió a otros proveedores, siendo México el más favorecido, por lo que las marcas más conocidas y comercializadas en la región son:

- CONDUMEX, quien forma parte del grupo CARSO de México, y quien es el líder en México. Fabrica todo tipo de conductores eléctricos en cobre y Aluminio, de baja, media y alta tensión. Además, el líder en telecomunicaciones, teniendo prácticamente el monopolio en México y

Centroamérica, debido a que la empresa CLARO es parte también del grupo CARSO, en nuestro país comercializan los siguientes productos:

- THHN / THWN-2 Cu
  - SPT 300 V Cu
  - TSJ 600 V Cu
  - XHHW-2 Al serie 8176
  - TFFN
  - UTP CAT5e & CAT6 para interior y exterior.
  - Coaxiales de dos y tres capas.
  - Cables de aluminio para líneas de distribución y transmisión.
  - Cables de aluminio para acometidas aéreas y subterráneas.
  - Cables tipo MC con conductores XHHW-2 serie 8030 marca Armanel
- 
- VIAKON, empresa situada en la ciudad de Monterrey, estado de Nuevo León México, quien tiene una alta vocación exportadora, ya que la empresa nació de la mano de CANADA WIRE, para atender demanda en Estados Unidos y Canadá. Es el segundo proveedor en México y primero en exportaciones, enviando hasta el 40 % de su producción a Estados Unidos y Canadá.
  - - THHN / THWN-2 Cu
    - SPT 300 V Cu
    - TSJ 600 V Cu
    - XHHW-2 Al serie 8176

- TFFN
  - Coaxiales de dos y tres capas.
  - Cables de aluminio para líneas de distribución y transmisión.
  - Cables de aluminio para acometidas aéreas y subterráneas.
  - Cables tipo MC con conductores XHHW-2 serie 8030 marca Viakon
- PRYSMIAN, mayor productor de conductores eléctricos en el mundo, y actual propietario de las fábricas que producen bajo la marca Phelps Dodge. Actualmente poseen una sola fábrica en la región de cables para baja tensión, situada en Costa Rica. Además, poseen la empresa General Cable de Estados Unidos, quienes son los dueños de la marca STABILOY, muy conocida en nuestro medio de cables armados.
    - THHN / THWN-2 Cu
    - SPT 300 V Cu
    - TSJ 600 V Cu
    - XHHW-2 Al serie 8176 & 8030
    - TFFN
    - Coaxiales de dos y tres capas.
    - Cables de aluminio para líneas de distribución y transmisión.
    - Cables de aluminio para acometidas aéreas y subterráneas
    - Cables tipo MC con conductores XHHW-2 serie 8030 marca Stabiloy

- CONDUSAL, es un pequeño fabricante con sede en El Salvador, tienen un convenio con la empresa COPPERWELD de Estados Unidos, para la fabricación y distribución de cables bimetálicos.
  - THHN / THWN-2 Cu & CCA
  - SPT 300 V Cu & CCA
  - TSJ 600 V Cu & CCA
  - XHHW-2 Al serie 8176
  - TFFN Cu
  - Cables de aluminio para líneas de distribución y transmisión.
  - Cables de aluminio para acometidas aéreas y subterráneas.

#### **5.4. Sistemas de ducto barra de aluminio**

La selección de material para conductores para sistemas de barra o ducto barra generalmente se basa en un equilibrio de características mecánicas y eléctricas, economía y disponibilidad. Los materiales más utilizados son: cobre y aluminio<sup>67</sup>.

Se sabe que el cobre tiene excelentes características mecánicas y eléctricas y durante muchos años fue el metal elegido para su uso como conductor de barra. Sin embargo, la tendencia ha sido hacia un uso más amplio del Aluminio para todos los tipos de instalación de barras.

---

<sup>67</sup> INTERPLEX. <https://interplex.com/busbar-guide/>. Consulta: 28 de octubre 2020.

El aluminio tiene menos de un tercio de la densidad del cobre y, teniendo en cuenta la conductividad, una barra colectora de Aluminio pesará aproximadamente la mitad que el cobre para una conducción igual. Para grandes instalaciones que requieren millones de libras de metal, los diseñadores de sistemas de Ducto barra, han utilizado el bajo costo del Aluminio como base para una densidad económica óptima y actual.

La conductividad del aluminio puro es de aproximadamente el 65 % del estándar internacional de cobre recocido (IACS) y se puede producir 99.99 por ciento puro; sin embargo, la pureza del metal es costosa de lograr y los lazos mecánicos adecuados son bajos<sup>68</sup>.

Aluminio 1350 es un aluminio comercial de alta pureza con 61 % de conductividad. La resistencia a la tracción de cada temple de 1350 está determinada por la cantidad de trabajo que se le da al metal durante la fabricación. Hoy en día, la mayoría de los conductores de bus de Aluminio de 1350 son de temple -H111 para extrusiones, -H112 para placa laminada aserrada y -F para barras de fundición.

Posterior a la Segunda Guerra Mundial, se desarrolló una nueva aleación conductora, la 6101, se caracterizaba por un límite elástico mayor y mejor resistencia a la fluencia que 1350. Dicha aleación contenía magnesio y silicio que proporcionaba alta resistencia mecánica sin generar reducción significativa de la conductividad. La resistencia de esta aleación se obtiene a través de tratamientos térmicos adecuados, combinados ocasionalmente con algo de trabajo en frío<sup>69</sup>.

---

<sup>68</sup> SIGNI. *6101 Barra plana de aluminio*. <http://signaluminio.com/perfil-aluminio/barras-en-aluminio/6101-Barra-plana-de-aluminio-6101.html>. Consulta:28 septiembre 2020.

<sup>69</sup> Ibid.

La aleación 6063 ha sido ampliamente utilizada para barras de subestaciones de alta tensión al aire libre, debido a sus excelentes propiedades mecánicas y eléctricas y su disponibilidad y economía. Cuando es deseable una alta resistencia y los requisitos de conductividad son menores, se utiliza el bus de aleación 6061-T6. Cuando se requiere alta conductividad, con un mínimo sacrificio en propiedades mecánicas, la aleación 6101 se usa en una variedad de formas.

Aunque se pueden usar otras aleaciones de aluminio para conductores tipo barra, estas deben usarse con cuidado debido a que la conductividad y las propiedades mecánicas podrán afectarse por pequeñas variaciones de corriente.

En el caso específico de los sistemas de ducto barra, no está especificado el tipo de aleación a utilizar en el caso de los aluminios, donde el NEC hace la aclaración que deben ser de la aleación AA8000. Cada fabricante posee un diseño e ingeniería propia en los sistemas de ducto barra, y todos cumplen con las normas:

- NEMA—*National Electrical Manufacturer Association*
- ANSI C37.23—*American National Standards Institute*
- NFPA 70—*National Electrical Code*

Regularmente utilizan una aleación 6061 la cual presente un 57 %IACS, y para el cobre se asume el 98 % IACS. Por ser de tipo modular, no se pueden utilizar distintas marcas en una instalación, por lo regular se debe elegir la misma marca para los centros de carga y el sistema de ducto barra, ya que hay que guardar una compatibilidad.

El ducto barra son piezas sofisticadas de tecnología que hacen que la distribución de energía sea más eficiente, fácil, segura, en algunos casos menos costosa<sup>70</sup>.

En aplicaciones eléctricas de alto consumo de energía, un ducto barra es un elemento crítico para conducir niveles de corriente significativos entre las funciones dentro del ensamblaje. El ducto barra se pueden usar en cualquier cantidad de configuraciones, desde elevadores verticales hasta barras dentro de un panel de distribución, o parte de un proceso industrial.

Según NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos) el ducto barra los define como un sistema de distribución eléctrica prefabricado que consiste en barras colectoras en un recinto de protección, que incluye, tramos rectos, accesorios y dispositivos.

Como todo sistema tiene ventajas sobre el usar conductores, las principales por los instaladores son las siguientes<sup>71</sup>:

- Estructura compacta y rígida. Menos espacio que los sistemas de cable convencionales.
- La cubierta metálica (aluminio) provee mejor transferencia de calor. El enfriamiento es mejor que en los sistemas de cable por bandeja.
- Estructura robusta que soporta mayores corrientes de CC.

---

<sup>70</sup> DUCTOBARRA. *Ducto barra*. <http://www.ductobarra.com/ductobarra.htm>. Consulta 22 de septiembre 2020.

<sup>71</sup> 3M. *Sistema de Ducto de Barras de Cobre para Canalizaciones Eléctricas*. <https://multimedia.3m.com/mws/media/992350O/ductosdebarra.pdf?fn=Ducto%2520de%2520B%2520arra.pdf>. Consulta: 28 de octubre 2020.

- Reduce las caídas de tensión respecto de los sistemas de cables (menor pérdida de potencia).
- El campo electromagnético en altas corrientes más reducido lo que reduce las interferencias con los sistemas de datos.
- Elimina las diferencias de longitudes de cables en sistemas de múltiples cables por fase.
- NO pueden ser dañados por animales como roedores.

#### **5.4.1. Características de los equipos**

El ducto barra o ducto de barra regularmente están manufacturados con una carcasa de Aluminio que reduce el peso del ducto hasta un 50 %, aunque existen con carcasa de hierro para bajos amperajes de 250 A.

El primer elemento por tomar en cuenta con este tipo de equipo es el peso, los distintos fabricantes ofrecen una relación de menor peso con resistencia a la flexión, con el fin de utilizar la menor cantidad de equipo de soportería.

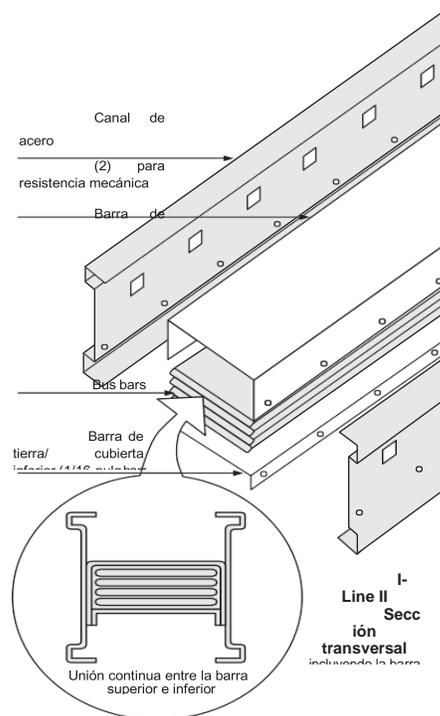
Con relación a la barra, regularmente ofrecen en aluminio, y está disponible sistemas desde 250 a 5000 amperios. Los siguientes sistemas son los que están disponibles y se utilizan dependiendo de las exigencias de la carga eléctrica:

- Trifásico, tres barras.
- Trifásico, tres barras con una barra adicional para tierra del 50 % de la sección de la barra de fase.

- Trifásico, tres barras con una barra adicional para neutro 100 % de la sección de fase.
- Trifásico, tres barras con una barra adicional para neutro 100 % de la sección de fase, más con una barra para tierra del 50 % de la sección de la barra de fase.

En la mayoría de los diseños la barra de tierra está formado por dos láminas que cubren las barras de fases y neutro como se aprecia en la siguiente imagen del sistema que ofrece la marca Square D:

Figura 15. **Componentes de un ducto barra marca Square D**

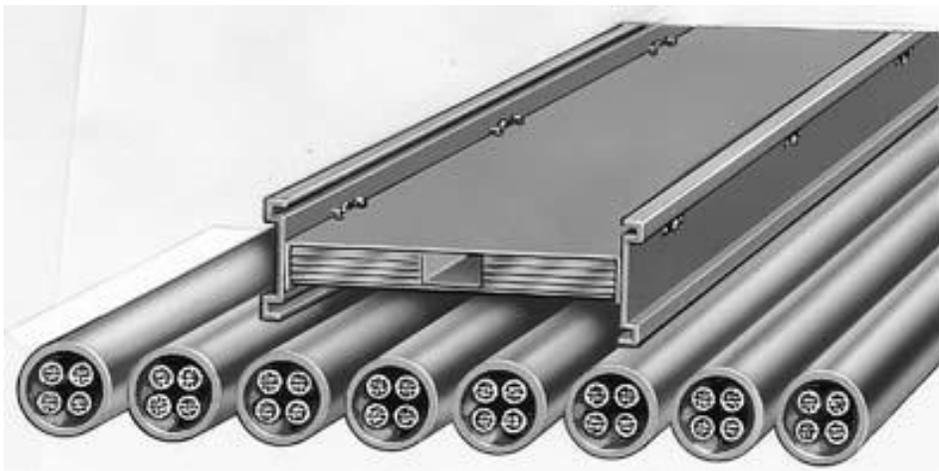


Fuente: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_File\\_Name=5600CT9101.pdf](https://download.schneider-electric.com/files?p_File_Name=5600CT9101.pdf).

Como se observa en la figura 15, el sistema es sumamente compacto, en la industria le llaman tipo «sándwich». Por lo anterior el ducto barra es utilizado en ambientes donde existe una concentración alta de demanda, en nuestro medio es común ver estos sistemas en *data centers*, *call centers*, ya que los sistemas de comunicación y manejo de datos ocupan un espacio relativamente pequeño y la concentración de equipos hacen que la carga sea alta. Además, los centros con tecnología son dinámicos, por lo que el carácter modular de los sistemas de ducto barra, son más flexibles para poder intercambiar la entrega de energía de un punto a otro. El ducto barra también es seguro en espacios reducidos se pueden crear redundancias en el sistema.

En la figura 16 se observa el ahorro de espacio que proporcionan estos sistemas con alta demanda de energía.

Figura 16. **Comparativo de espacio que ocupa ducto barra versus sistema de cables**



Fuente: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_File\\_Name=5600CT9101.pdf](https://download.schneider-electric.com/files?p_File_Name=5600CT9101.pdf).

### 5.4.2. Sistemas de ducto barra o ducto de barra

Hay esencialmente tres categorías de vías de sistemas de ducto barra<sup>72</sup>.

- Alimentadores o *feeders*:

Canalización de la energía del transformador central al tablero principal en baja tensión (420/220/208) el cual se le conoce por su sigla en inglés MLVS (*main low voltage switchboard*).

La instalación del ducto barra puede considerarse permanente y lo más probable es que nunca se modifique. No hay puntos de derivación, lo cual es muy importante para las empresas de distribución de energía, porque con ello se garantizan que no haya pérdidas entre el transformador y el tablero de contadores, que es donde se empieza a medir la energía entregada a los usuarios.

Se usa con frecuencia para tiradas cortas, casi siempre se usa para clasificaciones superiores a 1600 / 2000 A, es decir, cuando el uso de cables paralelos hace que la instalación sea complicada. El ducto barra también se utiliza entre los tableros principales de distribución MLVS y los tableros secundarios o derivados.

Las características del ducto barra principal permiten las corrientes operativas de 1000 a 5000 A y los cortocircuitos soportan hasta 150 kA.

---

<sup>72</sup> JURDIT, Nicolas. [https://www.electrical-installation.org/enwiki/Main\\_Page](https://www.electrical-installation.org/enwiki/Main_Page). Consulta: 28 de octubre 2020.

- Canalización de ducto barra de distribución secundaria con densidades de derivación altas o bajas.

En circuitos secundarios o derivados del tablero principal, se deben suministrar dos tipos de aplicaciones:

- Locales de tamaño medio (talleres industriales con prensas de inyección y máquinas de carpintería metálica o grandes supermercados con cargas pesadas, grandes *data centers*).
- Los niveles de cortocircuito y corriente pueden ser bastante altos (respectivamente 20 a 70 kA y 100 a 1000 A).
- Pequeños sitios (talleres con máquinas herramientas, fábricas textiles con máquinas pequeñas, supermercados con pequeñas cargas, pequeños data centers, etc.). Los niveles de cortocircuito y corriente son más bajos (respectivamente 10 a 40 kA y 40 a 400 A).

La subdistribución mediante Ducto barra satisface las necesidades del usuario en términos de:

- Modificaciones y actualizaciones dada la gran cantidad de puntos de derivación.

- Fiabilidad y continuidad del servicio porque las unidades de derivación pueden conectarse en condiciones energizadas con total seguridad.
  - El concepto de subdistribución también es válido para la distribución vertical en forma de elevadores de 100 a 5000 A en edificios altos.
- Distribución de iluminación por medio de ducto barra:

Los circuitos de iluminación se pueden distribuir utilizando dos tipos de ducto barra de acuerdo a si los accesorios de iluminación van suspendidos del ducto barra o no.

- Ductos barra diseñados para la suspensión de accesorios de iluminación.

Los Ducto barra, suministran y sostienen lámparas (reflectores industriales, lámparas de descarga, etc.). Se utilizan en edificios industriales, supermercados, grandes almacenes y almacenes. Los ductos son muy rígidos y están diseñados para uno o dos circuitos de 25 A o 40 A. Tienen salidas de derivación cada 0,5 a 1 m.

- Ducto barra no diseñado para la suspensión de accesorios de iluminación.

Al igual que los sistemas de cable prefabricados, estas vías se utilizan para suministrar todo tipo de accesorios de iluminación asegurados a la estructura del edificio. Se utilizan en edificios comerciales (oficinas, tiendas, restaurantes, hoteles, etc.), especialmente en falsos techos. El enlace de la barra colectora es

flexible y está diseñado para un circuito de 20 A. Tiene salidas de derivación cada 1, 2 a 3 m.

### **5.4.3. Elementos que componen un sistema de ducto barra**

Hay cuatro sistemas típicos de sistemas de ducto barra<sup>73</sup>, se enfocarán los más comunes, ya que la aplicación es bastante amplia, puesto que se utilizan en sistemas de transporte, subestaciones, plantas generadoras entre otros.

#### **5.4.3.1. Tipo *feeder***

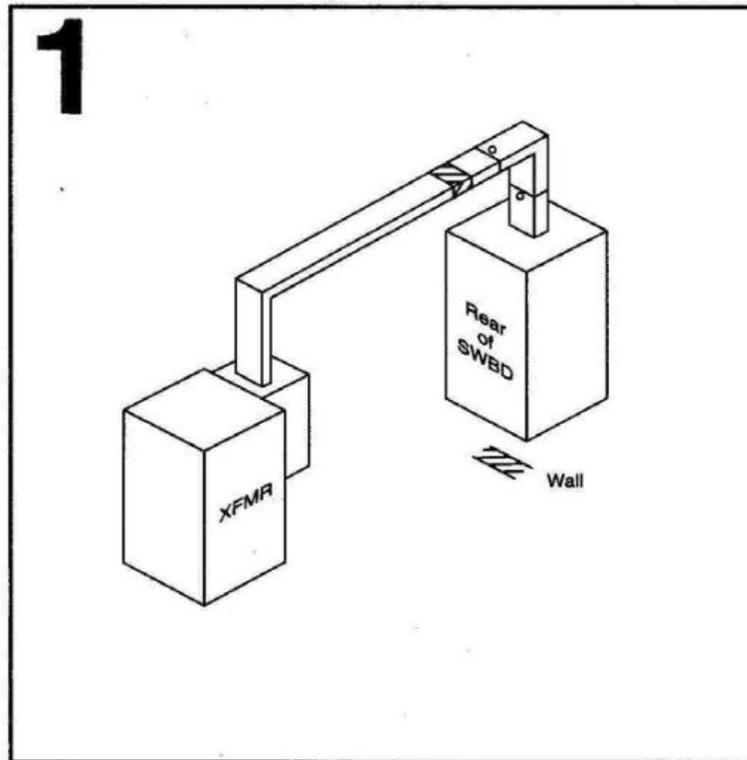
La Figura 17, identificada con el número uno, es una entrada de servicio típica que se ejecuta desde un transformador de servicio a un panel central. Los cables o bornes se conectan directamente al ducto barra. (Generalmente, una combinación de aplicación exterior-interior). El ducto barra tipo *feeder* no posee ninguna salida o forma de conectar una carga en toda su longitud, únicamente donde se alimenta y donde entrega la energía<sup>74</sup>. Lo anterior es necesario en instalaciones en donde se quiere prever la sustracción de energía.

---

<sup>73</sup> SCHNEIDER ELECTRIC. [https://www.electrical-installation.org/enwiki/Verification\\_of\\_the\\_withstand\\_capabilities\\_of\\_cables\\_under\\_short-circuit\\_conditions](https://www.electrical-installation.org/enwiki/Verification_of_the_withstand_capabilities_of_cables_under_short-circuit_conditions). Consulta: 26 de octubre 2020.

<sup>74</sup> Ibid.

Figura 17. Sistema feeder en ducto barra



Fuente: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_File\\_Name=5600CT9101.pdf](https://download.schneider-electric.com/files?p_File_Name=5600CT9101.pdf).

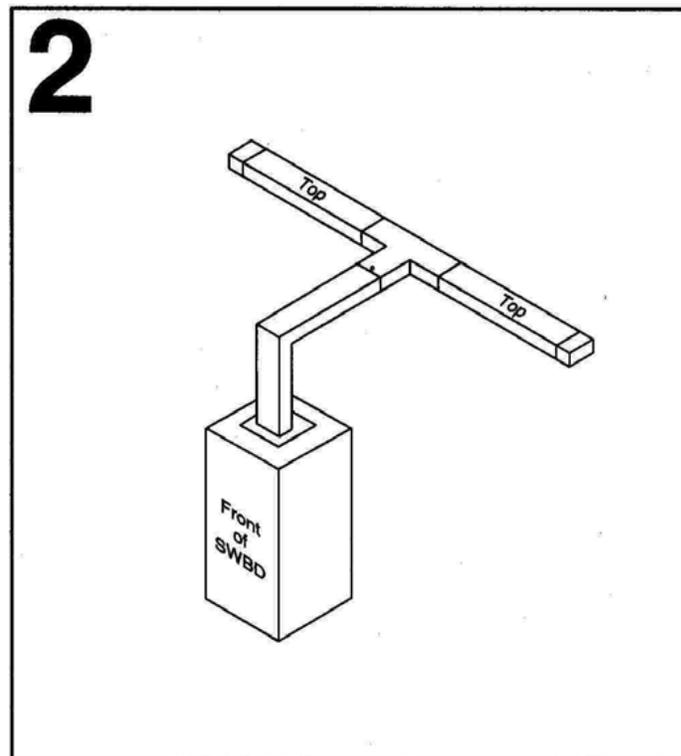
#### 5.4.3.2. Tipo *plug-in* horizontal

La Figura 18, identificada con el número 2, es un sistema simple tipo de *plug-in* alimentado por panel de energía<sup>75</sup>, y como se aprecia en la figura, su forma es de una Te. Estos sistemas son diseñados únicamente para instalaciones internas. El ducto barra tipo *plug in*, posee aberturas cada dos pies

<sup>75</sup> SCHNEIDER ELECTRIC. [https://www.electrical-installation.org/enwiki/Verification\\_of\\_the\\_withstand\\_capabilities\\_of\\_cables\\_under\\_short-circuit\\_conditions](https://www.electrical-installation.org/enwiki/Verification_of_the_withstand_capabilities_of_cables_under_short-circuit_conditions). Consulta: 26 de octubre 2020.

donde se pueden conectar tableros para colocar cargas en su camino, a diferencia del tipo *feeder* que no posee aberturas enchufables (*plug-in*) donde se puedan instalar unidades enchufables.

Figura 18. **Sistema *Plug-In***

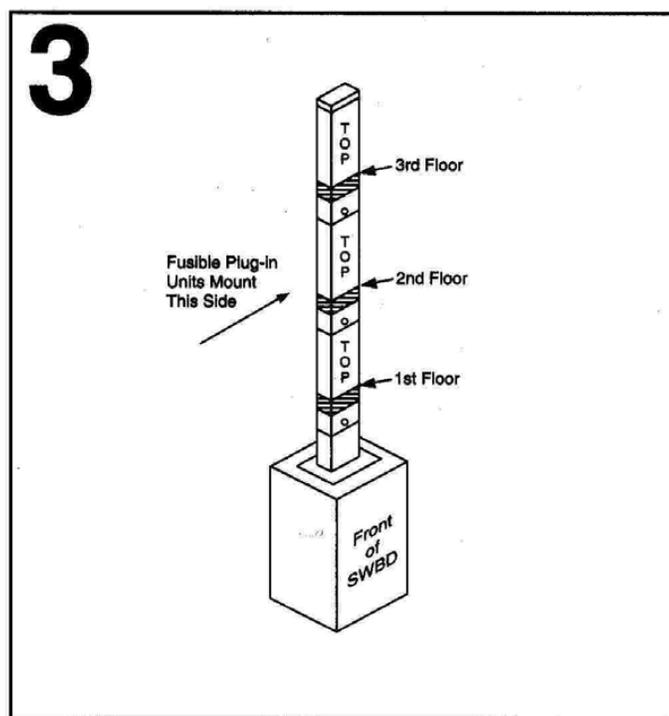


Fuente: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_File\\_Name=5600CT9101.pdf](https://download.schneider-electric.com/files?p_File_Name=5600CT9101.pdf).

### 5.4.3.3. Tipo riser vertical

La figura 19, identificada con número 3, es un simple sistema *plug-in riser* alimentado por un panel principal y está diseñado para instalaciones verticales. Derivado al peso y las distancias a cubrir, es necesario un sistema que posea una arquitectura distinta al *plug in* horizontal, ya que las situadas en los primeros niveles deben soportar el peso del resto. Su aplicación siempre es para uso interno<sup>76</sup>.

Figura 19. Sistema tipo Riser



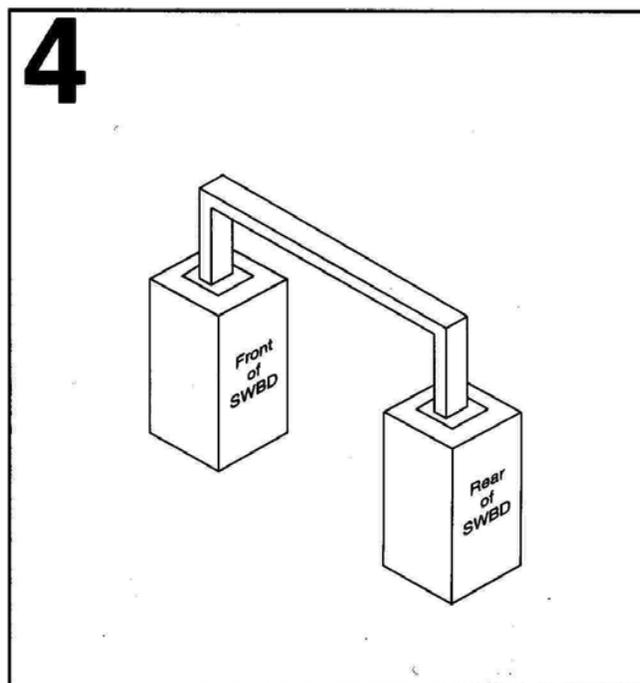
Fuente: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_File\\_Name=5600CT9101.pdf](https://download.schneider-electric.com/files?p_File_Name=5600CT9101.pdf).

<sup>76</sup> SCHNEIDER ELECTRIC. [https://www.electrical-installation.org/enwiki/Verification\\_of\\_the\\_withstand\\_capabilities\\_of\\_cables\\_under\\_short-circuit\\_conditions](https://www.electrical-installation.org/enwiki/Verification_of_the_withstand_capabilities_of_cables_under_short-circuit_conditions). Consulta: 26 de octubre 2020.

#### 5.4.3.4. Alimentador tipo *Tie Run*

La figura 4 muestra el típico sistema de alimentación entre dos paneles de energía. El sistema *feeder* no presenta oportunidad de realizar derivaciones, son sistemas cerrados, en donde solo hay conexión entre sus extremos. A diferencia del tipo *riser* y *plug in* horizontal, en donde se pueden hacer derivaciones, y son los utilizados para edificios y fábricas<sup>77</sup>.

Figura 20. Sistema tipo *Tie-Run*



Fuente: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_File\\_Name=5600CT9101.pdf](https://download.schneider-electric.com/files?p_File_Name=5600CT9101.pdf).

<sup>77</sup> SCHNEIDER ELECTRIC. [https://www.electrical-installation.org/enwiki/Verification\\_of\\_the\\_withstand\\_capabilities\\_of\\_cables\\_under\\_short-circuit\\_conditions](https://www.electrical-installation.org/enwiki/Verification_of_the_withstand_capabilities_of_cables_under_short-circuit_conditions). Consulta: 26 de octubre 2020.

## **5.5. Normas locales que deben considerarse para la escogencia del conductor eléctrico para acometidas**

Con relación a los conductores eléctricos, la normativa local está inclinada al tema de seguridad y funcionabilidad, lo cual se debe tomar en cuenta en función que un cable armado o ducto barra que se usaría para conectar un transformador de distribución a uno o varios paneles de contadores debe de cumplir con lo siguiente<sup>78</sup>:

ANEXO IV, inciso 3.

### **SUMINISTRO EN BAJA TENSIÓN:**

Todo servicio en Baja Tensión deberá cumplir con el Procedimiento descrito en la norma técnica NT 2.00.01 Normas de Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. El servicio en baja tensión se utilizará para cargas monofásicas y trifásicas indicadas en esta norma, y con las características siguientes:

Las tensiones de suministros que Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. proporcionará serán:

- 120/240 Voltios 1 fase 3 alambres
- 120/208 Voltios 1 fase 3 alambres
- 120/240 Voltios 3 fases 4 alambres
- 120/208 Voltios 3 fases 4 alambres
- 240/480 Voltios 4 fases 4 alambres

---

<sup>78</sup> COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA. *Normas Técnicas de Diseño y Operación de las Instalaciones de Distribución. Resolución CNEE 47-99.* Guatemala. 1999.

Por lo anterior un cable armado o ducto barra, mínimo debe traer los tres cables o barras para las fases, y un cuarto conductor para el neutro.

Derivado a que el país no cuenta con una norma nacional para instalaciones eléctricas, las distribuidoras de energía eléctrica (EEGSA y ENERGUATE principalmente), se enfocan en dos aspectos primordiales:

- Que el conductor eléctrico que va del secundario del transformador en baja tensión al panel de contadores, este confinado a un ducto metálico de muy difícil acceso. Por ello para conductores sin armadura, soliciten que la conducción sea en tubo galvanizado, tal y como lo indica el anexo IV de las Normas Particulares de Empresa Eléctrica de Guatemala, Sociedad Anónima (MT 2.00.01) (Comisión Nacional de Energía Eléctrica, 2004) el conductor deberá estar confinado a tubo Conduit o bien al diseño que se acuerde con EEGSA. El tipo de cable no es sujeto de la normativa, por lo que se utiliza el indicado en el NEC de EE. UU., como una referencia válida, y también porque es el material que hay disponible en el mercado.
- Los cables utilizados para las acometidas son especificados por la distribuidora, para ello cuentan con una norma interna en donde se indica las especificaciones que deben cumplir los conductores eléctricos, los cuales se adaptan, o bien toman de referencia lo que se utiliza en otros mercados para poder tener varias opciones de compra. Lo anterior es en base a la necesidad que toda empresa tiene de tener varios oferentes, por lo que el material a comprar está homologado con lo que se usa en otros países, siendo el mayor referente las normas IEC, ASTM, UL, NEMA entre otras. Por lo tanto, lo expuesto en el presente trabajo de graduación, en relación al tipo

del metal y los aislamientos normados y utilizados por las distribuidoras, es útil para comprender las características de los materiales utilizados.



## **6. RESULTADOS**

### **6.1. Consideraciones por tomar en cuenta en el diseño de Instalaciones eléctricas**

Analizar las consideraciones en un diseño de instalaciones eléctricas consiste en seleccionar los materiales adecuados que se utilizan para cada tipo de acometida y distribución con el costo de cada una de ellas.

Cada diseño eléctrico debe cumplir al 100 % la normativa de la EEGSA, ya que la distribuidora tiene como principal interés que cualquier opción seleccionada, cumpla con la principal premisa que es: que no se puedan hacer derivaciones en los conductores que van desde el centro de transformación al panel principal de distribución. Por lo anterior, no se puede tomar en cuenta el colocar conductores paralelos en charola o escalerilla, porque los mismos quedan expuestos y de forma maliciosa se podrían hacer empalmes y extraer energía que no puede ser medida por la distribuidora de energía. Por ello se hace necesario que los conductores estén en tubo, armadura o ducto metálico.

#### **6.1.1. Condiciones que demanda la Empresa Eléctrica de Guatemala para la instalación de ducto barra o conductores de aluminio para acometidas**

En el ejercicio que se desarrolla en el inciso siguiente, se describen las condiciones que la EEGSA requiere para realizar acometidas para cargas

trifásicas y monofásicas<sup>79</sup>, la cual consistirá en desarrollar una alimentación del panel principal de distribución a los paneles de medición con contadores con dos tipos de conducción de energía que son:

- Cable armado tipo MC con conductores de aluminio S8000 y cables de Aluminio tipo XHHW-2 S8000 o THWN/THHN-2 COBRE.
- Ducto barra tipo *feeder* de aluminio y cables de Aluminio tipo XHHW-2 S8000.

#### **6.1.2. Tipo de carga y servicio a prestar para la definición del mejor sistema a utilizar**

Seleccionar la carga adecuada para el servicio eléctrico a implementar, requiere de un análisis apegado a normativas existentes para respaldar la seguridad y calidad de la instalación eléctrica.

##### **6.1.2.1. Factores por analizar para escoger el sistema más adecuado según la carga**

Hay varias premisas a tomar en cuenta al hacer una instalación eléctrica, una de ellas es la confiabilidad de la instalación, por ello existe una norma que debe cumplirse para cada detalle, que sea segura, que cumpla con la demanda de energía, que las pérdidas sean las menores, etc.

El objetivo principal del NEC es describir las condiciones que cada instalación debe cumplir para poder servir a la carga eléctrica de una forma segura, por lo que el diseñador eléctrico deberá considerar si para algunas

---

<sup>79</sup> COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA *Normas Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (Acometidas)*, Guatemala. 2004.

ocasiones es mejor usar un sistema de ducto barra, o cables de cobre o Aluminio en charolas, canaletas, tubo *conduit*, entre otros.

Es por ello que la decisión del diseñador independiente se apegará a factores como el costo y materiales, según su experiencia, por ejemplo, un edificio de mediana altura (10-20 pisos), es muy probable que algunos diseñadores eligieran un sistema *feeder* de ducto barra para la alimentación del tablero principal, y para la alimentación vertical del inmueble un sistema *riser* de ducto barra, ya que es el sistema más compacto, y práctico.

Sin embargo. el trabajo de un ingeniero es diseñar lo más práctico considerando los insumos presentes en el mercado, el tiempo de ejecución con el que se cuenta, la habilidad de los electricistas con los que cuenta para la ejecución del proyecto, y sobre todo el presupuesto disponible, entre otras variables. El ingeniero tiene como trabajo, resolver la necesidad, con el presupuesto asignado y los insumos materiales y humanos con los que se cuentan.

#### **6.1.2.1.1. Consideraciones por tomar en cuenta para el cálculo de instalaciones eléctricas**

Los conductores deben ser dimensionados y las condiciones de protección determinadas para cada circuito en la instalación. El procedimiento es idéntico para cada circuito e implica una serie de pasos, que se describen a continuación:

- Calcular la corriente de funcionamiento real (IB) de los conductores. Este valor se deriva de la estimación de la carga total conectada con los receptores en el circuito en cuestión.

- Determinar la sección transversal de los conductores, para ser utilizado de acuerdo con esta corriente de funcionamiento real. La capacidad de transporte de corriente ( $I_Z$ ) de un sistema de conductores depende de la temperatura que pueda soportar y sus condiciones de disipación. Por lo tanto, las características del sistema de conductores (tipo de núcleo, tipo de aislamiento, número de conductores) y sus condiciones de circulación (método de instalación, temperatura ambiente, grupo de varios circuitos) son factores determinantes.
- Seleccionar el dispositivo de protección contra sobrecarga con la clasificación requerida ( $I_n$ ) y, si es necesario, determine su configuración ( $I_r$ ).
- Calcular la caída de voltaje en el sistema de conductores de acuerdo con su longitud y la corriente de funcionamiento real. Si este valor excede el valor especificado, se debe aumentar la sección transversal de los conductores.
- Calcular la corriente máxima de cortocircuito ( $I_{kmax}$ , falla en el origen del circuito) y corriente mínima de cortocircuito ( $I_{kmin}$ , falla al final del circuito). Estos valores se derivan de la tensión de alimentación y la impedancia del circuito con falla.
- Determinar las características del dispositivo de protección contra cortocircuitos: capacidad de corte ( $I_{cu}$ ) y umbral de disparo magnético (o ajuste  $I_m$ ). La capacidad de ruptura debe ser mayor que la corriente máxima de cortocircuito. El límite de disparo será determinado de acuerdo con el cortocircuito mínimo.

- Verificar el estrés térmico permitido por los conductores, en particular para la sobrecarga y las corrientes mínimas de cortocircuito.
- Verificar las longitudes máximas protegidas contra cortocircuitos. La corriente de cortocircuito más baja (al final del sistema de conductores) debe disparar efectivamente el dispositivo de protección.
- Verificar las condiciones de protección contra el contacto indirecto. El tiempo de ruptura por una falla al final de un sistema de conductores (corriente de falla mínima) debe ser compatible con la protección de las personas.

#### **6.1.2.2. Planificación de la instalación a realizar**

Todo proyecto se debe regir por una planificación objetiva y clara, en los incisos 6.1.2.2.1 al 6.1.2.2.3 se presenta tres aspectos que se tienen que tomar en cuenta al momento de diseñar e instalar circuito eléctrico.

##### **6.1.2.2.1. Aspectos relevantes y requisitos por tomar en cuenta al momento de elegir un sistema**

Concepto de planificación para el suministro de energía.

Regularmente las instalaciones se realizarán en edificaciones, el tema del espacio para las instalaciones eléctricas debe estar implícito en el diseño de la construcción, en principio no se puede diseñar una edificación sin tomar en

cuenta el espacio para la ductería por ello a continuación se detallan los pasos a seguir en la planificación para el suministro de energía.

Cuando se desarrolla un concepto de planificación para el suministro de energía, no solo es imperativo cumplir con las normas y reglamentos, sino que también es importante discutir y aclarar las interrelaciones económicas y técnicas (cables y/o sistemas de Ducto barra).

La clasificación y selección de equipos eléctricos, como tableros de distribución y transformadores, deben realizarse de tal manera que se tenga en cuenta un resultado óptimo para el sistema de energía en su conjunto, en lugar de centrarse en componentes individuales.

Es imprescindible considerar que todos los componentes estén suficientemente clasificados para soportar condiciones normales de funcionamiento y condiciones de falla<sup>80</sup>.

---

<sup>80</sup> CSANYI, Edvard. <https://electrical-engineering-portal.com/why-i-prefer-more-busbar-trunking-systems-and-not-cables>. Consulta: 30 de octubre 2020.

Figura 21. **Sistema ducto barra y cables como alimentador del tablero principal**



Fuente: <https://electrical-engineering-portal.com/precautions-installation-cables-busbar-trunking-systems>.

Otros aspectos importantes por considerar para la creación de un concepto de alimentación energía para una edificación son<sup>81</sup>:

- Tipo, uso y forma del edificio (por ejemplo, edificio de gran altura / baja altura, edificio de varios pisos).
- Centros de carga y posibles rutas y ubicaciones de transmisión de potencia para transformadores y cuadros de distribución principales.

---

<sup>81</sup> CSANYI, Edvard. <https://electrical-engineering-portal.com/why-i-prefer-more-busbar-trunking-systems-and-not-cables>. Consulta: 30 de octubre 2020.

- Valores de conexión relacionados con el edificio de acuerdo con cargas de área específicas que corresponden al tipo de uso del edificio.
- Disposiciones legales y condiciones impuestas por las autoridades de construcción.
- Requisitos del operador de la red de distribución de energía.
- El resultado nunca será una solución única. Se deben evaluar varias opciones en términos de sus impactos técnicos y económicos.

Dentro de los aspectos principales que se deben considerar como puntos de interés son:

- Planificación fácil y transparente.
- Larga vida útil.
- Alta disponibilidad.
- Baja carga de fuego.
- Adaptación flexible a los cambios en el edificio.
- La mayoría de las aplicaciones sugieren el uso de sistemas de canalización de barras colectoras adecuadas para cumplir estos requisitos.

#### **6.1.2.2.2. Distribución de las cargas**

Los criterios técnicos utilizados para diseñar una instalación eléctrica, se detallan a continuación.

- Transmisión de potencia

La energía del transformador al tablero principal (TDP) se transmite por medio de conductores eléctricos, ya sea de tipo: barra, cable eléctrico o ducto barra, y del TDP utilizando mismos medios, sus ramificaciones distribuyen a un sistema de subdistribución, siendo el más común el panel múltiple de contadores (PMC).

Las líneas principales o troncales sin puntos de derivación se utilizan para la transmisión de potencia. Hay tres formas de llevar la energía, con cables expuestos en charolas o bandejas, con cables armados tipo MC, o bien ducto barra, que están disponibles en longitudes estándar. Además de las longitudes estándar, o bien se pueden solicitar a conveniencia del usuario, lo cual tiene varias condiciones y limitantes.

Figura 22. **Panel de distribución de potencia con ducto barra**



Fuente: <https://electrical-engineering-portal.com/precautions-installation-cables-busbar-trunking-systems>.

- **Distribución de energía**

La distribución de energía es el área principal de aplicación para los sistemas de ducto barra. Esto significa que la electricidad no se puede aprovechar simplemente desde un punto fijo permanente como con una instalación de cable. Los puntos de toma pueden variarse y cambiarse según se desee dentro de todo el sistema de distribución de energía.

Para aprovechar la electricidad, solo tiene que enchufar una unidad de derivación en el ducto barra, en un punto de derivación. De esta forma, se crea un sistema de distribución variable para una fuente de alimentación distribuida lineal y/o de un área amplia.

Se hace énfasis en los alimentadores y distribución de la energía, porque como ya se indicó es donde un sistema de ducto barra es de mayor utilidad, y el cual puede ser sustituido por cables, ya sean de aluminio o cobre. Es importante indicar que los tableros están diseñados con borneras para cables de Aluminio o cobre, o bien se puede solicitar que posea conexión a sistema de ducto barra. El ducto barra puede ser de tipo *feeder* (no tiene derivaciones) y tipo “*plug in*”, el cual si permite derivaciones. Punto muy importante, que cada fabricante elabora sus sistemas de ducto barra y tableros para ser compatibles únicamente con componentes de la misma marca, por lo tanto, la decisión de compra es adquirir un sistema de un solo fabricante, o bien utilizar cables y buscar las mejores alternativas de precio y diseño con los demás componentes.

Existen dos tipos de circuitos<sup>82</sup>: alimentadores o *feeders* y ramales o *branch*, y da las indicaciones de las capacidades de corriente dependiendo de la fuente y carga, sin indicar si es mejor un sistema de ducto barra o cables, tan solo hace mención de la capacidad de corriente que debe tener el conductor, por lo que el diseñador está en la libertad de crear el sistema que más se adapte a la necesidad del circuito. Se recomienda leer los artículos 215 para alimentadores y 210 para ramales del NEC 2017.

- Agrupar conductores en paralelo

Por encima de una cierta corriente (generalmente varios cientos de amperios), el uso de varios conductores en paralelo permite que su sección transversal se limite y, por lo tanto, su manejo sea más fácil. Esta técnica, muy utilizada para los conductores entre el transformador y la baja principal del cuadro

---

<sup>82</sup> NEC. <https://conduit.site/tables/table-310.15-b-16.php>. Consulta: 22 de junio 2020

de distribución de voltaje, también se utiliza para conexiones salientes de alta potencia.

La disposición de los conductores en un triángulo (o en un trébol) proporciona el mejor equilibrio, pero generalmente se limita a dos o incluso tres conductores por fase. Por encima de esto, la superposición de capas limita la refrigeración y la instalación en un grupo (manejo) es preferible.

Es regla básica, si varios conductores están dispuestos en paralelo, deben estar dispuestos en tantos grupos como haya conductores en paralelo, y cada grupo contiene un conductor de cada fase. Los grupos de conductores deben instalarse uno cerca del otro. Esta regla de proximidad también se aplica a conductores individuales (fases, neutro y conductor de protección), ver figura 23.

Figura 23. **Cables dispuestos en paralelo en bandeja tipo escalerilla**



Fuente: <https://electrical-engineering-portal.com/precautions-installation-cables-busbar-trunking-systems>.

La distribución trifásica de energía por medio de cables en paralelo debe cumplir con una distribución predeterminada y que se muestra en la ilustración 24. Esta distribución debe cumplirse y guardar el diseño geométrico mostrado, de lo contrario se tendrá problemas de inducción y por ende pérdidas de potencia. El diseño debe hacerse con conductores del mismo calibre, aislamiento y metal, que mantengan la misma longitud y sin derivaciones en su longitud<sup>83</sup>.

De no cumplirse las condiciones antes descritas, una protección general para el conjunto de conductores paralelos o mazos, por un solo breaker no sería posible; por lo que sería necesario un breaker de protección por conductor. Se recomienda utilizar la menor cantidad de mazos, y por encima de cuatro cables por fase, se puede considerar el utilizar sistemas de Ducto barra prefabricada, que proporcionen una mejor distribución de las corrientes.

Las reglas descritas responden a una teoría<sup>84</sup>, la cual indica que con corriente alterna, todos los conductores eléctricos poseen una impedancia (expresada en ohmios) que a su vez es una función compleja de tres factores que son:

- Resistencia R llamada también resistencia óhmica.
- Reactancia  $L\omega$  que se debe a la auto inductancia del conductor.

---

<sup>83</sup> ELECTRICAPLICADA. *Ventajas y desventajas del cobre vs aluminio cableado*. <https://www.electricaplicada.com/ventajas-y-desventajas-del-cobre-vs-aluminio-cableado-electrico/> Consulta: 15 de junio 2020.

<sup>84</sup> Ibid.

- Capacitancia  $1 / \omega$ , llamada también reactancia capacitiva, que se origina debido al funcionamiento en conjunto de los conductores, la cual crea un condensador.

Figura 24. Disposición de los conductores en paralelo y coeficiente de corrección según IEC 60364

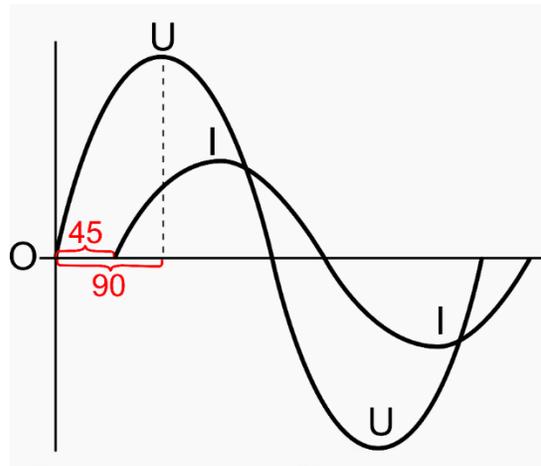
DISPOSICIÓN DE LOS CONDUCTORES EN PARALELO Y COEFICIENTE DE CORRECCIÓN SEGÚN IEC 60364					
Tipo de instalación	Número de conductores por fase	fs(1)	Sin neutro	Número de conductores neutro	Con neutro
En forma de trebol	2	1		1	
				2	
	3	1		2	
				3	
	4	1		2	
				4	
	5	1		3	
				5	
	6	0.8		3	
				6	
En una capa	2	1		1	
				2	
	3	0.8		2	
				3	
	4	1		2	
				4	
	5	0.8		3	
				5	
	6	0.7		3	
				6	

Fuente: <https://electrical-engineering-portal.com/precautions-installation-cables-busbar-trunking-systems>.

Se considera que para cables con sección transversal mayor 240 mm<sup>2</sup> (el 500 kcmil tiene 253.4 mm<sup>2</sup>), la contribución hecha por la reactancia  $\omega L$  se convierte en el factor dominante en la impedancia. Por lo tanto, el conductor se comporta como un receptor, cambiando la corriente y el voltaje.

En la figura 25 se observa un cambio de fase de 45 ° ( $\cos\phi = 0.5$ ). Resistencia y reactancia iguales. Cabe señalar que, para estas corrientes, el componente de capacitancia puede ignorarse.

Figura 25. **Desplazamiento de la corriente y voltaje por 45 °C ( $\cos\phi = 0.5$ )**



Fuente: <https://www.electricaplicada.com/recomendaciones-instalacion-cables-bandeja-portacables/>.

- Autoinducción o coeficiente de inductancia propio (L)

Este factor se determina por la fuerza eléctrica que circula en un conductor de acuerdo a la variación en el flujo magnético ( $\Phi$ ) que le rodea. La inductancia

del conductor también depende de otros factores: las características magnéticas del material, el medio y su geometría (longitud, número de vueltas)<sup>85</sup>:

$$e = -L \times d\Phi / dt$$

- Inductancia mutua

Para un enlace simétrico, el coeficiente de autoinducción es perceptiblemente idéntico para cada conductor, esto es:

$$L = (0.05 + 0.46 \log d/r) \text{ en mH/km.}$$

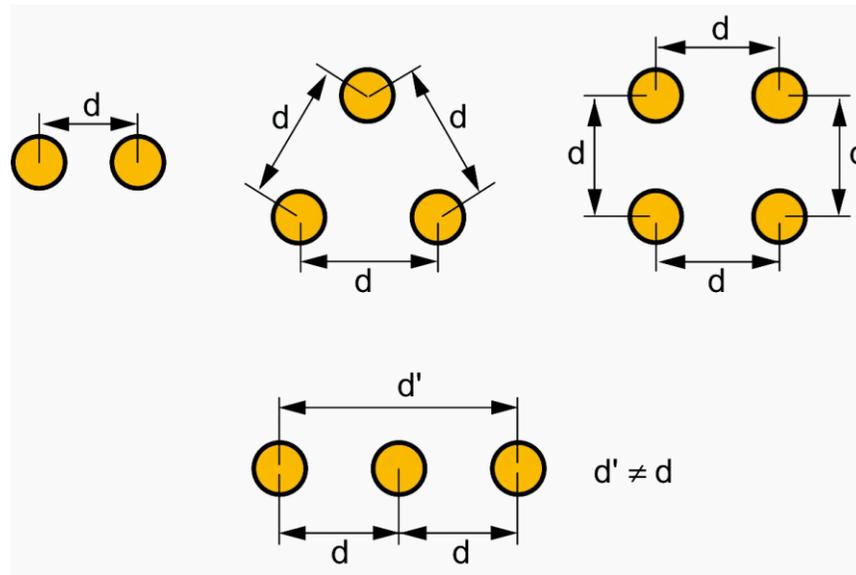
Donde: d es la distancia promedio entre los ejes de los conductores, y r es el radio del núcleo del conductor.

En una disposición asimétrica, debido a las diferentes distancias, también las inductancias mutuas entre los conductores serán diferentes. A partir de esto, se deduce que la distribución de la corriente será asimétrica, tal como se observa en figura 26.

---

<sup>85</sup> ELECTRICAPLICADA. *Ventajas y desventajas del cobre vs aluminio cableado*. <https://www.electricaplicada.com/ventajas-y-desventajas-del-cobre-vs-aluminio-cableado-electrico/> Consulta: 15 de junio 2020.

Figura 26. **Conductores simétricos**

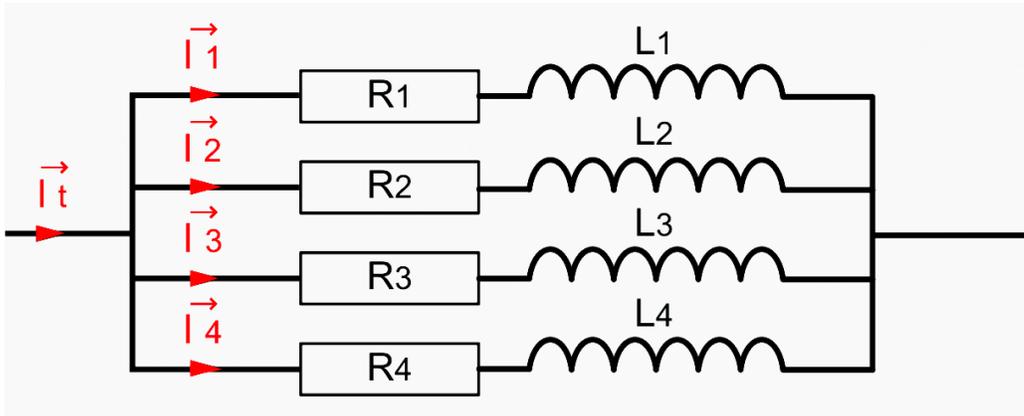


Fuente: <https://electrical-engineering-portal.com/precautions-installation-cables-busbar-trunking-systems>.

- Aplicación a conductores en paralelo

La equitativa distribución de las corrientes en varios conductores idénticos en paralelo se vincula de manera específica a la igualdad de las impedancias de cada conductor. De manera que con la proporción adecuada de inductancia que se vuelve dominante a través del aumento de la sección, la disposición geométrica de los conductores (distancias idénticas para cada uno de ellos) será dominante, tal como se observa en figura 27.

Figura 27. **Aplicación a conductores en paralelo**



Fuente: <https://www.electricaplicada.com/recomendaciones-instalacion-cables-bandeja-portacables/>.

- Diseño trifásico

En un cable o grupo de conductores en 3 fases (con o sin neutro), la suma vectorial de las corrientes es nula y la inducción magnética resultante creada por los conductores permanece muy baja si se agrupan y se disponen en un patrón regular. Si este no es el caso, el coeficiente de autoinducción de los conductores se modificará por la interacción del campo magnético creado.

- Las inductancias propias y mutuas y la distribución de las corrientes estarán fuera de balance.

En cables armados para reducir la impedancia, al igual que en cables de media tensión, el conjunto de cables (tres fases, neutro y tierra) va entorchado dentro de la armadura. En la figura 28, se observa un cable armado en su totalidad, con ello se logra una configuración simétrica, y por ende una baja considerable en la impedancia.

Figura 28. **Cable Stabiloy™**



Fuente: [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-846788256-cable-stabiloy-tipo-mc-Aluminio-s-8000-\\_JM#position=5&type=item&tracking\\_id=1675a4cc-b189-432d-9ece-6e5cd1a87859](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-846788256-cable-stabiloy-tipo-mc-Aluminio-s-8000-_JM#position=5&type=item&tracking_id=1675a4cc-b189-432d-9ece-6e5cd1a87859).

Ante lo descrito, se ha demostrado que los cables armados son un intermedio entre la instalación de cables en bandejas, charolas o escalerillas, y el ducto barra. Se pueden utilizar varios cables armados para un solo circuito, con lo que se puede alcanzar capacidades de corriente altas de alrededor de los 1000 a 1500 amperios. Además, es la opción más económica y práctica, sin que eso signifique que alcanza el nivel de seguridad de un ducto barra.

Los cables armados son muy populares en otras regiones, una construcción muy común es la AC (armored cables), mencionado anteriormente en la sección de cables armados de este documento, los mismos existen en configuraciones de 2 a 4 conductores, del calibre 14 al 1 AWG. Estos cables se utilizan mucho para instalaciones residenciales, comerciales y para iluminación, en Guatemala el cable que tiene una aplicación muy similar es el TSJ.

Es importante señalar que el cable TSJ es uno de los cables más utilizados en la industria eléctrica en Centroamérica, no es utilizado en otra parte del mundo y no es tratado en el NEC, la razón es porque fue un producto desarrollado por la empresa Phelps Dodge en los años 70-80 del siglo pasado, y es un cable que se puede incluir en la gama de los Junior Hard Service Thermoplastic Insulated (SJT), el cual es utilizado para la alimentación de electrodomésticos residenciales

y comerciales, extensiones eléctricas, herramientas portátiles o para uso temporal en aplicaciones de alambrado, o sea no es recomendado para instalaciones fijas.

Sin embargo, en la región centroamericana se ha demostrado que el cable TSJ es versátil y fiable, además de tener un menor costo en comparación al cable armado tipo AC. Para poder entender los usos de los cables armados tipo AC, es tan fácil como comprender que los mismos fueron sustituidos por el TSJ, donde el diseñador o el electricista ven ventaja de usar el TSJ, ahí es donde puede ir un armado AC. El TSJ tiene la ventaja que por ser un cable aislado y forrado (o con chaqueta), puede trabajar en ambientes húmedos, lo cual no es recomendable con el armado.

En otros países se utiliza un tipo TSJ, en México le llaman «Uso Rudo» que son cables para un voltaje máximo de 300 voltios, y el «Extra Uso Rudo», que son para voltajes de 600 voltios. El TSJ es para 600 voltios. En Colombia, España y otros países de habla hispana, a los cables de aislamiento PVC y chaqueta PVC en formaciones de 2 a 4 conductores, le llaman encauchetados, y en principio son para utilizar al igual que el SJT americano, pero en la práctica es utilizado al igual que en Centroamérica, para instalaciones fijas.

En cambio, el cable armado tipo MC, es para cables más gruesos, según norma puede llevar cables hasta calibre 2000 kcmil, por lo que es el sujeto de este estudio.

- Precauciones ante cortocircuitos.

Hay dos situaciones altamente dañinas que afectan a los cables en caso de cortocircuito:

- Tensión térmica, protección contra la cual normalmente es proporcionada por la potencia limitante de los dispositivos de protección (fusibles, disyuntores).
  - Tensiones electrodinámicas, cuyas fuerzas entre conductores pueden tener efectos destructivos.
- Conductores en bandeja de cables

La fijación o aseguramiento de los cables para sistemas trifásicos en bandeja es de suma importancia, ya que al producirse un cortocircuito entre dos cables energizados (situación que puede ser la más probable), los cables se ven sometidos a grandes corrientes de cortocircuito, lo que provocará que se repelan entre si con una fuerza proporcional al cuadrado de la intensidad. Si ni están bien sujetos, podrían zafarse de sus ataduras y tocar otro conductor o una tierra, causando un nuevo cortocircuito con un efecto de arco altamente destructivo.

Figura 29. **Bandeja para cable de aluminio para proyectos de cableado de edificios**



Fuente: <https://electrical-engineering-portal.com/precautions-installation-cables-busbar-trunking-systems>.

Los cables multiconductores están diseñados de manera que pueden resistir las fuerzas que se dan entre sus conductores en el momento de un corto circuito.

El uso de cables de un solo conductor requiere precauciones particulares. De manera que las indicaciones sobre la importancia de mantener los conductores de forma segura no garantizan por sí mismas que se resistirán las condiciones de cortocircuito, por lo que se requerirá siempre una simulación de prueba.

### 6.1.2.2.3. Consideraciones ambientales

El tema ambiental en este estudio se refiere específicamente a ambientes secos o húmedos en una instalación eléctrica, sin embargo, también se debe considerar el grado de humedad, accesibilidad, entre otros, por lo que la guía de electricidad es la NEMA siglas en inglés de la entidad *National Electrical Manufacturers Association* en la cual se indican los grados de protección. En el caso de la normativa europea, denominada IP por sus siglas en inglés de: *International Protection*, al igual que la NEMA, indica el grado de protección debe de alcanzar los equipos a instalar<sup>86</sup>.

De manera que al realizar la instalación, el material a utilizar debe cumplir con el grado de protección que demanda el medio ambiente donde se instalará. Para ello existen fabricantes que poseen equipos, como ductería, uniones, tableros, transformadores que cumplen con cada uno de los grados que se exponen en tabla 32, en base a la clasificación NEMA para la protección de personas contra el acceso a los equipos e influencia del medio ambiente.

---

<sup>86</sup> ANSI. [https://www.standardsportal.org/usa\\_en/sdo/nema.aspx](https://www.standardsportal.org/usa_en/sdo/nema.aspx). Consulta: 30 de septiembre 2020.

Tabla XXXI. **Clasificación NEMA de protección a personas y medio ambiente**

<b>Grado de protección</b>	<b>Descripción</b>
NEMA 1	Instalación interior, protege contra la caída de suciedad.
NEMA 2	Instalación interior, protege contra la caída de suciedad y el goteo de agua.
NEMA 3	Instalación exterior, protege contra lluvia, aguanieve y polvo transportado por el viento; además protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior sobre el armario.
NEMA 3R	Instalación exterior, protege contra lluvia, aguanieve: además protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior sobre el armario.
NEMA 3S	Instalación interior o exterior, protege contra lluvia, aguanieve y polvo transportado por el viento; además, los mecanismos externos permanecen operativos a pesar de la formación de hielo.
NEMA 4	Instalación interior o exterior, protege contra el polvo transportado por el viento y la lluvia, salpicaduras de agua y agua proyectada; además protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior sobre el armario.
NEMA 4X	Instalación interior o exterior, protege contra el polvo transportado por el viento y la lluvia, salpicaduras de agua, agua proyectada y corrosión; además protege contra daños ocasionados por la formación de hielo exterior sobre el armario.
NEMA 5	Protección interior contra caída de suciedad, acumulación del polvo del aire ambiental, así como contra el goteo de líquidos no corrosivos.
NEMA 6	Protección interior o exterior contra caída de suciedad, chorro de agua y entrada de agua a causa de la inmersión parcial, limitada a una profundidad determinada; así como protección contra daños provocados por la formación de hielo.
NEMA 6P	Protección interior o exterior contra proyección de agua y entrada de agua a causa de la inmersión prolongada a una profundidad determinada; así como protección contra daños provocados por la formación de hielo.
NEMA 12	Protección interior contra caída de suciedad, acumulación del polvo del aire ambiental, así como contra el goteo de líquidos no corrosivos.

Continuación tabla XXXII.

NEMA 13	Protección interior contra polvo, caída de suciedad, salpicaduras de agua y aceite, así como medios refrigerantes no corrosivos.
---------	--

Fuente:[https://www.rittal.com/eses/content/es/support/technischeswissen/qminformiert/schutzart/en/nema/nema\\_1.jsp](https://www.rittal.com/eses/content/es/support/technischeswissen/qminformiert/schutzart/en/nema/nema_1.jsp).

En cuanto a la norma IP, que se toma como referente de seguridad eléctrica, se diferencia un poco con la NEMA porque describe el grado de protección en tamaño, en lugar de mencionar el polvo como tal, indica el tamaño de la partícula máxima que puede ingresar, tal y como se describe a continuación:

- Niveles de protección contra ingreso de elementos naturales como el polvo y agua IP EN 60529 que dañan los materiales<sup>87</sup>.
  - El primer dígito, se refiere a los elementos sólidos
    - 0: sin protección contra la entrada de objetos sólidos.
    - 1: una esfera sólida de 50 mm no entra por completo.
    - 2: una esfera sólida < 12,5 mm no entra por completo.
    - 3: una esfera sólida < 2,5 mm no entra por completo.
    - 4: Una esfera sólida < 1,00 mm no entra por completo.

---

<sup>87</sup> FQ INGENIERÍA ELECTRÓNICA. *Niveles de protección contra ingreso de polvo y agua*. <https://www.fqingenieria.com/es/conocimiento/niveles-de-proteccion-contra-ingreso-de-polvo-y-agua-ip-din-en-60529-26>. Consulta 30 de octubre 2020.

- 5: La entrada de cualquier partícula de polvo no puede evitarse, pero la cantidad que entra no interfiere para el correcto funcionamiento.
  - 6: No entra ninguna partícula de polvo.
- Segundo dígito, se refiere a elementos líquidos
  - 0: sin protección contra la entrada de agua, en lugar trabajo habitual.
  - 1: no debe de entrar agua en goteo en caída de 200 mm de altura durante 10 minutos, en lugar trabajo habitual.
  - 2: no debe de entrar agua en goteo durante 10 minutos (3-5 mm cúbicos por minuto). Realizando la prueba 4 veces realizando un giro de 15° cada vez en vertical y horizontal, en lugar de trabajo habitual.
  - 3: no debe entrar agua nebulizada en un ángulo hasta 60° a derecha e izquierda de la vertical sobre los 10 litros por minuto y una presión 80-100kN/m<sup>2</sup> en un tiempo no menor a 5 minutos, en lugar de trabajo habitual.
  - 4: no debe entrar agua (en chorros) arrojada desde cualquier ángulo (10 litros por minuto) y una presión de 80-100kN/m<sup>2</sup> en un tiempo no menor a los 5 minutos, en lugar de trabajo habitual.
  - 5: no debe de entrar agua (en chorro) desde cualquier ángulo por medio de una salida de 6,3 mm, con promedio de 12,5 litros por minuto y a una presión de 30kN/m<sup>2</sup> durante un tiempo no inferior a 3 minutos y

distancia no menos a 3 metros, en lugar de trabajo habitual.

- 6: no debe de entrar agua (en chorro) desde cualquier ángulo por medio de una salida de 12,5 mm, con promedio de 100 litros por minuto y a una presión de 100kN/m<sup>2</sup> durante un tiempo no inferior a 3 minutos y distancia no menos a 3 metros, en lugar de trabajo habitual.
- 7: no debe de entrar agua en una inmersión completa a 1 metro y durante 30 minutos.
- 8: no debe de entrar agua en una inmersión completa a profundidad y tiempo especificado por el fabricante o requisitos del cliente, en cualquier caso, valores más severos que el anterior.

También se pueden adicionar letras, para cables es la letra D. En tabla 33, se describen las letras más comunes, que además se pueden sumar a la norma IP para protección contra elementos (polvo y agua).

Tabla XXXII. **Símbolos alfabéticos de protección de elementos**

Letra	Significado
D	Cable
F	Contra aceite
H	Dispositivo de alto voltaje
M	Dispositivo en movimiento durante la prueba
S	Dispositivo inmóvil durante la prueba
W	Condiciones climatológicas

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

## **6.2. Análisis de caso real, comparación de presupuesto con cables THWN-2/THHN de Cu, XHHW-2 S8000, Cable armado tipo MC con conductores XHHW-2 S8000 y ducto barra de aluminio para 1000 amperios**

Con base en un diseño real de un edificio de apartamentos que está siendo construido en la Ciudad de Guatemala, que posee las siguientes características relevantes para el análisis realizado:

- Edificio de apartamentos de 22 niveles.
- En total posee 137 apartamentos distribuidos en la torre que está dividida en norte y sur, esta división hay que tomarla en cuenta debido a que el ducto barra se diseñó en dos partes, una para la parte norte y la otra para la parte sur.
- La carga promedio por cada apartamento es de 5,4 kW.
- $\% \Delta$  máxima caída de tensión a permitir: 3 % o 6.24 voltios.
- La alimentación de los paneles de contador es trifásica 208 V.
- La alimentación de cada usuario (apartamento) es monofásico 208/110 V.
- El total de la carga es 1183.57 kW, incluyendo la demanda de servicios generales.

La subestación necesaria se calcula según el siguiente criterio: Se tiene una carga instalada de 1183.57 KW, aplicando factor de carga del 65 %, factor de

diversidad del 70 % y de seguridad del 120 %, se obtiene un estimado de carga demandada de 646,23 KVA, por lo que el transformador seco a utilizar es 750KVA, trifásico 13.2kV - 120/208V, 60Hz, según normas de EEGSA.

### **6.2.1. Consideraciones por tomar en cuenta para el presupuesto de cables y ducto barra**

El precio de los metales es dinámico, cambia día a día, por lo que se debe tener claro la fecha en que se hace un presupuesto, ya que la base o costo del metal determinará en gran medida el presupuesto.

- El costo de los conductores: se calculan en base al precio promedio mensual para el mes de agosto de 2020 para el cobre y el aluminio, según la bolsa de valores de Londres (LME). Se utilizarán tres conductores para los análisis:
  - Cable de cobre con aislamiento tipo THWN-2/THHN.
  - Cable de aluminio aleación AA8000 con aislamiento tipo XHHW-2.
  - Cable armado tipo MC (armadura de Aluminio engargolada) con cuatro conductores de Aluminio aleación AA8000 con aislamiento tipo XHHW-2 y un conductor para tierra (calibre reducido) sin aislamiento.
  - Las fichas técnicas de todos los conductores se encuentran en el ANEXO 1.

- Para el ducto barra se considerará costo real de un sistema I-LINE Ducto barra Aluminum/Tin para 600V 3Ph 4W 60Hz with Neutral and Ground Bus con una capacidad máxima de 1,000 amperios, a utilizar en edificio de 22 niveles, el cual fue cotizado en el mes de agosto 2020.
- Todos los precios son dados por los fabricantes SCHNEIDER, STABILOY, CONDUMEX, y VIAKON.
- El comparativo se llevará a cabo con la sumatoria de los costos de alimentar cada uno de los tableros mostrados en el diagrama unifilar de la figura 30.

El análisis de costo únicamente incluye conductores eléctricos, por lo que el costo de paneles múltiples de contadores, tableros: principal y secundarios, así como accesorios para la fijación de los conductores, no están incluidos.

### **6.2.2. Características del diseño eléctrico**

En la ilustración No. 30 (diagrama E-01), se muestra el diagrama unifilar del proyecto analizado. Encerrado en un círculo se indica los circuitos con los cuales se hizo el cálculo del costo de las distintas formas que se puede conectar o cablear el tablero de distribución principal a la subestación y a los paneles multiplex de contadores, y estos a los distintos tableros situados en cada apartamento que componen el edificio. Para efectos comparativos se utilizarán dos diseños de distribución de energía:

- Diseño uno:

- Tablero de distribución principal que se denomina TDP, el cual estará ubicado en el sótano No 1 del edificio.
- Ocho paneles múltiples de contadores distribuidos en los niveles tres, ocho, diez, catorce, diecisiete, diecinueve, y veintidós, los cuales se denominan PMC1-TN-N3 (paneles múltiples de contadores # 1-torre norte-nivel 3).
- La conexión del TDP a los PMC se analizará con dos opciones:
  - Opción1: cable armado de aluminio tipo MC con conductores de Aluminio serie 8000 con aislamiento tipo XHHW-2.
  - Opción 2: por medio de dos Ducto barra de 1000 amperios cada uno, según diseño en figura 33.
- Diseño dos:
  - Tablero de distribución principal que se denomina TDP, el cual estará ubicado en el sótano No 1 del edificio.
  - Ocho paneles multiplex de contadores (PMC) situados en el cuarto eléctrico que se encuentra en el sótano 1 a 10 metros del TDP.
  - Se alimentan desde los PMC's situados en el sótano 1 a cada uno de los 137 tableros de los apartamentos. Se hará el análisis con dos tipos de conductores.

- Opción 3: uno con cables tipo con cables XHHW-2 de aluminio AA8000.
- Opción 4: y un segundo con cables THWN-2/THHN de cobre.6

Ambos diseños se muestran en diagrama unifilar como figuras 31 y 32.

El cálculo se realizó de la siguiente manera:

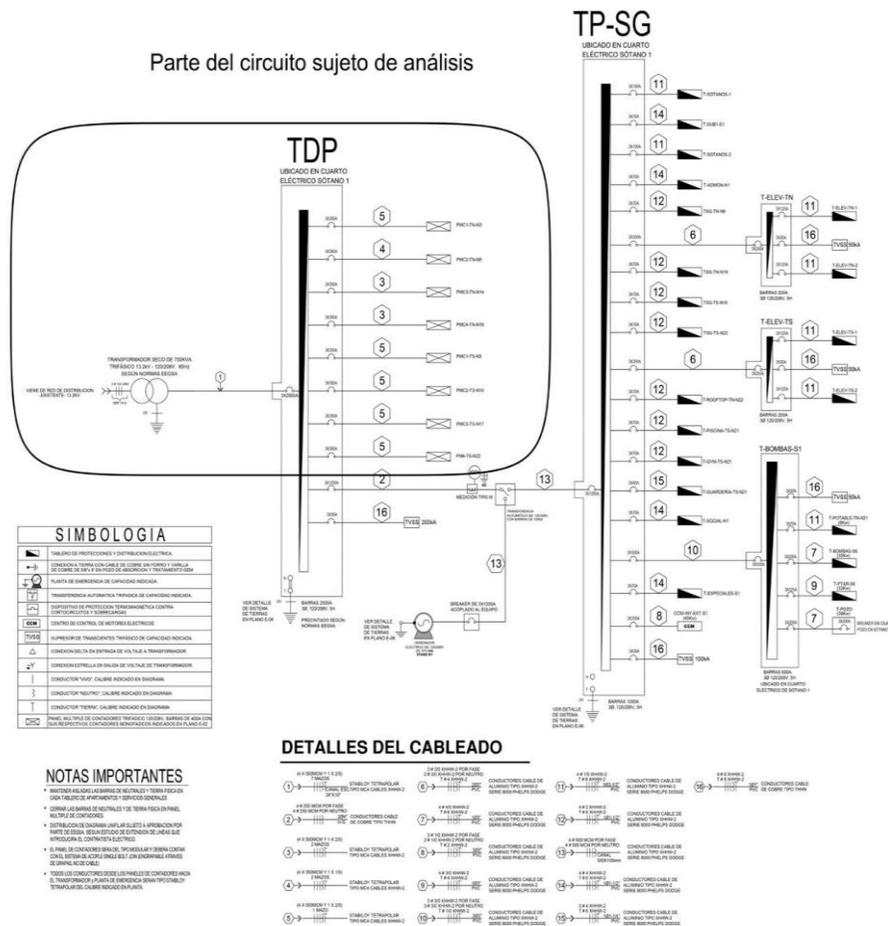
- Se sumó la carga estimada para cada apartamento, 137 en total, dividido en ocho paneles multiplex de contadores, cuatro asignados a la torre norte y cuatro a la torre sur.
- Cada PMC, que están distribuidos en el diseño uno en el edificio, se alimenta de dos formas, la opción 1 con cables armados y la opción 2 con ducto barra. Se calculó en base a distancia, carga por PMC y tipo de sistema (trifásico 208 V) el requerimiento de calibre del cable, y en el caso del ducto barra el requerimiento total de energía. Para las opciones 3 y 4, se asumen los PMC's en el sótano 1 de la torre.
- Posteriormente se calcula el calibre necesario de cable para alimentar desde el PMC al tablero de cada apartamento, teniendo en cuenta, la carga estimada para cada uno, distancia, tipo de sistema (monofásico 208/110 V), con una caída máxima de voltaje del 3 %.
- Teniendo calibres y distancias y cantidad de conductores según el sistema (mono o trifásico), se calcula el costo de alambrar cada circuito. En el ejercicio se tiene en cuenta la capacidad de conducción de cada conductor

según el metal con el cual está fabricado, para evitar errores en el cálculo de la caída de tensión.

- Se sumó el total del costo de cada circuito, teniéndose el total de cada opción para su comparativo final.

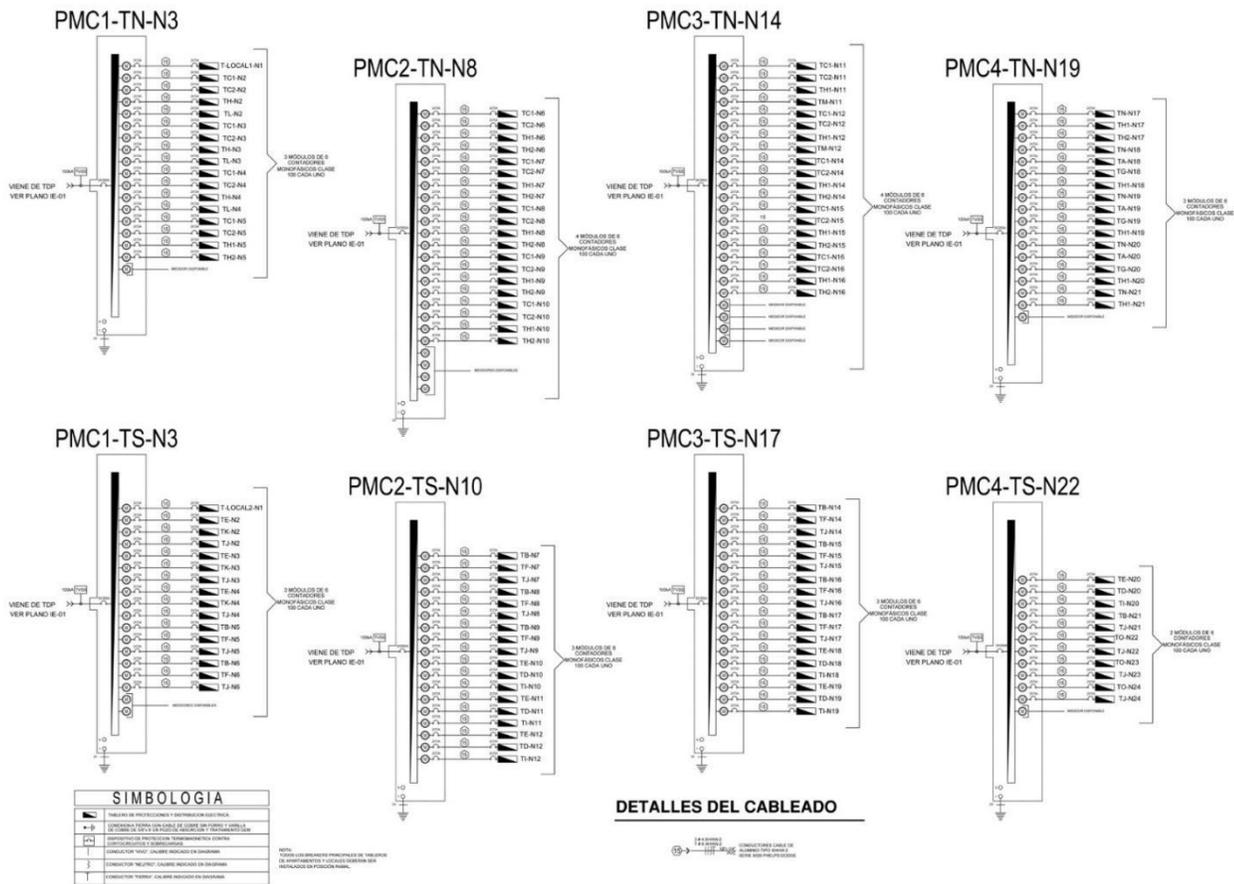
La memoria de cálculo de los cuatro escenarios se encuentra en anexo 2.

Figura 30. Diagrama unifilar E-01, del proyecto completo, en círculo parte del mismo que ha sido sujeto de análisis en este trabajo



Fuente: elaboración propia, empleando Autocad, 2020.

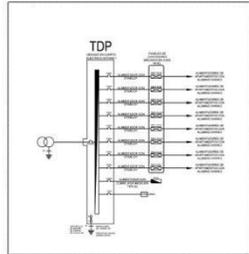
Figura 31. Diagrama unifilar E-02 de los ocho PMC's sujeto a análisis



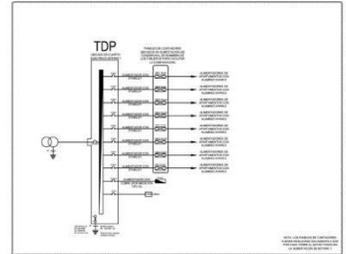
Fuente: elaboración propia, empleando Autocad, 2020.

**Figura 32. Diagrama unifilar E-03, de las cuatro opciones analizadas**

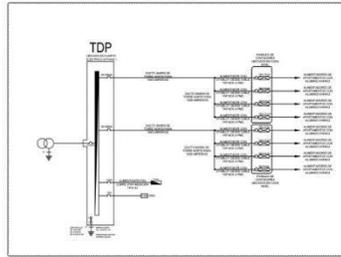
**OPCIÓN 1:**  
 PANELES DE CONTADORES EN CADA NIVEL  
 ALIMENTADOS CON STABILOY Y LUEGO  
 TABLEROS DE APARTAMENTOS CON CABLE  
 DE ALUMINIO TIPO XHHW-2 (COMO MUESTRA  
 EL DIAGRAMA UNIFILAR DEL PROYECTO)



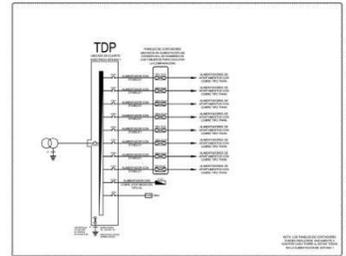
**OPCIÓN 3:**  
 PANELES DE CONTADORES EN SUBESTACIÓN  
 DE SÓTANO 1 ALIMENTADOS CON STABILOY Y  
 LUEGO TABLEROS DE APARTAMENTOS CON  
 CABLE DE ALUMINIO TIPO XHHW-2.



**OPCIÓN 2:**  
 PANELES DE CONTADORES EN CADA NIVEL  
 ALIMENTADOS CON DUCTO BARRA Y LUEGO  
 TABLEROS DE APARTAMENTOS CON CABLE  
 DE ALUMINIO TIPO XHHW-2.

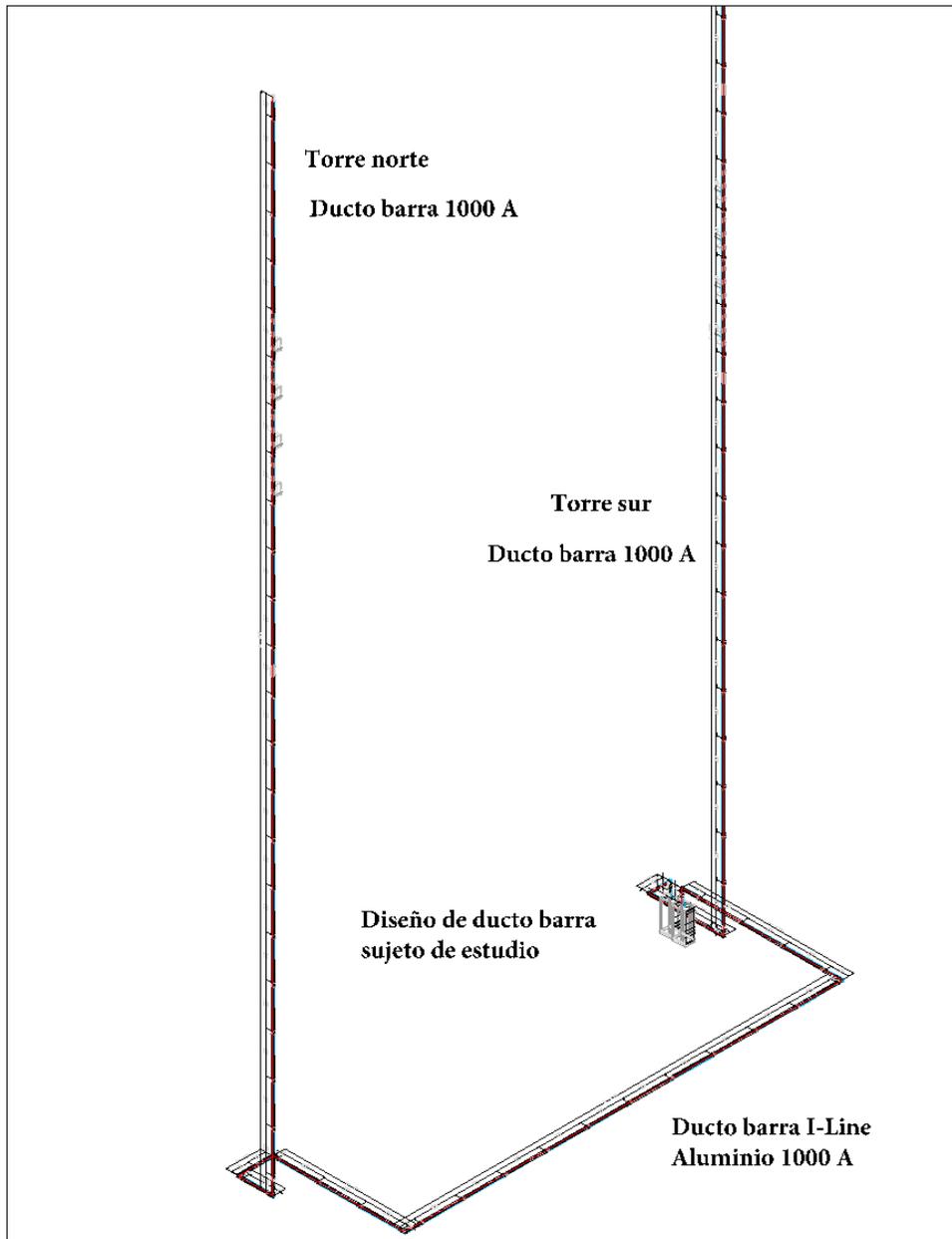


**OPCIÓN 4:**  
 PANELES DE CONTADORES EN SUBESTACIÓN  
 DE SÓTANO 1 ALIMENTADOS CON STABILOY Y  
 LUEGO TABLEROS DE APARTAMENTOS CON  
 CABLE DE COBRE TIPO THHN.



Fuente: elaboración propia empleando Autocad, 2020.

Figura 33. **Diseño del ducto barra a utilizar en la instalación sujeta a análisis**



Fuente: elaboración propia empleando Legrand, 2020.

### 6.2.3. Resultados de los cálculos realizado

Los resultados son la sumatoria de los costos de los conductores que se proyectan utilizar, para ello se tiene las cuatro opciones descritas anteriormente, las cuales dan como resultado lo siguiente.

Tabla XXXIII. Descripción de las cuatro opciones analizadas

Opción	Tipo de instalación
1	ESCENARIO CABLE MC S8000-XHHW-2 S8000 PMC'S EN TORRES
2	ESCENARIO DUCTO BARRA-XHHW-2 S8000 PMC'S EN TORRES
3	ESCENARIO CABLE MC S8000-XHHW-2 S8000 CON PMC'S EN SOTANO
4	ESCENARIO CABLE MC S8000-THHN CU CON PMC'S EN SOTANO

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

A continuación el resultado del análisis económico de cada una de las opciones:

Tabla XXXIV. **Análisis financiero**

Opción	Tipo de instalación	Monto total	Diferencia con la opción más económica
1	CABLE TIPO MC Al + XHHW-2 AA8000 PMC'S DISTRIBUIDO EN LA TORRE	Q 335,043.30	3.3%
2	DUCTO BARRA AL + XHHW-2 AA8000 PMC'S DISTRIBUIDO EN LA TORRE	Q 604,556.05	86.5%
3	CABLE TIPO MC Al + XHHW-2 AA8000 PMC'S SOTANO UNO	Q 324,316.93	0.0%
4	CABLE TIPO MC AL + THHN CU PMC'S SOTANO UNO	Q 878,649.98	170.9%

Fuente: elaboración propia, empleando Excel, 2020.

En la tabla 35, se aprecia que la opción 3 es la más económica, seguido por la opción 1, el cual está ligeramente arriba en tan solo el 3,3 %, lo cual, traducido en quetzales, la diferencia es de Q 10 726.37. En cambio, el uso de ducto barra aumenta considerablemente el costo en un poco más del 86 %, presentándose su costo en la opción 2.

El uso de cables de cobre representa el costo más alto, tal y como se muestra en el resultado de la opción 4, casi triplicando el costo usando conductores de aluminio, lo cual demuestra la oportunidad que dan los conductores fabricados con aleaciones de aluminio. Además, el poder utilizar cables armados le da una gran oportunidad al diseñador de realizar diseños confiables, seguros y económicos, realzando el que dan la oportunidad de distribuir los PMC's en distintos lugares ya que se cumple con lo establecido por la EEGSA, la cual exige que los conductores que llegan a los PMC's desde la

subestación o de un TPD, sean protegidos por una armadura o tubo para evitar la extracción de energía en su trayecto.



## CONCLUSIONES

1. El aluminio y el cobre tienen la misma función como conductores de energía eléctrica, sin embargo, se trata de dos metales distintos, por lo que es necesario conocer a detalle las características de cada uno, para realizar una instalación eléctrica confiable, segura, y eficiente, apegada al Código Eléctrico Nacional de los Estados Unidos de América, el cual se utiliza como referencia para las instalaciones eléctricas en Guatemala.
2. Se describió detalladamente las diferencias mecánicas y eléctricas de los conductores de aluminio con el cobre, así como las características que alcanza el Aluminio aleado con otros materiales, con el fin de seleccionar el tipo de aleación a utilizar para un uso en específico.
3. Para que una instalación eléctrica con conductores de aluminio sea segura y fiable, es parte indispensable conocer la forma que reacciona con la presencia de energía eléctrica, así como con otros metales y su relación con el medio ambiente, además de las características que deben tener todo el material que sirve para la conectividad.
4. El costo del aluminio es un 170 % más económico que cobre, en el presente trabajo se describe el impacto económico que se tiene al diseñar y ejecutar una instalación eléctrica al utilizar dicho material.

5. Un factor relevante que se debe tomar en cuenta con relación al medio ambiente, es la reacción que presenta el aluminio ante la presencia de oxígeno y la corrosión galvánica que sufre al estar en contacto con el cobre.

## RECOMENDACIONES

1. Realizar una equivalencia segura y confiable de conductor de cobre a aluminio, es altamente recomendable el conocer las propiedades mecánicas y eléctricas del conductor de aluminio.
2. Tomar en consideración que el diseño eléctrico está determinado por la carga, así como comprender que las protecciones (*breakers* y PMC) no tienen conciencia del metal que protegen o aíslan.
3. Tomar en cuenta las propiedades físicas y eléctricas del metal a utilizar en el momento de calcular el calibre necesario, lo cual determinará la ductería, y el tipo de metal para los bornes y conexiones.
4. Considerar que el Aluminio S8000 presenta un *creep* muy similar al del cobre, sin embargo, siempre hay que tener presente que el torque a aplicar a las terminales debe ser el que le corresponde a un conductor de aluminio.
5. Considerar las propiedades eléctricas y mecánicas que presentan los distintos tipos de aislamiento que existen en el mercado sin considerar el tipo de metal que aísla, ya que funciona de igual manera con el cobre y aluminio.
6. Considerar que, al momento de la toma de decisión en utilizar conductor de cobre o aluminio para una instalación, adicional al costo, no se debe

perder de vista las variables de seguridad, confiabilidad del sistema, espacios disponibles, y el tipo de carga a alimentar.

7. Considerar las recomendaciones para la conectividad de un sistema con otro, al momento de planificar un diseño específico de instalación eléctrica, ya que el uso de los tres sistemas (conductor monopolar de cobre o aluminio, armado y ducto barra) es factible, acometida y distribución por medio de ducto barra, alimentación de centro de cargas secundarios con Aluminio S8000 y cobre para alimentar los circuitos de iluminación y toma corrientes.

## BIBLIOGRAFÍA

1. 3M. 2015. 3M. [En línea] 2015. [Citado el: 15 de octubre de 2020.] <https://multimedia.3m.com/mws/media/691681O/3m-scotchlok-copper-aluminum-compression-lugs.pdf>.
2. 3M. 2014. 3M. [En línea] 2014. [Citado el: 28 de octubre de 2020.] <https://multimedia.3m.com/mws/media/992350O/ductos-debarra.pdf?fn=Ducto%2520de%2520Barra.pdf>.
3. ALU-STOCK. s.f.. alu-stock.es. [En línea] s.f. [Citado el: 15 de junio de 2020.] <<https://www.alu-stock.es/es/informacion-tecnica/el-aluminio/>>
4. ANSI. s.f.. American National Standards Institute. [En línea] s.f. [Citado el: 30 de septiembre de 2020.] <[https://www.standardsportal.org/usa\\_en/sdo/nema.aspx](https://www.standardsportal.org/usa_en/sdo/nema.aspx)>
5. ASOCIACIÓN NACIONAL DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS. 1987. archive.org. [En línea] 1987. [Citado el: 22 de junio de 2020.] <<https://archive.org/details/nationalelectric00quin/page/n1/mode/2up>>
6. AUTOCASIÓN. 2016. Autocasión. [En línea] 2016. [Citado el: 25 de junio de 2020.] <<https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/la-corrosion-del-aluminio>>.
7. BEFEBE. 2020. Befebe. [En línea] 2020. [Citado el: 25 de junio de 2020.] <<https://cablesfb.com/product/cable-preensamblado-de-aluminio-aislado-tipo-xlpe/>>

8. BHADRA, Arindam. 2015. bhadrafiresafety.blogspot.com. [En línea] 2015. [Citado el: 22 de octubre de 2020.] <<https://bhadrafiresafety.blogspot.com/2015/10/difference-between-xlpe-and-pvc-cables.html>>
9. COMISIÓN CHILENA DE COBRE. s.f.. Comisión Chilena del Cobre. Ministerio de Minería. [En línea] s.f. [Citado el: 16 de octubre de 2020.] <<https://www.cochilco.cl/Paginas/Estadisticas/Bases%20de%20Datos/Precio-de-los-Metales.aspx>>
10. COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA. 2004. cnee.gob.gt. [En línea] 2004. [Citado el: 14 de septiembre de 2020.] <<https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/NORMA%20EEGSA.pdf>>
11. —. 1999. cnee.gob.gt. [En línea] 27 de octubre de 1999. [Citado el: 14 de septiembre de 2020.] <<https://www.cnee.gob.gt/wp/normas-tecnicas/>>
12. CONAL. s.f.. Promelsa. [En línea] s.f. [Citado el: 23 de junio de 2020.] <<http://www.promelsa.com.pe/pdf/02104271.pdf>>.
13. CSANYI, Edvard. 2016. Electrical Engineering Portal. [En línea] 2016. [Citado el: 30 de octubre de 2020.] <<https://electrical-engineering-portal.com/why-i-prefer-more-busbar-trunking-systems-and-not-cables>>.
14. DAVIS, Joseph. 1993. Aluminun and Aluminun Alloys (Asm Specialty Handbook). Estados Unidos : ASM International, 1993. pág. 784.
15. DUCTOBARRA. s.f.. Ducto barra. [En línea] s.f. [Citado el: 22 de septiembre de 2020.] <<http://www.ductobarra.com/ductobarra.htm>>

16. ECURED. s.f.. EcuRed. [En línea] s.f. [Citado el: 30 de junio de 2020.] <[https://www.ecured.cu/Cable\\_el%C3%A9ctrico.](https://www.ecured.cu/Cable_el%C3%A9ctrico.)>
17. Eddy Current Testing. TECHNICAL SPOTLIGHT. 2013. Pasco, Estados Unidos : s.n., 2013, Advanced Materials & Processes, págs. 25-28.
18. ELECTRICAPLICADA. s.f.. Electricaplicada. [En línea] s.f. [Citado el: 15 de junio de 2020.] <[https://www.electricaplicada.com/ventajas-y-desventajas-del-cobre-vs-aluminio-cableado-electrico/.](https://www.electricaplicada.com/ventajas-y-desventajas-del-cobre-vs-aluminio-cableado-electrico/)>
19. EXTRUAL. s.f.. Extrual. [En línea] s.f. [Citado el: 15 de junio de 2020.] <<http://www.extrual.com/es/noticias/articulos-tecnicos/la-historia-del-aluminio.>>
20. FQ INGENIERÍA ELECTRÓNICA. 2014. FQ Ingeniería Electrónica. [En línea] 2014. [Citado el: 30 de octubre de 2020.] <<https://www.fqingenieria.com/es/conocimiento/niveles-de-proteccion-contr-ingreso-de-polvo-y-agua-ip-din-en-60529-26.>>
21. GABRIAN. s.f.. Gabrian.com. [En línea] s.f. [Citado el: 23 de junio de 2020.] <[https://www.gabrian.com/es/disipadores-de-cobre-o-aluminio-lo-que-debe-saber/.](https://www.gabrian.com/es/disipadores-de-cobre-o-aluminio-lo-que-debe-saber/)>
22. GREENSPEC. 2020. greenspec. [En línea] 2020. [Citado el: 28 de octubre de 2020.] <[https://www.greenspec.co.uk/building-design/aluminium-production-environmental-impact/.](https://www.greenspec.co.uk/building-design/aluminium-production-environmental-impact/)>
23. GROMICKO, Nick, CMI y SHEPARD, Kenton. 2020. International Association of Certified Home Inspectors. [En línea] 2020. [Citado el: 16 de junio de 2020.] <<https://www.nachi.org/aluminum-wiring-spanish.htm.>>
24. HUENUPAN, Francisco. s.f.. sites.google.com. [En línea] s.f. [Citado el: 30 de junio de 2020.]

<<https://sites.google.com/site/ventanaalaelectricidad/conductividad-y-resistividad.>>

25. INSTITUTO NACIONAL AMERICANO DE NORMAS. 2008. Scribd. [En línea] 2008. [Citado el: 26 de octubre de 2020.] <[https://es.scribd.com/document/347300195/NEC-NFPA-70-2008-Spanish-pdf.](https://es.scribd.com/document/347300195/NEC-NFPA-70-2008-Spanish-pdf)>
26. INSULATED CABLE ENGINEERS ASSOCIATION. 2013. Techstreet Store. [En línea] 2013. [Citado el: 23 de septiembre de 2020.] <[https://www.techstreet.com/standards/icea-p-32-382-2007-r2018?product\\_id=2007314.](https://www.techstreet.com/standards/icea-p-32-382-2007-r2018?product_id=2007314)>
27. INTERPLEX. 2018. Interplex. [En línea] 2018. [Citado el: 28 de octubre de 2020.] <[https://interplex.com/busbar-guide/.](https://interplex.com/busbar-guide/)>
28. JURDIT, Nicolas. 2020. Electrical Installation Wiki. [En línea] 2020. [Citado el: 28 de octubre de 2020.] <[https://www.electrical-installation.org/enwiki/Main\\_Page.](https://www.electrical-installation.org/enwiki/Main_Page)>
29. KLAUKE. s.f.. Klauke. [En línea] s.f. [Citado el: 15 de octubre de 2020.] <[https://www.klauke.com/at/en/correctly-connecting-al-and-cu.](https://www.klauke.com/at/en/correctly-connecting-al-and-cu)>
30. MÁSVOLTAJE. 2016. Másvoltaje. [En línea] 2016. [Citado el: 20 de septiembre de 2020.] <[https://masvoltaje.com/blog/tipos-de-cables-electricos-que-existen-n12.](https://masvoltaje.com/blog/tipos-de-cables-electricos-que-existen-n12)>
31. NATIONAL ELECTRIC CODE. 2011. Conduit.site. [En línea] 2011. [Citado el: 22 de junio de 2020.] <[https://conduit.site/tables/table-310.15-b-16.php.](https://conduit.site/tables/table-310.15-b-16.php)>
32. —. 2017. National Electrical Code. 2017.
33. NECA/NACMA. 2006. Staliboy.com. [En línea] 2006. [Citado el: 20 de octubre de 2020.]

- <<http://www.stabiloy.com/NR/rdonlyres/74796C5B-5CE6-4461-A06F-5544E0A57899/0/2421NormasdeInstalaciondeMCporNECA.pdf>>
34. OLIVER, Javier. 2005. upcommons.upc.edu. [En línea] 2005. [Citado el: 24 de junio de 2020.] <<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/2833/41774-8.pdf?sequence=8&isAllowed=y>>
  35. PASTRANA, Rubén y ARGÜELLO, Wilson. 2019. Course Hero. [En línea] 2019. [Citado el: 11 de agosto de 2020.] <<https://www.coursehero.com/file/60560904/CORROSION-EN-METALESpdf/>>
  36. PLAREMESA.NET. s.f.. [En línea] s.f. [Citado el: 10 de septiembre de 2020.] <<https://www.plaremesa.net/termoplasticos/>>
  37. RAABE, Dierk. s.f.. Dierk-raabe.com. [En línea] s.f. [Citado el: 23 de septiembre de 2020.] <<http://www.dierk-raabe.com/aluminium-alloys/>>
  38. REVISTA ENERGY MANAGEMENT. 2017. Energy Management Magazine. [En línea] 2017. [Citado el: 30 de junio de 2020.] <<https://e-management.mx/cobre-vs-aluminio-en-equipos-electricos-mitos-y-realidades/>>
  39. RIBERA, Marta y RIBERA, Alicia. s.f.. sites.google.com. [En línea] s.f. [Citado el: 16 de septiembre de 2020.] <<https://sites.google.com/site/pruevasriberadeltajo/propiedades>>
  40. RTE de México. 2014. RTE. [En línea] 2014. [Citado el: 11 de septiembre de 2020.] <<https://rte.mx/materiales-aislantes-para-conductores-electricos>>

41. SANJUÁN, Carlos. 2016. Patología+Rehabilitación+Construcción. [En línea] 2016. [Citado el: 16 de octubre de 2020.] <<https://www.patologiasconstruccion.net/2016/03/incompatibilidad-materiales-construccion-1/>>
42. SCHNEIDER ELECTRIC. 2018. Busway Systems. Catalog 5600CT9101R03/18. s.l., USA : Schneider Electric, 2018. pág. 152.
43. —. 2019. Electrical Installation Wiki. [En línea] 2019. [Citado el: 26 de octubre de 2020.] <[https://www.electrical-installation.org/enwiki/Verification\\_of\\_the\\_withstand\\_capabilities\\_of\\_cables\\_under\\_short-circuit\\_conditions](https://www.electrical-installation.org/enwiki/Verification_of_the_withstand_capabilities_of_cables_under_short-circuit_conditions)>
44. SIGNI. 2017. Signi. [En línea] 2017. [Citado el: 28 de septiembre de 2020.] <<http://signaluminio.com/perfil-aluminio/barras-en-aluminio/6101-Barra-plana-de-aluminio-6101.html>>
45. SOUTHWIRE. 2011. Grouper.ieee.org. [En línea] 2011. [Citado el: 28 de septiembre de 2020.] <<https://grouper.ieee.org/groups/railtransit/ocs/Archives/OCSarchive2011/AluminumPresentationIEEE%5bCompatibilityMode%5d.pdf>>
46. THE ALUMINUM ASSOCIATION. 1989. Bus Conductors. Aluminum Electrical Conductor Handbook. Washington, D.C. : s.n., 1989, págs. 2-70.
47. TOTAL MATERIA. s.f.. Total Materia. [En línea] s.f. [Citado el: 2 de julio de 2020.] <<https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=GradosdeAluminio&LN=ES>>
48. UL. 2018. UL Standard. [En línea] 2018. [Citado el: 24 de septiembre de 2020.]

<<https://standardscatalog.ul.com/ProductDetail.aspx?productId=UL486a-486b>>



# ANEXOS

## Anexo 1. Catálogo de productos



General Cable, compañía líder en desarrollo, diseño, fabricación y distribución de cables. Con más de 165 años de experiencia, 14,000 empleados, 57 plantas y 9 centros de investigación así como el respaldo y tradición de nuestras marcas globales combinamos fuerza para ofrecer la más extensa gama de productos y servicios del mercado.

STABILOY® Brand, marca líder en la fabricación de conductores de aleación de aluminio para baja tensión, cuenta con 35 años de presencia en Estados Unidos y más de 15 años en México.

### Cable Tipo MC

Son cables ensamblados de fábrica, con conductores de aleación de aluminio AA-8030 con aislamiento de polietileno de cadena cruzada XHHW-2 para 600V; los cuales se trenzan junto con un cable desnudo de puesta a tierra, se agrupan con una cinta mylar corrugada formando un subconjunto al cual se le aplica una armadura engargolada de aluminio Serie 5000.

### Características

- Temperatura máxima de operación hasta 90° C
- Sobrecarga temporal hasta 130°C
- Resistencia contra el corto circuito hasta 250°C
- Protección contra la humedad
- Resistente a la corrosión
- Baja emisión de humos (LS)
- Libre de metales pesados



### Ventajas



#### Desempeño

Se obtiene Mayor Seguridad, no hay riesgo de dañar el aislamiento en el proceso de jalado.  
Aprobados como antipropagantes de incendio (UL433 y 434)



#### Calidad

Están diseñados y aprobados para su aplicación (UL1569 y NOM-063-SCFI-2001 cables armados).  
Cumplen con los requisitos de seguridad que imponen las normas: NOM-001-SEDE-2012 (art. 330) y NEC 2011 (art. 330 y otras secciones).  
Cumplen con el procedimiento FT4/IEEE 1202 para pruebas de flama directa colocados en charola vertical



#### Menor Costo

Su instalación, comparada contra un sistema tradicional en tubería conduit con conductores de cobre, provee ahorros significativos en materiales (soportería y accesorios), tiempo de instalación y mano de obra.



#### Facilidad de Instalación

Son Flexibles, lo que permite una instalación sencilla (siguen cualquier trayectoria, sin aplicar la regla de 360°).  
Pesan hasta 70% menos que la combinación de una tubería conduit más los conductores de cobre.  
No se requiere proceso de jalado de conductores.  
Eliminan el uso de accesorios como codos, condulets y registros.



Continuación del anexo 1.

Cable Tipo MC



Características de Fabricación y Suministro

Tripolar y Tierra MC 3							Tetrapolar y Tierra MC 4								
Tres Aislados Tamaño		Desnudo Tamaño		Diámetro Nominal	Masa Nominal	Longitud	Cuatro Aislados Tamaño		Desnudo Tamaño		Diámetro Nominal	Masa Nominal	Longitud		
AWG/ kCM	mm <sup>2</sup>	AWG/ kCM	mm <sup>2</sup>	mm	(kg/km)	m	Carrete pulg x pulg x pulg	AWG/ kCM	mm <sup>2</sup>	AWG/ kCM	mm <sup>2</sup>	mm	(kg/km)	m	Carrete pulg x pulg x pulg
6	13.3	6	13.3	21.1	378	1500	60x28x30	6	13.3	6	13.3	23.4	452	1500	66x32x30
4	21.2	6	13.3	23.6	485	1500	66x32x30	4	21.2	6	13.3	26.4	592	1500	66x32x30
2	33.6	6	13.3	26.2	628	1500	66x32x30	2	33.6	6	13.3	29.7	783	1500	68x40x36
1/0	53.5	4	21.2	31.2	907	1500	72x38x30	1/0	53.5	4	21.2	35.6	1138	1500	78x38x30
2/0	67.4	4	21.2	32.5	1035	1000	66x34x30	2/0	67.4	4	21.2	37.3	1315	1000	72x38x30
3/0	85.0	4	21.2	34.5	1126	1000	68x40x40	3/0	85.0	4	21.2	40.1	1653	800	68x42x36
4/0	107	2	33.6	38.4	1577	1000	78x38x30	4/0	107	2	33.6	43.9	2000	800	78x38x30
250	127	2	33.6	41.4	1823	600	66x34x30	250	127	1	42.4	48.0	2347	600	78x38x30
300	152	2	33.6	43.7	2084	600	68x42x36	300	152	1	42.4	51.1	2698	600	78x38x30
350	177	2	33.6	45.7	2338	600	78x38x30	350	177	1/0	53.5	54.1	3072	600	78x38x30
400	203	1	42.4	48.5	2622	700	78x38x30	400	203	1/0	53.5	56.6	3408	350	68x42x36
500	253	1	42.4	51.8	3124	600	78x38x30	500	253	2/0	67.4	61.7	4117	350	78x42x44
600	304	1	42.4	56.9	3720	300	68x42x36	600	304	2/0	67.4	68.1	4910	350	78x42x44
750	380	1/0	53.5	62.0	4488	300	78x38x30	750	380	3/0	85.0	74.4	5940	200	78x42x44

Se ha incrementado el tamaño de conductor de puesta a tierra en ciertas configuraciones tetrapolares nominales del cable MC, para ser utilizado en cables en paralelo como lo indica la Tabla 250-32 de la NEMA-001-SEDE-2012 y Tabla 250-122 de NEMA-001-SEDE-2012, además de verificar el tamaño del conductor de puesta a tierra en su aplicación. Los datos son valores aproximados y las longitudes de suministro están sujetas a las tolerancias de fabricación. Se suministra con el inventario del Centro de Distribución de la Ciudad o México de acuerdo a las necesidades del cliente. A solicitud, se pueden suministrar otros tamaños y configuraciones, sujeto a confirmación. Para conocer la normatividad, usos, limitaciones y aplicaciones, consulte [www.stabiloy.mx](http://www.stabiloy.mx).

Tabla Comparativa de Ampacidad

Cables de Aleación de Aluminio (AA-8030) XHHW-2 LS vs. Cu THW LS

Calibre Cobre	Calibre STABILOY® Brand	Amperes Cobre			Amperes STABILOY® Brand			Diámetro ext. Cobre	Diámetro ext. STABILOY® Brand	Kg / 100m Cobre	Kg / 100m STABILOY® Brand
THW THW-LS	XHHW-2 XHHW-2 LS	THW THW-LS			XHHW-2 XHHW-2 LS			THW THW-LS	XHHW-2 XHHW-2 LS	THW THW-LS	XHHW-2 XHHW-2 LS
		60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	mm	mm		
8	6	40	50	55	40	50	55	6.0	6.6	10.3	5.9
6	4	55	65	75	55	65	75	7.8	7.7	16.6	8.6
4	2	70	85	95	75	90	100	9.0	9.1	24.9	12.7
2	1/0	95	115	130	100	120	135	10.5	11.4	37.5	20.0
-	2/0	-	-	-	115	135	150	-	12.4	-	24.0
1/0	3/0	125	150	170	130	155	175	13.6	13.7	59.9	30.0
2/0	4/0	145	175	195	150	180	205	14.8	15.0	73.6	37.0
3/0	250	165	200	225	170	205	230	16.1	16.6	91.4	44.2
4/0	300	195	230	260	195	230	260	17.6	17.9	113.2	52.1
250	350	215	255	290	210	250	280	19.5	19.1	134.8	60.0
300	400	-	-	-	225	270	305	-	20.2	-	67.9
-	-	240	285	320	-	-	-	20.9	-	159.7	-
350	500	260	310	350	260	310	350	22.2	22.1	184.5	83.3
400	600	280	335	380	285	340	385	23.4	24.9	209.1	101.7
500	750	320	380	430	320	385	435	25.6	27.3	258.2	124.8

Los valores se proporcionan sólo como fines comparativos, siempre calcule los conductores de acuerdo a las regulaciones de la instalación de electricistas de la NEMA-001-SEDE-2012. Las ampacidades están basadas solamente en la temperatura de operación y no se ha considerado la caída de voltaje. Tomada de la Tabla 310-15 (b)(1) de la NEMA-001-SEDE-2012.



General Cable y STABILOY® Brand son marcas registradas de General Cable Technologies Corporation. ©2013 General Cable Technologies Corporation, High and Painesville, KY 40705. Todos los derechos reservados. STA-06-11-Rev-2014

+52 (55) 2062 2600  
+52 (55) 9172 3400  
01800 702 6231  
stabiloy@generalcable.com.mx  
www.generalcable.com www.stabiloy.mx

## Continuación del anexo 1



Cables para la Construcción (Baja Tensión)

### Alambres y Cables THWN-2/THHN, MTW, AWM, 600V, 90°C RAD®



#### DESCRIPCIÓN GENERAL

Alambre o cable de cobre suave clase B o C o unilay, con aislamiento termoplástico de policloruro de vinilo (PVC) y cubierta protectora de nylon (poliamida).

#### ESPECIFICACIONES

- UL 83 Thermoplastic-Insulated wires and cables.
- UL 758 Appliance Wiring Material.
- UL 1063 Machine-Tool Wires and Cables.
- UL 2556 Wire and Cable Test Methods.
- ASTM B3 Soft or Annealed Copper Wire.
- ASTM B8 Concentric -Lay-Stranded Copper Conductors.
- ASTM B787 19 Wire Combination Unilay - Stranded Copper Conductors.
- Nema WC70 Power Cables Rated 2000 Volts or Less for the Distribution of Electrical Energy.
- NFPA 70 National Electrical Code (NEC).
- NTC 1332 Alambres y Cables con Aislamiento Termoplástico.
- Directiva RoHS 2011/65/EU Restricción a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.

#### CERTIFICACIONES



#### PRINCIPALES APLICACIONES

- Los alambres y cables THWN-2/THHN, MTW, AWM son productos de uso general usados en sistemas de distribución de baja tensión e iluminación.
- Por su excelente comportamiento a los aceites y químicos es adecuado para instalarse en gasolineras y refinerías.

#### CARACTERÍSTICAS

- Cable aprobado por UL (File E102470, E172775, E95989).
- Cable aprobado por CIDET-RETIE certificado 02047.

600 V  
90°C

#### ATRIBUTOS



RI

## Continuación del anexo 1.

- Tensión máxima de operación: 600 V.
- Aprobado por UL para marcarse como: Resistente al aceite y/o Resistente a gasolina GR II, CT para instalación en charola, para calibres 4 AWG y mayores.
- Resistente a la luz solar para todos los colores, en calibres 8 AWG y mayores.
- Recubrimiento Altamente Deslizante (RAD), en calibres 8 AWG y mayores.
- Aprobado para marcarse como MTW (Machine Tool Wire).
- Temperatura máxima de operación en el conductor: 90°C en ambiente seco, húmedo y mojado.
- Se fabrican en los siguientes calibres: Alambres de 2,08 a 5,26 mm<sup>2</sup> (14 a 10 AWG); Cables de 2,08 a 507 mm<sup>2</sup> (14 AWG a 1000 kcmil).

### VENTAJAS

- Satisfacen la prueba de resistencia a la propagación de la flama vertical (VW-1).
- Apropriados para instalarse en lugares húmedos o secos.
- Gran resistencia a la abrasión, al aceite y a los agentes químicos, debido al nylon.
- Ofrecen excelentes características eléctricas, físicas y mecánicas.

### INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

- THHN: Temperatura máxima de operación en el conductor de 90°C en lugares secos.
- THWN-2: Temperaturas máximas de operación en el conductor de 90°C en ambiente seco, húmedo y mojado. 75°C cuando está expuesto al aceite y gasolina.
- MTW: Conductor para uso en alambrado de máquinas herramientas (únicamente conductor cableado) temperatura de operación del conductor 60°C en lugares mojados y/o expuesto al aceite y 90°C en lugares secos.
- AWM: Conductor para uso en alambrado interior de aparatos, temperaturas de operación 105°C en ambiente seco, 80°C cuando está expuesto al aceite y 60°C en húmedo.
- VW-1: Prueba Vertical de Flama, marcado del calibre 14 AWG a 1000 kcmil.
- CT: Prueba de Flama Charola Vertical para ser instalado en charolas, aplica en designaciones 4 AWG y mayores, en todos los colores.
- GR II: Resistencia al aceite y a la gasolina, marcado del calibre 14 AWG a 1000 kcmil.
- SR: Resistencia a la Luz Solar para ser instalados a la intemperie, aplica en designaciones 8 AWG y mayores, en todos los colores.
- RAD: La cubierta tiene recubrimiento altamente deslizante que le permite deslizarse con facilidad dentro del ducto, aplica en designaciones 8 AWG y mayores.
- RoHS: Los conductores del calibre 14 AWG a 10 AWG cumplen la directiva Europea 2011/65/EU que establece el límite de valores de concentración máxima de sustancias peligrosas.

Continuación del anexo 1.



ALAMBRE VIAKON® THWN-2/THHN 600 V									
Calibre		Número de hilos	Espesor nominal del aislamiento	Espesor nominal de nylon	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente*		
AWG	mm <sup>2</sup>						60°C	75°C	90°C
14	2.08	1	0.38	0.10	2.7	3.0	20	20	25
12	3.31	1	0.38	0.10	3.2	4.0	25	25	30
10	5.26	1	0.51	0.10	4.0	6.0	30	35	40

\* Basada en la tabla 310.16 del NEC (NFPA 70) para una temperatura ambiente de 30°C.

NOTA: Las dimensiones y pesos están sujetos a tolerancias de manufactura.

Continuación del anexo 1.



CABLE VIAKON® THWN-2/THHN 600 V									
Calibre		Número de hilos	Espesor nominal del aislamiento	Espesor nominal de nylon	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente*		
AWG	mm <sup>2</sup>						60°C	75°C	90°C
14	2.08	19	0.38	0.10	2.9	2.9	20	20	25
12	3.31	19	0.38	0.10	3.4	3.4	25	25	30
10	5.26	19	0.51	0.10	4.3	4.3	30	35	40
8	8.36	19	0.76	0.13	5.7	5.7	40	50	55
6	13.3	19	0.76	0.13	6.7	6.7	55	65	75
4	21.1	19	1.02	0.15	8.5	8.5	70	85	95
2	33.6	19	1.02	0.15	10.1	10.1	95	115	130
1	42.4	19	1.27	0.18	11.6	11.6	110	130	150
1/0	53.5	19	1.27	0.18	12.7	12.7	125	150	170
2/0	67.4	19	1.27	0.18	13.9	13.9	145	175	195
3/0	85.0	19	1.27	0.18	15.2	15.2	165	200	225
4/0	107	19	1.27	0.20	16.7	16.7	195	230	260
250	127	37	1.52	0.20	18.5	18.5	215	255	290
300	152	37	1.52	0.20	19.9	19.9	240	285	320
350	177	37	1.52	0.20	21.3	21.3	260	310	350
400	203	37	1.52	0.20	22.5	22.5	280	335	380
500	253	37	1.52	0.20	24.7	24.7	320	380	430
600	304	61	1.78	0.23	27.3	27.3	355	420	475
750	380	61	1.78	0.23	30.0	30.0	400	475	535
1000	507	61	1.78	0.23	34.0	34.0	455	545	615

\* Basada en la tabla 310.16 del NEC (NFPA 70) para una temperatura ambiente de 30°C.

NOTA: Las dimensiones y pesos están sujetos a tolerancias de manufactura.

Continuación del anexo 1.



## Continuación del anexo 1.



### DESCRIPCIÓN GENERAL

Cable formado por un cable de aleación de aluminio AA-8176, cinta separadora poliéster (opcional), con aislamiento de polietileno de cadena cruzada (XLPE).

600 V  
90°C

### ESPECIFICACIONES

- Los cables de aluminio Viakon 8000® XHHW-2 cumplen con las siguientes especificaciones:
- NOM-001-SEDE Instalaciones Eléctricas (utilización).
- NOM-063-SCFI Productos Eléctricos conductores-requisitos de Seguridad.
- NMX-J-451-ANCE Cables de energía de baja tensión con aislamiento de polietileno de cadena cruzada
- o a base de etileno propileno para instalaciones hasta 600V.
- Nota: Para productos con aprobación UL 44 consulte a nuestro Departamento de Ingeniería.

### PRINCIPALES APLICACIONES

- Los cables de aluminio Viakon 8000® XHHW-2 son productos de uso general empleados en sistemas de distribución de baja tensión e iluminación, en edificios públicos instalaciones industriales, centros recreativos y comerciales.
- Son adecuados para usarse en circuitos de energía o de control por su diámetro reducido.
- Por cumplir las pruebas correspondientes, portan la marca CT según requisitos de la NOM-001-SEDE.

### CARACTERÍSTICAS

- Tensión máxima de operación: 600 V.
- Temperaturas máximas de operación en el conductor:
- 90°C En ambiente seco, húmedo y mojado.
- 130°C En emergencia.
- 250°C En corto circuito.
- Nota: La condición de emergencia se limita a 1 500 h acumulativas durante la vida del cable y no más de 100h en periodos de doce meses consecutivos. Las condiciones de corto circuito en el conductor se basan en lo indicado por la norma ICEA P-32-382.
- Se fabrican en calibres de 13.3 a 380.0 mm<sup>2</sup> (6 AWG a 750 kcmil), cableado compacto.
- Aislamiento color negro que lo hace resistente a la luz solar.
- Para cables con aislamiento de color diferente al negro consultar a nuestro departamento de Ventas.
- La marca CT aplica en calibres 4 AWG y mayores, en todos los colores.

Continuación del anexo 1.



CABLE VIAKON ® 8000 AL-XHHW-2 600 V								
Designación	Área nominal de la sección transversal	Número de hilos	Espesor nominal del aislamiento	Diámetro exterior aproximado	Peso total aproximado	Capacidad de conducción de corriente*		
AWG/Kcmil	mm <sup>2</sup>		mm	mm	kg / 100m	60°C	75°C	90°C
6	13,30	7	1,14	6,7	5,8	40	50	55
4	21,15	7	1,14	7,8	8,3	55	65	75
2	33,62	7	1,14	9,2	12,3	75	90	100
1	42,41	19	1,40	10,5	16,0	85	100	115
1/0	53,49	19	1,40	11,4	19,4	100	120	135
2/0	67,43	19	1,40	12,4	23,8	115	135	150
3/0	85,01	19	1,40	13,4	29,2	130	155	175
4/0	107,22	19	1,40	15,0	35,9	150	180	205
250	126,70	37	1,65	16,7	43,2	170	205	230
300	152,0	37	1,65	17,9	50,9	195	230	260
350	177,3	37	1,65	19,1	28,5	210	250	280
400	202,7	37	1,65	20,2	66,1	225	270	305
500	253,4	37	1,65	22,1	81,0	260	310	350
600	304,0	61	2,03	24,9	99,5	285	340	320
750	380,0	61	2,03	27,3	122,0	320	385	350
1000	507,0	61	2,03	31,52	164,5	375	445	500

\*Basada en la tabla 310-15 (b)(16) de la NOM-001-SEDE para una temperatura ambiente de 30°C.

NOTA: Las dimensiones y pesos están sujetos a tolerancias de manufactura.

Continuación del anexo 1.



## Anexo 2. Memoria de cálculo

OPCIÓN 1: CABLE MC S8000-XHHW-2 S8000 PMC'S EN TORRES													
CARGAS "TDP"													
No.	SECCIÓN COND. AWG O MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE (A)	CARGA (KW)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG O MCM	CAL. COND. TIERRA AWG O MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total	
1	253.35	78.3	266.94	86.55	3Ø	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/O	Q. 295.00		1	Q. 23,098.50	
2	354.68	94.05	297.63	96.50	3Ø	CABLE MC S8000	2#350 MCM	2#1/O	Q. 230.00		2	Q. 43,263.00	
3	506.70	109.8	309.35	100.30	3Ø	CABLE MC S8000	2#500 MCM	2#2/O	Q. 295.00		2	Q. 64,782.00	
4	506.70	125.55	303.03	98.25	3Ø	CABLE MC S8000	2#500 MCM	2#2/O	Q. 295.00		2	Q. 74,074.50	
5	253.35	34.3	295.47	95.80	3Ø	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/O	Q. 295.00		1	Q. 10,118.50	
6	253.35	56.35	284.52	92.25	3Ø	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/O	Q. 295.00		1	Q. 16,623.25	
7	253.35	73.50	282.52	91.60	3Ø	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/O	Q. 295.00		1	Q. 21,862.50	
8	253.35	91.00	217.59	70.55	3Ø	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/O	Q. 295.00		1	Q. 26,845.00	
9	886.70	6.00	1040.93	446.75	3Ø	CABLE MC S8000	5#350 MCM	5#1/O	Q. 230.00		5	Q. 6,900.00	
POTENCIA TOTAL				1178.55									Q. 287,387.25

TDP-SUB1													
No.	SECCIÓN COND. AWG O MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE (A)	CARGA (KW)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG O MCM	CAL. COND. TIERRA AWG O MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total	
1	1773.45	3.00	2100.00	1178.55	3Ø	CABLE MC S8000	7#500 MCM	7#2/O	Q. 295.00		7	Q. 6,195.00	
				(CORRIENTE 750KVA)									Q. 6,195.00

OPCIÓN 1: CABLE MC S8000-XHHW-2 S8000 PMC'S EN TORRES															
CARGAS "PMC1-TN-N3"															
No.	SECCIÓN COND. AWG O MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (KW)	AREA (M2)	FACTOR (KWH/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG O MCM	CAL. COND. TIERRA AWG O MCM	POTENCIA INSTALADA			
												Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total
1	21.20	25.25	42.80	29.91	5.60	112.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q351.99
2	21.20	24.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q341.53
3	21.20	20.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q278.80
4	21.20	24.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q334.56
5	21.20	20.50	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q285.77
6	21.20	19.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q271.83
7	21.20	15.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q209.10
8	21.20	19.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q264.86
9	21.20	15.50	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q216.07
10	21.20	23.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q320.62
11	21.20	18.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q257.89
12	21.20	22.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q313.65
13	21.20	19.00	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q264.86
14	21.20	25.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q355.47
15	21.20	21.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q292.74
16	21.20	25.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q348.50
17	21.20	21.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q299.71
POTENCIA TOTAL				86.55	5.09						Q5,007.95				
CARGAS "PMC2-TN-N8"															
No.	SECCIÓN COND. AWG O MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (KW)	AREA (M2)	FACTOR (KWH/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG O MCM	CAL. COND. TIERRA AWG O MCM	POTENCIA INSTALADA			
												Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total
1	21.20	25.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 355.47
2	21.20	21.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 292.74
3	21.20	25.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 348.50
4	21.20	21.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 299.71
5	21.20	22.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 313.65
6	21.20	18.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 250.92
7	21.20	22.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 306.68
8	21.20	18.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 257.89
9	21.20	19.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 264.86
10	21.20	14.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 202.13
11	21.20	18.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 257.89
12	21.20	15.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 209.10
13	21.20	22.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 306.68
14	21.20	17.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 243.95
15	21.20	21.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 299.71
16	21.20	18.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 250.92
17	21.20	25.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 355.47
18	21.20	21.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 292.74
19	21.20	25.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 348.50
20	21.20	21.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 299.71
POTENCIA TOTAL				96.50	4.83						Q. 5,757.22				

Continuación del anexo 2.

OPCIÓN 1: CABLE MC S8000-XHHW-2 S8000 PMC'S EN TORRES																		
CARGAS "PMC1-TS-N3"					POTENCIA INSTALADA													
No.	SECCIÓN COND. AWG Ó MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (kW)	AREA (M2)	FACTOR (kW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ó MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ó MCM	Costo Q Fase + neutro	Costo Q tierra	Número mazos	Total			
1	21.20	18.50	42.80	60.10	11.25	225.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	257.89
2	21.20	23.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	320.62
3	21.20	31.50	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	439.11
4	21.20	14.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	202.13
5	21.20	18.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	250.92
6	21.20	26.50	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	369.41
7	21.20	9.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	132.43
8	21.20	21.50	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	299.71
9	21.20	30.00	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	418.20
10	21.20	13.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	181.22
11	21.20	29.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	404.26
12	21.20	27.50	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	383.35
13	21.20	15.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	209.10
14	21.20	32.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	446.08
15	21.20	30.50	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	425.17
16	21.20	18.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	250.92
POTENCIA TOTAL					95.80	5.99	Q 4,990.52											
CARGAS "PMC2-TS-N10"					POTENCIA INSTALADA													
No.	SECCIÓN COND. AWG Ó MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (kW)	AREA (M2)	FACTOR (kW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ó MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ó MCM	Costo Q Fase + neutro	Costo Q tierra	Número mazos	Total			
1	21.20	32.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	446.08
2	21.20	30.50	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	425.17
3	21.20	18.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	250.92
4	21.20	29.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	404.26
5	21.20	27.50	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	383.35
6	21.20	15.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	209.10
7	21.20	26.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	362.44
8	21.20	24.50	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	341.53
9	21.20	12.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	167.28
10	21.20	18.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	250.92
11	21.20	26.50	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	369.41
12	21.20	9.50	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	132.43
13	21.20	24.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	334.56
14	21.20	32.50	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	453.05
15	21.20	15.50	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	216.07
16	21.20	30.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	418.20
17	21.20	38.50	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	536.69
18	21.20	21.50	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q	3.74	Q	2.72	1	Q	299.71
POTENCIA TOTAL					92.25	5.13	Q 6,001.17											

Continuación del anexo 2.

OPCIÓN 1: CABLE MC S8000-XHHW-2 S8000 PMC'S EN TORRES																
CARGAS "PMC3-TN-N14"										POTENCIA INSTALADA						
No.	SECCIÓN COND. AWG Ø MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (kW)	AREA (M2)	FACTOR (kW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ø MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ø MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. Tierra	Número mazos	Total	
1	21.20	25.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 355.47	
2	21.20	21.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 292.74	
3	21.20	25.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 348.50	
4	21.20	21.50	42.80	40.33	7.55	151.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 299.71	
5	21.20	22.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 313.65	
6	21.20	18.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 250.92	
7	21.20	22.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 306.68	
8	21.20	18.50	42.80	40.33	7.55	151.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 257.89	
9	21.20	19.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 264.86	
10	21.20	14.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 202.13	
11	21.20	18.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 257.89	
12	21.20	15.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 209.10	
13	21.20	22.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 306.68	
14	21.20	17.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 243.95	
15	21.20	21.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 299.71	
16	21.20	18.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 250.92	
17	21.20	25.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 355.47	
18	21.20	21.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 292.74	
19	21.20	25.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 348.50	
20	21.20	21.50	42.80	40.33	7.55	151.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 299.71	
POTENCIA TOTAL					100.30	5.02										Q. 5,575.22
CARGAS "PMC4-TN-N19"										POTENCIA INSTALADA						
No.	SECCIÓN COND. AWG Ø MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (kW)	AREA (M2)	FACTOR (kW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ø MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ø MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. Tierra	Número mazos	Total	
1	21.20	25.00	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 348.50	
2	21.20	25.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 348.50	
3	21.20	21.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 299.71	
4	21.20	22.00	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 306.68	
5	21.20	15.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 209.10	
6	21.20	20.00	42.80	28.31	5.30	106.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 278.80	
7	21.20	22.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 306.68	
8	21.20	18.50	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 257.89	
9	21.20	11.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 160.31	
10	21.20	16.50	42.80	28.31	5.30	106.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 230.01	
11	21.20	18.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 257.89	
12	21.20	21.50	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 299.71	
13	21.20	14.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 202.13	
14	21.20	19.50	42.80	28.31	5.30	106.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 271.83	
15	21.20	21.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 299.71	
16	21.20	25.00	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 348.50	
17	21.20	25.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 348.50	
POTENCIA TOTAL					98.25	5.78										Q. 4,774.45
OPCIÓN 1: CABLE MC S8000-XHHW-2 S8000 PMC'S EN TORRES																
CARGAS "PMC3-TS-N17"										POTENCIA INSTALADA						
No.	SECCIÓN COND. AWG Ø MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (kW)	AREA (M2)	FACTOR (kW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ø MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ø MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. Tierra	Número mazos	Total	
1	21.20	32.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 446.08	
2	21.20	30.50	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 425.17	
3	21.20	18.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 250.92	
4	21.20	29.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 404.26	
5	21.20	27.50	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 383.35	
6	21.20	15.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 209.10	
7	21.20	26.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 362.44	
8	21.20	24.50	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 341.53	
9	21.20	12.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 167.28	
10	21.20	23.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 320.62	
11	21.20	21.50	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 299.71	
12	21.20	9.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 125.46	
13	21.20	24.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 334.56	
14	21.20	32.50	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 453.05	
15	21.20	15.50	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 216.07	
16	21.20	30.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 418.20	
17	21.20	38.50	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 536.69	
18	21.20	21.50	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 299.71	
POTENCIA TOTAL					91.60	5.09										Q. 5,994.20
CARGAS "PMC4-TS-N22"										POTENCIA INSTALADA						
No.	SECCIÓN COND. AWG Ø MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (kW)	AREA (M2)	FACTOR (kW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ø MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ø MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. Tierra	Número mazos	Total	
1	21.20	24.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 334.56	
2	21.20	32.50	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 453.05	
3	21.20	15.50	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 216.07	
4	21.20	26.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 362.44	
5	21.20	12.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 167.28	
6	21.20	18.00	42.80	45.41	8.50	170.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 250.92	
7	21.20	9.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 125.46	
8	21.20	24.00	42.80	45.41	8.50	170.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 334.56	
9	21.20	15.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 216.07	
10	21.20	30.00	42.80	45.41	8.50	170.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 418.20	
11	21.20	21.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 299.71	
POTENCIA TOTAL					70.55	6.41										Q. 3,178.32

Continuación del anexo 2.

OPCIÓN 2: DUCTO BARRA-XHHW-2 S8000 PMC'S EN TORRES													
CARGAS "TDP"													
No.	SECCIÓN COND. AWG Ó MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE (A)	CARGA (KW)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ó MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ó MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total	
1	DUCTO BARRA 1000 A	126	1176.94	381.60	3Ø	DUCTO BARRA	ALUMINIO	1000 A	Q. 333,100.00		1	Q. 333,100.00	
2	DUCTO BARRA 1000 A	91	1080.10	350.20	3Ø	DUCTO BARRA	ALUMINIO	1000 A	Q. 216,900.00		1	Q. 216,900.00	
3	886.70	6.00	1040.93	446.75	3Ø	CABLE MC S8000	5#350 MCM	5#1/0	Q. 230.00		5	Q. 6,900.00	
POTENCIA TOTAL				1178.55									Q. 556,900.00

TDP-SUB1												
No.	SECCIÓN COND. AWG Ó MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE (A)	CARGA (KW)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ó MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ó MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total
1	1773.45	3.00	2100.00	1178.55	3Ø	CABLE MC S8000	7#500 MCM	7#2/0	Q. 295.00	Q. -	7	Q. 6,195.00
(CORRIENTE 750KVA)												
Q. 6,195.00												

OPCIÓN 2: DUCTO BARRA-XHHW-2 S8000 PMC'S EN TORRES															
CARGAS "PMC1-TS-N3"															
No.	SECCIÓN COND. AWG Ó MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (KW)	AREA (M2)	FACTOR (KW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ó MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ó MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total
1	21.20	18.50	42.80	60.10	11.25	225.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 257.89
2	21.20	21.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 320.62
3	21.20	31.50	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 439.11
4	21.20	14.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 202.13
5	21.20	18.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 250.62
6	21.20	26.50	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 369.41
7	21.20	9.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 132.43
8	21.20	21.50	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 299.71
9	21.20	30.00	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 418.30
10	21.20	13.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 181.22
11	21.20	29.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 404.26
12	21.20	27.50	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 383.35
13	21.20	15.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 209.10
14	21.20	32.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 448.08
15	21.20	30.50	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 425.17
16	21.20	18.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 250.92
POTENCIA TOTAL												95.90	Q. 4,990.52		
CARGAS "PMC2-TS-N10"															
No.	SECCIÓN COND. AWG Ó MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (KW)	AREA (M2)	FACTOR (KW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ó MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ó MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total
1	21.20	32.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 446.08
2	21.20	30.50	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 425.17
3	21.20	18.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 250.92
4	21.20	29.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 404.26
5	21.20	27.50	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 383.35
6	21.20	15.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 209.10
7	21.20	26.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 362.44
8	21.20	24.50	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 341.53
9	21.20	12.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 167.28
10	21.20	18.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 250.92
11	21.20	26.50	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 369.41
12	21.20	9.50	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 132.43
13	21.20	24.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 334.56
14	21.20	32.50	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 453.00
15	21.20	15.50	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 216.07
16	21.20	30.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 418.30
17	21.20	38.50	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 536.69
18	21.20	21.50	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 299.71
POTENCIA TOTAL												92.25	Q. 6,001.17		

Continuación del anexo 2.

OPCIÓN 2: DUCTO BARRA-XHHW-2 S8000 PMC'S EN TORRES																
CARGAS "PMC1-TN-N3"				POTENCIA INSTALADA												
No.	SECCIÓN COND. AWG O MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (KW)	AREA (M2)	FACTOR (KW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG O MCM	CAL. COND. TIERRA AWG O MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total	
1	21.20	25.25	42.80	29.91	5.60	112.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q351.99	
2	21.20	24.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q341.53	
3	21.20	20.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q278.80	
4	21.20	24.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q334.56	
5	21.20	20.50	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q285.77	
6	21.20	19.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q271.83	
7	21.20	15.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q209.10	
8	21.20	19.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q264.86	
9	21.20	15.50	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q216.07	
10	21.20	23.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q320.62	
11	21.20	18.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q257.89	
12	21.20	22.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q313.65	
13	21.20	19.00	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q264.86	
14	21.20	25.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q355.47	
15	21.20	21.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q292.74	
16	21.20	25.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q348.50	
17	21.20	21.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q3.74	Q2.72	1	Q299.71	
POTENCIA TOTAL					86.55	Q5,007.95										
CARGAS "PMC2-TN-N8"				POTENCIA INSTALADA												
No.	SECCIÓN COND. AWG O MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (KW)	AREA (M2)	FACTOR (KW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG O MCM	CAL. COND. TIERRA AWG O MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total	
1	21.20	25.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 355.47	
2	21.20	21.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 292.74	
3	21.20	25.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 348.50	
4	21.20	21.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 299.71	
5	21.20	22.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 313.65	
6	21.20	18.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 250.92	
7	21.20	22.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 306.68	
8	21.20	18.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 257.89	
9	21.20	19.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 264.86	
10	21.20	14.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 202.13	
11	21.20	18.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 257.89	
12	21.20	15.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 209.10	
13	21.20	22.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 306.68	
14	21.20	17.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 243.95	
15	21.20	21.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 299.71	
16	21.20	18.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 250.92	
17	21.20	25.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 355.47	
18	21.20	21.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 292.74	
19	21.20	25.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 348.50	
20	21.20	21.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 299.71	
POTENCIA TOTAL					96.50	Q 5,572.22										

Continuación del anexo 2.

OPCIÓN 2: DUCTO BARRA-XHHW-2 S8000 PMC'S EN TORRES															
CARGAS "PMC3-TN-N14"				POTENCIA INSTALADA											
No.	SECCIÓN COND. AWG O MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (KW)	AREA (M2)	FACTOR (KWH/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG O MCM	CAL COND. TIERRA AWG O MCM	Costo Q Fase + neutro	Costo Q tierra	Número mazos	Total
1	21.20	25.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 355.47
2	21.20	21.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 292.74
3	21.20	25.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 348.50
4	21.20	21.50	42.80	40.33	7.55	151.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 299.71
5	21.20	22.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 313.65
6	21.20	18.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 250.92
7	21.20	22.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 306.68
8	21.20	18.50	42.80	40.33	7.55	151.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 257.89
9	21.20	19.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 264.86
10	21.20	14.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 202.13
11	21.20	18.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 257.89
12	21.20	15.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 209.10
13	21.20	22.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 306.68
14	21.20	17.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 243.95
15	21.20	21.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 299.71
16	21.20	18.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 250.92
17	21.20	25.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 355.47
18	21.20	21.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 292.74
19	21.20	25.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 348.50
20	21.20	21.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 299.71
POTENCIA TOTAL														100.30	Q 5,757.22
CARGAS "PMC4-TN-N19"				POTENCIA INSTALADA											
No.	SECCIÓN COND. AWG O MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (KW)	AREA (M2)	FACTOR (KWH/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG O MCM	CAL COND. TIERRA AWG O MCM	Costo Q Fase + neutro	Costo Q tierra	Número mazos	Total
1	21.20	25.00	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 348.50
2	21.20	25.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 348.50
3	21.20	21.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 299.71
4	21.20	22.00	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 306.68
5	21.20	15.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 209.10
6	21.20	20.00	42.80	28.31	5.30	106.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 278.80
7	21.20	22.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 306.68
8	21.20	18.50	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 257.89
9	21.20	11.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 160.31
10	21.20	16.50	42.80	28.31	5.30	106.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 230.01
11	21.20	18.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 257.89
12	21.20	21.50	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 299.71
13	21.20	14.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 202.13
14	21.20	19.50	42.80	28.31	5.30	106.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 271.83
15	21.20	21.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 299.71
16	21.20	25.00	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 348.50
17	21.20	25.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q 3.74	Q 2.72	1	Q 348.50
POTENCIA TOTAL														98.25	Q 4,774.45

Continuación del anexo 2.

OPCIÓN 2: DUCTO BARRA-XHHW-2 S8000 PMC'S EN TORRES															
CARGAS "PMC3-TS-N17"										POTENCIA INSTALADA					
No.	SECCIÓN COND. AWG O MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (KW)	AREA (M2)	FACTOR (KW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG O MCM	CAL COND. TIERRA AWG O MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total
1	21.20	32.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 446.08
2	21.20	30.50	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 425.37
3	21.20	18.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 250.92
4	21.20	29.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 404.26
5	21.20	27.50	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 383.35
6	21.20	15.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 209.10
7	21.20	26.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 362.44
8	21.20	24.50	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 341.53
9	21.20	12.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 167.28
10	21.20	23.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 330.62
11	21.20	21.50	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 299.71
12	21.20	9.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 125.46
13	21.20	24.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 334.56
14	21.20	32.50	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 453.05
15	21.20	15.50	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 216.07
16	21.20	30.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 418.20
17	21.20	38.50	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 536.69
18	21.20	21.50	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 299.71
POTENCIA TOTAL					91.60										Q. 5,994.20
CARGAS "PMC4-TS-N22"										POTENCIA INSTALADA					
No.	SECCIÓN COND. AWG O MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (KW)	AREA (M2)	FACTOR (KW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG O MCM	CAL COND. TIERRA AWG O MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total
1	21.20	24.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 334.56
2	21.20	32.50	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 453.05
3	21.20	15.50	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 216.07
4	21.20	26.00	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 362.44
5	21.20	12.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 167.28
6	21.20	18.00	42.80	45.41	8.50	170.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 250.92
7	21.20	9.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 125.46
8	21.20	24.00	42.80	45.41	8.50	170.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 334.56
9	21.20	15.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 216.07
10	21.20	30.00	42.80	45.41	8.50	170.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 418.20
11	21.20	21.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 299.71
POTENCIA TOTAL					70.55										Q. 3,178.32
OPCIÓN 3: CABLE MC S8000-XHHW-2 S8000 CON PMC'S EN SOTANO															
CARGAS "TDP"															
No.	SECCIÓN COND. AWG O MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE (A)	CARGA (KW)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG O MCM	CAL COND. TIERRA AWG O MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total			
1	253.35	10.00	266.94	86.55	30	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/0	Q. 295.00		1	Q. 2,950.00			
2	253.35	10.00	297.63	96.50	30	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/0	Q. 295.00		1	Q. 2,950.00			
3	253.35	10.00	309.35	100.30	30	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/0	Q. 295.00		1	Q. 2,950.00			
4	253.35	10.00	303.03	98.25	30	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/0	Q. 295.00		1	Q. 2,950.00			
5	253.35	10.00	295.47	95.80	30	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/0	Q. 295.00		1	Q. 2,950.00			
6	253.35	10.00	284.52	92.25	30	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/0	Q. 295.00		1	Q. 2,950.00			
7	253.35	10.00	282.52	91.60	30	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/0	Q. 295.00		1	Q. 2,950.00			
8	253.35	10.00	217.59	70.55	30	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/0	Q. 295.00		1	Q. 2,950.00			
9	886.70	6.00	1040.93	446.75	30	CABLE MC S8000	58350 MCM	#41/0	Q. 230.00		4	Q. 5,520.00			
POTENCIA TOTAL					1178.55							Q. 29,120.00			
TDP-SUB1															
No.	SECCIÓN COND. AWG O MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE (A)	CARGA (KW)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG O MCM	CAL COND. TIERRA AWG O MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total			
1	1773.45	3.00	2100.00	1178.55	30	CABLE MC S8000	78500 MCM	7#2/0	Q. 295.00		7	Q. 6,195.00			
												Q. 6,195.00			

Continuación del anexo 2.

OPCIÓN 3: CABLE MC S8000-XHHW-2 S8000 CON PMC'S EN SOTANO															
CARGAS "PMC1-TN-N3"					POTENCIA INSTALADA										
No.	SECCIÓN COND. AWG Ó MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (kW)	AREA (M2)	FACTOR (kW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ó MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ó MCM	Costo Q Fase + neutro	Costo Q tierra	Número mazos	Total
1	33.60	82.00	42.80	29.91	5.60	112.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#2	#6	Q4.98	Q2.72	1	Q1,448.12
2	53.50	88.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q7.75	Q2.72	1	Q2,298.35
3	33.60	84.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#2	#6	Q4.98	Q2.72	1	Q1,483.44
4	33.60	88.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#2	#6	Q4.98	Q2.72	1	Q1,554.08
5	33.60	84.50	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#2	#6	Q4.98	Q2.72	1	Q1,492.27
6	53.50	91.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q7.75	Q2.72	1	Q2,376.26
7	33.60	87.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#2	#6	Q4.98	Q2.72	1	Q1,536.42
8	53.50	91.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q7.75	Q2.72	1	Q2,363.27
9	33.60	87.50	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#6	#6	Q2.72	Q2.72	1	Q952.00
10	53.50	95.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q7.75	Q2.72	1	Q2,467.15
11	53.50	90.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q7.75	Q2.72	1	Q2,350.29
12	53.50	94.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q7.75	Q2.72	1	Q2,454.17
13	53.50	91.00	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q7.75	Q2.72	1	Q2,363.27
14	53.50	98.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q7.75	Q2.72	1	Q2,545.06
15	53.50	93.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q7.75	Q2.72	1	Q2,428.20
16	53.50	97.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q7.75	Q2.72	1	Q2,532.08
17	53.50	94.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q7.75	Q2.72	1	Q2,441.18
POTENCIA TOTAL															Q35,085.58
CARGAS "PMC2-TN-N8"					POTENCIA INSTALADA										
No.	SECCIÓN COND. AWG Ó MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (kW)	AREA (M2)	FACTOR (kW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ó MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ó MCM	Costo Q Fase + neutro	Costo Q tierra	Número mazos	Total
1	53.50	101.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,622.97
2	53.50	96.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,506.11
3	53.50	100.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,609.99
4	53.50	97.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,519.09
5	53.50	104.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,700.88
6	53.50	99.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,584.02
7	53.50	103.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,687.90
8	53.50	100.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,597.00
9	53.50	107.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,778.79
10	53.50	102.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,661.93
11	53.50	106.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,765.81
12	53.50	103.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,674.91
13	53.50	111.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,882.67
14	53.50	106.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,765.81
15	53.50	110.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,869.69
16	53.50	107.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,778.79
17	53.50	114.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,960.58
18	53.50	109.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,843.72
19	53.50	113.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,947.60
20	53.50	110.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,856.70
POTENCIA TOTAL															Q 54,614.91

Continuación del anexo 2.

OPCIÓN 3: CABLE MC S8000-XHHW-2 S8000 CON PMC'S EN SOTANO															
CARGAS "PMC1-TS-N3"				POTENCIA INSTALADA											
No.	SECCIÓN COND. AWG Ó MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (kW)	AREA (M2)	FACTOR (kW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ó MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ó MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total
1	21.20	24.50	42.80	60.10	11.25	225.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 341.53
2	21.20	35.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 487.90
3	21.20	44.50	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 620.33
4	21.20	27.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 383.35
5	21.20	39.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 543.66
6	21.20	47.50	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 662.15
7	21.20	30.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 425.17
8	21.20	42.50	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 592.45
9	21.20	51.00	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 710.94
10	21.20	34.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 473.96
11	21.20	50.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 703.97
12	21.20	49.00	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 683.96
13	21.20	36.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 508.81
14	21.20	50.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 703.97
15	21.20	49.00	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 683.96
16	21.20	36.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 508.81
POTENCIA TOTAL														95.80	Q. 9,033.12
CARGAS "PMC2-TS-N10"				POTENCIA INSTALADA											
No.	SECCIÓN COND. AWG Ó MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (kW)	AREA (M2)	FACTOR (kW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ó MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ó MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total
1	21.20	53.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 745.79
2	21.20	52.00	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 724.88
3	21.20	39.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 550.63
4	33.60	56.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#2	#6	Q. 4.98	Q. 2.72	1	Q. 997.79
5	21.20	55.00	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 766.70
6	21.20	42.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 592.45
7	33.60	59.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#2	#6	Q. 4.98	Q. 2.72	1	Q. 1,050.77
8	33.60	58.00	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#2	#6	Q. 4.98	Q. 2.72	1	Q. 1,024.28
9	21.20	45.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 634.27
10	33.60	58.50	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#2	#6	Q. 4.98	Q. 2.72	1	Q. 1,033.11
11	33.60	67.00	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#2	#6	Q. 4.98	Q. 2.72	1	Q. 1,183.22
12	21.20	50.00	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 697.00
13	33.60	61.50	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#2	#6	Q. 4.98	Q. 2.72	1	Q. 1,086.09
14	33.60	70.00	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#2	#6	Q. 4.98	Q. 2.72	1	Q. 1,236.20
15	21.20	53.00	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#4	#6	Q. 3.74	Q. 2.72	1	Q. 738.82
16	33.60	64.50	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#2	#6	Q. 4.98	Q. 2.72	1	Q. 1,139.07
17	33.60	73.00	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#2	#6	Q. 4.98	Q. 2.72	1	Q. 1,289.18
18	33.60	57.00	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#2	#6	Q. 4.98	Q. 2.72	1	Q. 1,006.62
POTENCIA TOTAL														92.25	Q. 16,496.87

Continuación del anexo 2.

OPCIÓN 3: CABLE MC S8000-XHHW-2 S8000 CON PMC'S EN SOTANO																
CARGAS "PMC3-TN-14"										POTENCIA INSTALADA						
No.	SECCIÓN COND. AWG Ø MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (KW)	AREA (M2)	FACTOR (W/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ø MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ø MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total	
1	53.50	117.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.038.49	
2	53.50	112.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 2.921.63	
3	53.50	116.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.025.51	
4	53.50	113.00	42.80	40.33	7.55	151.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 2.934.61	
5	53.50	120.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.116.40	
6	53.50	115.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 2.999.54	
7	53.50	119.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.103.42	
8	53.50	116.00	42.80	40.33	7.55	151.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.012.52	
9	53.50	123.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.194.31	
10	53.50	118.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.077.45	
11	53.50	122.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.181.33	
12	53.50	119.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.090.43	
13	53.50	127.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.298.19	
14	53.50	122.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.181.33	
15	53.50	125.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.259.24	
16	53.50	123.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.194.31	
17	53.50	130.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.376.10	
18	53.50	125.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.259.24	
19	53.50	129.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.363.12	
20	53.50	126.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.272.22	
POTENCIA TOTAL															100.30	Q. 62.925.31
CARGAS "PMC4-TN-19"										POTENCIA INSTALADA						
No.	SECCIÓN COND. AWG Ø MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (KW)	AREA (M2)	FACTOR (W/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ø MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ø MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total	
1	53.50	132.50	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.441.03	
2	53.50	132.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.441.03	
3	53.50	129.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.350.13	
4	53.50	135.50	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.518.94	
5	53.50	128.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.337.15	
6	53.50	133.50	42.80	28.31	5.30	106.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.467.00	
7	53.50	135.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.518.94	
8	53.50	138.50	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.596.85	
9	53.50	133.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.415.06	
10	53.50	136.50	42.80	28.31	5.30	106.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.544.91	
11	53.50	138.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.596.85	
12	67.40	141.50	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#2/0	#6	Q. 9.50	Q. 2.72	1	Q. 4.417.63	
13	53.50	134.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.492.97	
14	53.50	139.50	42.80	28.31	5.30	106.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#1/0	#6	Q. 7.75	Q. 2.72	1	Q. 3.622.82	
15	67.40	141.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#2/0	#6	Q. 9.50	Q. 2.72	1	Q. 4.417.63	
16	67.40	144.50	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#2/0	#6	Q. 9.50	Q. 2.72	1	Q. 4.511.29	
17	67.40	144.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	ALUMINIO	#2/0	#6	Q. 9.50	Q. 2.72	1	Q. 4.511.29	
POTENCIA TOTAL															98.25	Q. 63.201.46

Continuación del anexo 2.

OPCIÓN 3: CABLE MC S8000-XHHW-2 S8000 CON PMC'S EN SOTANO																	
CARGAS "PMC3-TS-N17"				POTENCIA INSTALADA													
No.	SECCIÓN COND. AWG O MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (KW)	AREA (M2)	FACTOR (KW/M2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG O MCM	CAL. COND. TIERRA AWG O MCM	Costo G. Fase + neutro	Costo Q tierra	Número mazos	Total		
1	33.60	72.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,280.35		
2	33.60	71.00	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,253.86		
3	33.60	58.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,093.11		
4	33.60	75.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,333.33		
5	33.60	74.00	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,306.84		
6	33.60	61.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,086.99		
7	33.60	78.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,386.31		
8	33.60	77.00	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,359.82		
9	33.60	64.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,139.07		
10	33.60	82.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,456.95		
11	33.60	81.00	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,430.46		
12	33.60	68.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,209.71		
13	33.60	80.50	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,421.63		
14	53.50	89.00	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	10	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,311.33		
15	33.60	72.00	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,271.52		
16	33.60	83.50	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,474.61		
17	53.50	92.00	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	10	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,389.34		
18	33.60	75.00	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,324.50		
POTENCIA TOTAL					91.60												
CARGAS "PMC4-TS-N22"														POTENCIA INSTALADA			
No.	SECCIÓN COND. AWG O MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (KW)	AREA (M2)	FACTOR (KW/M2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG O MCM	CAL. COND. TIERRA AWG O MCM	Costo G. Fase + neutro	Costo Q tierra	Número mazos	Total		
1	33.60	86.50	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,527.59		
2	53.50	95.00	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	10	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,467.15		
3	33.60	78.00	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,377.48		
4	53.50	94.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,454.17		
5	33.60	80.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,421.63		
6	53.50	93.50	42.80	45.41	8.50	170.00	0.05	10	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,428.20		
7	33.60	84.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,492.27		
8	53.50	96.50	42.80	45.41	8.50	170.00	0.05	10	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,506.11		
9	33.60	88.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	ALUMINIO	#2	#6	Q 4.98	Q 2.72	1	Q 1,554.08		
10	53.50	99.50	42.80	45.41	8.50	170.00	0.05	10	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,584.02		
11	53.50	91.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	ALUMINIO	#1/0	#6	Q 7.75	Q 2.72	1	Q 2,363.27		
POTENCIA TOTAL					70.55												

Continuación del anexo 2.

OPCIÓN 4: CABLE MC S8000-THHN CU CON PMC'S EN SOTANO													
CARGAS "TDP"													
No.	SECCIÓN COND. AWG Ø MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE (A)	CARGA (kW)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ø MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ø MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total	
1	253.35	10.00	266.94	86.55	3Ø	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/0	Q 295.00		1	Q 2.950.00	
2	253.35	10.00	297.63	96.50	3Ø	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/0	Q 295.00		1	Q 2.950.00	
3	253.35	10.00	309.35	100.30	3Ø	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/0	Q 295.00		1	Q 2.950.00	
4	253.35	10.00	303.03	98.25	3Ø	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/0	Q 295.00		1	Q 2.950.00	
5	253.35	10.00	295.47	95.80	3Ø	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/0	Q 295.00		1	Q 2.950.00	
6	253.35	10.00	284.52	92.25	3Ø	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/0	Q 295.00		1	Q 2.950.00	
7	253.35	10.00	282.52	91.60	3Ø	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/0	Q 295.00		1	Q 2.950.00	
8	253.35	10.00	217.59	70.55	3Ø	CABLE MC S8000	#500 MCM	#2/0	Q 295.00		1	Q 2.950.00	
9	886.70	6.00	1040.93	446.75	3Ø	CABLE MC S8000	5#350 MCM	4#1/0	Q 230.00		4	Q 5.520.00	
POTENCIA TOTAL				1178.55									Q 29.120.00

TDP-SUB1													
No.	SECCIÓN COND. AWG Ø MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE (A)	CARGA (kW)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ø MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ø MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total	
1	1773.45	3.00	2100.00	1178.55	3Ø	CABLE MC S8000	7#500 MCM	7#2/0	Q 295.00		7	Q 6.195.00	
				(CORRIENTE 750KVA)									Q 6,195.00

OPCIÓN 4: CABLE MC S8000-THHN CU CON PMC'S EN SOTANO															
CARGAS "PMC1-TN-N3"															
No.	SECCIÓN COND. AWG Ø MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (kW)	AREA (M2)	FACTOR (kW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ø MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ø MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total
1	21.20	82.00	42.80	29.91	5.60	112.00	0.05	1Ø	COBRE	#4	#8	Q15.03	Q6.15	1	Q4,201.68
2	33.60	88.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q22.72	Q6.15	1	Q6,576.44
3	21.20	84.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	COBRE	#4	#8	Q15.03	Q6.15	1	Q4,304.16
4	21.20	88.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	COBRE	#4	#8	Q15.03	Q6.15	1	Q4,509.12
5	21.20	84.50	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	COBRE	#4	#8	Q15.03	Q6.15	1	Q4,329.78
6	33.60	91.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q22.72	Q6.15	1	Q6,799.37
7	21.20	87.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	COBRE	#4	#8	Q15.03	Q6.15	1	Q4,457.88
8	33.60	91.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q22.72	Q6.15	1	Q6,762.21
9	21.20	87.50	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	COBRE	#4	#8	Q15.03	Q6.15	1	Q4,483.50
10	33.60	95.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q22.72	Q6.15	1	Q7,059.45
11	33.60	90.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q22.72	Q6.15	1	Q6,725.06
12	33.60	94.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q22.72	Q6.15	1	Q7,022.30
13	33.60	91.00	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q22.72	Q6.15	1	Q6,762.21
14	33.60	98.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q22.72	Q6.15	1	Q7,292.38
15	33.60	93.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q22.72	Q6.15	1	Q6,947.59
16	33.60	97.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q22.72	Q6.15	1	Q7,245.23
17	33.60	94.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q22.72	Q6.15	1	Q6,985.14
POTENCIA TOTAL				86.55									Q102,453.87		

CARGAS "PMC2-TN-N8"															
No.	SECCIÓN COND. AWG Ø MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (kW)	AREA (M2)	FACTOR (kW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ø MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ø MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total
1	33.60	101.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 7.505.31
2	33.60	96.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 7.170.92
3	33.60	100.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 7.468.16
4	33.60	97.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 7.208.07
5	33.60	104.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 7.728.24
6	33.60	99.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 7.393.85
7	33.60	103.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 7.691.09
8	33.60	100.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 7.431.00
9	33.60	107.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 7.951.17
10	33.60	102.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 7.616.78
11	33.60	106.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 7.914.02
12	33.60	103.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 7.653.93
13	33.60	111.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 8.248.41
14	33.60	106.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 7.914.02
15	33.60	110.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 8.211.26
16	33.60	107.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 7.951.17
17	33.60	114.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 8.471.34
18	33.60	109.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 8.136.95
19	33.60	113.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 8.434.19
20	33.60	110.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	1Ø	COBRE	#2	#8	Q 22.72	Q 6.15	1	Q 8.174.10
POTENCIA TOTAL				96.50									Q 156,273.93		

Continuación del anexo 2.

OPCIÓN 4: CABLE MC S8000-THHN CU CON PMC'S EN SOTANO															
CARGAS "PMC1-TS-N3"										POTENCIA INSTALADA					
No.	SECCIÓN COND. AWG Ó MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (KW)	AREA (M2)	FACTOR (KW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ó MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ó MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total
1	13.30	24.50	42.80	60.10	11.25	225.00	0.05	1Ø	CORRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 825.41
2	13.30	35.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,179.15
3	13.30	44.50	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,499.21
4	13.30	27.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 926.48
5	13.30	39.00	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,313.91
6	13.30	47.50	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,600.28
7	13.30	30.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,027.55
8	13.30	42.50	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,431.83
9	13.30	51.00	42.80	36.86	6.90	138.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,718.18
10	13.30	34.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,145.46
11	13.30	50.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,701.35
12	13.30	49.00	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,650.81
13	13.30	36.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,229.69
14	13.30	50.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,701.35
15	13.30	49.00	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,650.81
16	13.30	36.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,229.69
POTENCIA TOTAL					95.80									Q. 21,831.12	
CARGAS "PMC2-TS-N10"										POTENCIA INSTALADA					
No.	SECCIÓN COND. AWG Ó MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (KW)	AREA (M2)	FACTOR (KW/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG Ó MCM	CAL. COND. TIERRA AWG Ó MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total
1	13.30	53.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,802.42
2	13.30	52.00	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,751.88
3	13.30	39.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,330.76
4	21.20	56.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 2,895.06
5	13.30	55.00	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,852.95
6	13.30	42.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,431.83
7	21.20	59.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	1Ø	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 3,048.78
8	21.20	58.00	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	1Ø	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 2,971.92
9	13.30	45.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,532.90
10	21.20	58.50	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 2,997.54
11	21.20	67.00	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	1Ø	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 3,433.08
12	13.30	50.00	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,684.50
13	21.20	61.50	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 3,151.26
14	21.20	70.00	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	1Ø	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 3,586.80
15	13.30	53.00	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	1Ø	COBRE	#6	#8	Q. 9.18	Q. 6.15	1	Q. 1,785.57
16	21.20	64.50	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	1Ø	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 3,304.98
17	21.20	73.00	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	1Ø	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 3,740.52
18	21.20	57.00	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	1Ø	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 2,920.68
POTENCIA TOTAL					92.25									Q. 45,223.41	

Continuación del anexo 2.

OPCIÓN 4: CABLE MC S8000-THHN CU CON PMC'S EN SOTANO																
CARGAS "PMC3-TN-114"				POTENCIA INSTALADA												
No.	SECCIÓN COND. AWG O MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (KW)	AREA (M2)	FACTOR (KWh/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO, NEUTRO AWG O MCM	CAL COND. TIERRA AWG O MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total	
1	33.60	117.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 8,694.27	
2	33.60	112.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 8,359.88	
3	33.60	116.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 8,657.12	
4	33.60	113.00	42.80	40.33	7.55	151.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 8,397.03	
5	33.60	120.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 8,917.20	
6	33.60	115.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 8,582.81	
7	33.60	119.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 8,880.05	
8	33.60	116.00	42.80	40.33	7.55	151.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 8,619.96	
9	33.60	123.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 9,140.13	
10	33.60	118.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 8,805.74	
11	33.60	122.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 9,102.98	
12	33.60	119.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 8,842.89	
13	33.60	127.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 9,437.37	
14	33.60	122.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 9,102.98	
15	33.60	126.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 9,400.22	
16	33.60	123.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 9,140.13	
17	33.60	130.00	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 9,660.30	
18	33.60	125.50	42.80	21.37	4.00	80.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 9,325.91	
19	33.60	129.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 9,623.15	
20	33.60	126.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 9,363.06	
POTENCIA TOTAL					100.30											Q. 180,053.13
CARGAS "PMC4-TN-119"				POTENCIA INSTALADA												
No.	SECCIÓN COND. AWG O MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (KW)	AREA (M2)	FACTOR (KWh/m2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO, NEUTRO AWG O MCM	CAL COND. TIERRA AWG O MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total	
1	33.60	132.50	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 9,846.08	
2	33.60	132.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 9,846.08	
3	33.60	129.00	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 9,585.99	
4	33.60	135.50	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 10,069.01	
5	33.60	128.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 9,548.84	
6	33.60	133.50	42.80	28.31	5.30	106.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 9,920.39	
7	33.60	135.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 10,069.01	
8	33.60	138.50	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 10,291.94	
9	33.60	131.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 9,771.77	
10	33.60	136.50	42.80	28.31	5.30	106.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 10,143.32	
11	33.60	138.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 10,291.94	
12	53.50	141.50	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	10	COBRE	#1/0	#8	Q. 35.74	Q. 6.15	1	Q. 16,041.86	
13	33.60	134.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 9,994.70	
14	53.50	139.50	42.80	28.31	5.30	106.00	0.05	10	COBRE	#1/0	#8	Q. 35.74	Q. 6.15	1	Q. 15,815.12	
15	53.50	141.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	COBRE	#1/0	#8	Q. 35.74	Q. 6.15	1	Q. 16,041.86	
16	53.50	144.50	42.80	41.67	7.80	156.00	0.05	10	COBRE	#1/0	#8	Q. 35.74	Q. 6.15	1	Q. 16,381.97	
17	53.50	144.50	42.80	30.18	5.65	113.00	0.05	10	COBRE	#1/0	#8	Q. 35.74	Q. 6.15	1	Q. 16,381.97	
POTENCIA TOTAL					98.25											Q. 200,041.77

Continuación del anexo 2.

OPCIÓN 4: CABLE MC S8000-THHN CU CON PMC'S EN SOTANO																
CARGAS "PMC3-TS-N17"				POTENCIA INSTALADA												
No.	SECCIÓN COND. AWG O MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (kW)	AREA (M2)	FACTOR (Kw/M2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG O MCM	CAL. COND. TIERRA AWG O MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total	
1	21.20	72.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 3,714.90	
2	21.20	71.00	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 3,638.04	
3	21.20	58.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 2,997.54	
4	21.20	75.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 3,868.62	
5	21.20	74.00	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 3,791.76	
6	21.20	61.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 3,151.26	
7	21.20	78.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 4,022.34	
8	21.20	77.00	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 3,945.48	
9	21.20	64.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 3,304.98	
10	21.20	82.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 4,227.30	
11	21.20	81.00	42.80	28.58	5.35	107.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 4,150.44	
12	21.20	68.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 3,509.94	
13	21.20	80.50	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 4,124.82	
14	33.60	89.00	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 6,613.59	
15	21.20	72.00	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 3,689.28	
16	21.20	83.50	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 4,278.54	
17	33.60	92.00	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 6,836.52	
18	21.20	75.00	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 3,843.00	
POTENCIA TOTAL					91.60											Q. 73,708.35
CARGAS "PMC4-TS-N22"				POTENCIA INSTALADA												
No.	SECCIÓN COND. AWG O MCM (mm2)	LONGITUD (m)	CORRIENTE DEMANDADA (A)	CORRIENTE ESTIMADA (A)	CARGA (kW)	AREA (M2)	FACTOR (Kw/M2)	SISTEMA	MATERIAL DEL CONDUCTOR	CAL. CONDUCTORES VIVO - NEUTRO AWG O MCM	CAL. COND. TIERRA AWG O MCM	Costo Q. Fase + neutro	Costo Q. tierra	Número mazos	Total	
1	21.20	86.50	42.80	25.11	4.70	94.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 4,432.26	
2	33.60	95.00	42.80	24.57	4.60	92.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 7,059.45	
3	21.20	78.00	42.80	34.19	6.40	128.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 3,996.72	
4	33.30	94.50	42.80	16.83	3.15	63.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 7,022.30	
5	21.20	80.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 4,124.82	
6	33.60	93.50	42.80	45.41	8.50	170.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 6,947.99	
7	21.20	84.50	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 4,329.78	
8	33.60	96.50	42.80	45.41	8.50	170.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 7,170.92	
9	21.20	88.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	COBRE	#4	#8	Q. 15.03	Q. 6.15	1	Q. 4,509.12	
10	33.60	99.50	42.80	45.41	8.50	170.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 7,393.85	
11	33.60	91.00	42.80	34.99	6.55	131.00	0.05	10	COBRE	#2	#8	Q. 22.72	Q. 6.15	1	Q. 6,762.21	
POTENCIA TOTAL					70.55											Q. 63,749.40

Fuente: elaboración propia, empleando Excel 2020.

