

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



TESIS

**ESTANDARIZACIÓN DE DISEÑO DE CABLES DE ALUMINIO DE BAJA
TENSIÓN EN LAS PLANTAS CMSA, CDNI Y CENTELSA**

POR

BERNARDO DE LA ROSA GUAJARDO

**PARA OBTENER EL GRADO DE MAestrÍA EN INGENIERÍA
MECÁNICA CON ORIENTACIÓN EN MANUFACTURA**

JULIO, 2015

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO**



TESIS

**ESTANDARIZACIÓN DE DISEÑO DE CABLES DE ALUMINIO DE BAJA
TENSIÓN EN LAS PLANTAS CMSA, CDNI Y CENTELSA**

POR

BERNARDO DE LA ROSA GUAJARDO

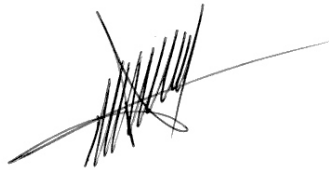
**PARA OBTENER EL GRADO DE MAestrÍA EN INGENIERÍA
MECÁNICA CON ORIENTACIÓN EN MANUFACTURA**

JULIO, 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis **“Estandarización de productos de aluminio baja tensión”**, realizada por el/la alumno Bernardo de la Rosa Guajardo, matrícula 1651265 sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ingeniería en Mecánica con orientación en Manufactura

El comité de Tesis



Dr. Facundo Almeraya Calderón
Asesor



Dra. Citlalli Gaona Tiburcio
Revisor



Dr. Francisco H. Estupiñán López
Revisor

Vo. Bo.
Dr. Simón Martínez Martínez
División de Estudios de Postgrado

San Nicolás de los Garza, Ciudad Universitaria, Julio del 2015.

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis padres

a mis hermanos

a mi novia

a mis maestros

a mis sobrinos

a mis compañeros de trabajo

y a todas las personas en Viakable que me han apoyado para cursar esta maestría.

Agradecimientos

A Dios, que me ha acompañado durante todo el camino.

A mi madre, que es mi luz y mi consciencia.

A mi padre, que formó en mí las bases de quién soy.

A mi novia Alejandra, por todo su amor y su cariño.

A mis hermanas y hermanos, por sus enseñanzas y cuidados.

Al Dr. Facundo Almeraya, por ser el guía que buscaba para concluir este proceso.

A la Dra. Patricia del Carmen Zambrano, por su atención y por su apoyo en todo el proceso de maestría.

A mis compañeros de generación, por su tiempo, su apoyo y sobre todo por sus ocurrencias.

Al Ingeniero Patricio Murga, que me ha permitido ganar muchas experiencias laborales y de aprendizaje.

Al Ingeniero José Zamudio, que me postuló para cursar esta maestría.

Al Ingeniero Héctor Gámez, por permitirme y apoyarme a concluir mis estudios.

Contenido

	Pag
LISTA DE FIGURAS.....	1
LISTA DE TABLAS.....	4
I. INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 Antecedentes.....	5
1.2 Planteamiento del Problema.....	8
1.3 Objetivos.....	10
1.4 Hipótesis.....	10
II. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1 Clasificación de Cables.....	12
2.2 El Proceso del Cable.....	36
III. METODOLOGÍA.....	48
3.1 Estandarización de Productos.....	48
3.1.1 Revisión de normatividad aplicable.....	48
3.1.2 Levantamiento de información de productos.....	53
3.1.3 Análisis comparativo de productos.....	54
3.1.4 Selección de diseño estándar.....	55
3.1.5 Definición de inversión necesaria.....	56
3.1.6 Despliegue.....	57
IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	58
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	72

Índice de figuras

Figura 1. Cable de aluminio para baja tensión [1].....	8
Figura 2. Alambre desnudo de cobre [2]	12
Figura 3. Cable desnudo de cobre [3]	14
Figura 4. Alambre de aluminio desnudo [4].....	15
Figura 5. Cable desnudo de aluminio [5]	16
Figura 6. Cable RHH Baja Tensión [6]	18
Figura 7. Cable THW Baja Tensión [7].....	20
Figura 8. Cables THWN-2 [8]	22
Figura 9. Cables XHHW-2 [9].....	23
Figura 10. Cables Armados XHHW-2 [10].....	25
Figura 11. Cables de polietileno para Protección Catódica [11]	26
Figura 12. Cable de Alambre Aislado Duplex TWD [12]	28
Figura 13. Alambre tipo intemperie (WP). [13]	29
Figura 14. Cable concéntrico Espiral [14].....	31
Figura 15. Cable de Distribución Secundaria DRS [15]	32
Figura 16. Cable Distribución Aérea (PSD) [16]	34
Figura 17. Imagen de herramental de colada continua ICV [17]	37
Figura 18. Imagen de herramental de colada continua ICV [18]	38
Figura 19. Imagen de colada continua Properzi 1980 [19].....	38
Figura 20. Descripción gráfica del proceso de Trefilado [20].....	39
Figura 21. Ejemplo de una vista interna del proceso donde observamos cómo se va reduciendo el diámetro del alambre a través de los dados [21]	40
Figura 22. Fotografía de dados y sus pastillas. [22]	41
Figura 23. Vista interior del dado de trefilado. [23]	41

Figura 24. Trefiladora gruesa de origen alemán [24].....	41
Figura 25. Ejemplo de cable y sus capas [25].....	42
Figura 26. Cableadora rígida [26].....	43
Figura 27. Proceso de extrusión [27]	44
Figura 28. Pellets de PVC natural [28]	44
Figura 29. Dado con diseño a tubo [29].....	45
Figura 30. Dado y Cabezal [30].....	46
Figura 31. Cabezal de Extrusión [31]	46
Figura 32. Extrusor [32].....	47
Figura 33. Paso de cableado. NMX J-012 [33].....	52
Figura 34. Equipo de trabajo [34].....	54
Figura 35. Carrete con desviaciones. [35]	59
Figura 36. Dibujo estándar de carrete 36". [36]	60
Figura 37. Estructura metálica. [37].....	60
Figura 38. Imagen de carrete después de correcciones. [38]	61
Figura 39. Imagen de cartoncillo protector para exportación. [39].....	61
Figura 40. Imagen de capuchón utilizado en Venezuela. [40].....	63
Figura 41. Imagen de capuchón termo contráctil utilizado en Monterrey. [41].....	63
Figura 42. Aplicación de capuchón termo-contráctil en planta ICV. [42]	64
Figura 43. Cable aluminio Baja Tensión con traza al 12% fabricado en ICV [43]	65
Figura 44. Cable aluminio Baja Tensión con traza al 6% fabricado en Monterrey [44]	65
Figura 45. Diseño de porta-dado utilizado en planta Monterrey para aplicación de trazas. [45]	66
Figura 46. Cable aluminio Baja Tensión fabricado con Silano en ICV [46]	67

Figura 47. Cable aluminio Baja Tensión fabricado con Sioplas en CMSA [47].....	67
Figura 48. Mecheros a la salida del cabezal de extrusión. [48].....	68
Figura 49. Weather o meter. [49]	69
Figura 50. Placas de PVC después de salir de la prueba de intemperismo. [50].....	69

Índice de Tablas

Tabla 1. Pruebas de calidad proceso de Colada Continua [1].....	37
Tabla 2. Pruebas de calidad proceso de Trefilado [2].....	40
Tabla 3. Pruebas de calidad proceso de Cableado [3].....	43
Tabla 4. Pruebas de calidad proceso de extrusión [4].....	45
Tabla 5. Tabla de normativa de cables (Baja Tensión) [5]	46
Tabla 6. Características dimensionales. NMX-J-002 [6]	50
Tabla 7. Características dimensionales. NMX-J-012 [7].....	51
Tabla 8. Características de construcción. NMX-J-012 [8]	51
Tabla 9. Tabla espesor de aislamiento. NMX J-010 [9].....	52
Tabla 10. Comparativa Cable URD [10].....	54
Tabla 11. Métodos y pruebas [11]	55
Tabla 12. Comparativa Cable URD-Estándar [12].....	56
Tabla 13. Identificación de problemática de estandarización de cables [13]	58
Tabla 14. Estándar de carretes asociación de aluminio. Referencia SW [14]	62
Tabla 15. Resultados de prueba de intemperismo [14]	69

Capítulo I.- Introducción

1.1.-Antecedentes

Recientemente Viakable (División de cables de Xignux) incrementó el número de sus plantas productivas al hacer la adquisición de una empresa colombiana de cables, Centelsa.

Viakable es la división de cables del grupo mexicano XIGNUX. Ésta división formada como sigue:

- Conductores Monterrey S.A. de C.V.: Primera empresa del grupo fundada en la década de los 60's, ubicada en San Nicolás de los Garza N. L..
- Conductores del Norte Internacional: Empresa adquirida en los años 90's ubicada en El Carmen, Nuevo León.
- CME: Empresa formada en la década de los 90's para la distribución comercial en USA. Ubicada en Atlanta , Georgia, USA
- Centelsa (Cables de Energía y Telecomunicaciones S.A.): Empresa adquirida en 2012 que está conformada por 2 plantas (Colombia / Venezuela)

Formado por esta empresa incluye 1 planta productiva en Cali, Colombia y otra en Valencia, Venezuela. Que se agregaron a las ya existentes plantas de Conductores Monterrey S.A. de C.V. y Conductores del Norte Internacional S.A.

A principios del año 2014 Viakable arranca un proyecto para balancear la capacidad productiva en las diferentes plantas (actuales y adquiridas) y así atender los diferentes mercados fabricando desde cualquier unidad antes mencionada. Este proyecto se decide arrancar con la venta de cables de aluminio baja tensión, principalmente los cables URD. Sin embargo desde los primeros pedidos colocados por CME, marca con la que se comercializa el cable de Viakable en Estados Unidos, se recibieron reclamos de clientes por recibir un mismo tipo de producto con diferentes atributos.

Los cables de aluminio están formados por un cable de aleación de aluminio AA-8176, en cableado concéntrico compacto, cinta separadora poliéster (opcional), con aislamiento de polietileno de cadena cruzada (XLPE). Estos cables deben de cumplir las siguientes especificaciones, características y aplicaciones.

- Especificaciones

UL 44 Rubber-Insulated wires and cables

ICEA S-95-658 Standard for non-shielded cables rated 2000 V or less for the distribution of electrical energy.

Certificaciones

- Principales aplicaciones

Los cables de aluminio Viakon® 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.

- Características

Cable aprobado por UL (File: E102546)

Tensión máxima de operación: 600 V.

Se fabrican en calibres de 13,30 mm² a 380,0 mm² (6 AWG a 750 kcmil).

Resistente a la luz solar en color negro.

Opciones: Marcado TC para instalación en charola para calibres 1/0 y mayores, disponible con características de resistencia a la propagación de la flama vertical (VW-1), Resistente al aceite I o II y Resistente a gasolina.

Temperaturas máximas de operación en el conductor:

90°C En ambiente seco o húmedo

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 100 h 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.

Ventajas

Apropiados para instalarse en lugares húmedos, o secos.

Ofrecen excelentes características eléctricas, físicas y mecánicas.

Menor diámetro que permite la instalación de un mayor número de cables en un mismo tubo conduit.

Su aislamiento termofijo ofrece mayor estabilidad térmica.



Figura 1. Cable de aluminio para baja tensión [1].

1.2 Planteamiento del problema

Existen constantes reclamos de clientes por recibir cables con diferentes especificaciones de calidad siendo estos de la misma marca (CME). Esto se ha traducido en pedidos cancelados y/o rechazos de producto ya fabricado.

Para dar un ejemplo; uno de los clientes de Viakable observó un ligero cambio en el color de la cubierta aislante del cable, esto significó un motivo de

rechazo. Aunado a esto se alarmó por recibir un producto con diferente certificado de origen, en este caso Venezuela y no México.

Se puede enlistar que a la fecha se han detectado los siguientes problemas o defectos de calidad:

- Diferente tamaño en logo de carrete.
- El tamaño de carrete es diferente a lo especificado.
- Capuchones termoencogibles para protección en puntas no se mantienen sujetos al cable.
- La traza/franja para identificar el cable tiene diferente tamaño al de los productos que normalmente reciben los clientes en USA.
- El acabado del cable es diferente; más brillante del que se recibe en Monterrey.
- La marca de la leyenda en los cables es diferente; Venezuela utiliza marca con cintilla de tinta y Monterrey utiliza rueda de latón para marcar con calor.
- El formato de las etiquetas es diferente.

1.3 Objetivo

Estandarizar los diseños de cables de aluminio de baja tensión en las diferentes plantas productivas de Viakable.

1.3.1 Objetivos específicos

- Estudiar la normatividad aplicable de las familias de productos en cuestión, según mercado.
- Obtener una tabla de resultados con los rangos y especificaciones de las familias de productos de acuerdo a las normas requeridas.
- Obtener resultados que permitan comparar con las especificaciones de diseños de producto por planta.
- Generar resultados de inversión necesaria para estandarizar estos productos.
- Desplegar las hojas de producto con diseños óptimos de los cables de baja tensión a todas las plantas de la empresa Viakable.

1.4 Hipótesis

Con este proyecto de investigación, se estudiara y se logrará tener estandarizados los diseños de los cables de baja tensión de todas las plantas de Viakable, con ello, el cliente recibirá el mismo producto sin importar el origen de fabricación.

Con este proyecto se eliminarán los rechazos por diferencias en calidad entre plantas.

Por lo anterior esta investigación va enfocada a la estandarización de los diseños de los cables de aluminio de baja tensión cuyos materiales son empleados en las plantas productivas de la empresa viakable.

En el capítulo 1 Introducción; se da un panorama del proyecto.

En el capítulo 2 Marco Teórico; se lleva a cabo una revisión de la literatura de los tipos de cables de baja tensión, los cuales son empelados en la industria eléctrica, también se analiza el proceso de fabricación, así como las aplicaciones, especificaciones y características generales de los mismos.

Metodología, capítulo 3 se presenta la descripción detallada de normatividad empleada dentro de la empresa Viakable, analizando las materias primas, diseños, proceso y clasificación de este tipo de cables.

En los *Resultados y Análisis*, capítulo 4, se incluyen las gráficas, tablas, datos obtenidos del estudio de estandarización de los cables de baja tensión

Finalmente en el capítulo 5, *Conclusiones Y Recomendaciones*, se deriva directamente de los resultados obtenidos y los objetivos planteados desde un inicio.

Capítulo II. Marco Teórico

En este capítulo se incluye información de los cables, sus clasificaciones generales, aplicaciones y procesos. El objetivo del mismo, es dar al lector un amplio panorama del mundo de los cables, cómo se fabrican y en qué se utilizan.

2.1 Clasificación de Cables

Familia Alambres y Cables Desnudos

A continuación se demuestran los productos que principalmente se manejan en Conductores Monterrey. En cada uno de ellos, se especifica la norma en la cual está basado para su fabricación y aplicaciones de cada tipo de cable.

Alambres de Cobre Desnudo



Figura 2. Alambre desnudo de cobre [2].

Descripción General:

Alambre de cobre desnudo en temple duro, semiduro o suave.

Especificaciones:

NOM-063-SCFI Productos eléctricos - conductores - requisitos de seguridad.

NMX-J-002-ANCE Alambres de cobre duro para usos eléctricos.

NMX-J-035-ANCE Alambres de cobre semiduro para usos eléctricos.

NMX-J-036-ANCE Alambres de cobre suave para usos eléctricos.

ASTM B-1 Standard Specification for Hard-Drawn Copper Wire.

ASTM B-2 Standard Specification for Medium-Hard-Drawn Copper Wire.

ASTM B-3 Standard Specification Soft or Annealed Cooper Wire.

Principales Aplicaciones:

Los alambres de cobre en función de su temple se usan sobre aisladores en líneas de

distribución eléctrica.

En conexiones de neutros y puestas a tierra de equipos y sistemas eléctricos.

Características:

El material de los alambres es cobre de alta pureza con un contenido mínimo de 99,9% de cobre.

Cable de Cobre Desnudo



Figura 3. Cable desnudo de cobre [3].

Descripción General:

Cable de cobre desnudo en temple duro, semiduro o suave.

Especificaciones:

NOM-063-SCFI Productos eléctricos conductores - requisitos de seguridad.

NMX-J-012-ANCE Cables de cobre con cableado concéntrico para usos eléctricos.

ASTM B-8 Standard Specification For Concentric-Lay-Stranded Copper Conductors, hard, Medium-hard or soft.

Principales Aplicaciones:

Los cables de cobre en función de su temple y construcción, se usan sobre aisladores en líneas aéreas de distribución eléctrica.

En conexiones de neutros y puestas a tierra de equipos y sistemas eléctricos.

Como conductores principales de conductores eléctricos aislados.

Características:

El material de los cables, es cobre de alta pureza con un contenido mínimo de 99,9% de cobre.

Los cables se fabrican en construcción concéntrica.

Temple duro, semiduro o suave dependiendo de las aplicaciones.

Alambres y Cables de Aluminio Desnudo AAC

Figura 4. Alambre de aluminio desnudo [4].

Descripción General:

Alambre y cable de aluminio 1 350 desnudo en temple duro, AAC (All Aluminum Conductor).

Especificaciones:

NOM-063-SCFI Productos eléctricos conductores-requisitos de seguridad.

NMX-J-027-ANCE Alambres de aluminio duro para usos eléctricos.

NMX-J-032-ANCE Cables de aluminio con cableado concéntrico para usos eléctricos.

ASTM B-230 Standard Specification for Aluminum 1 350-H19 Wire for Electrical Purpose.

Principales Aplicaciones:

Los alambres y cables Viakon® de aluminio desnudo se usan en distribución aérea, en zonas urbanas y por lo general en instalaciones con distancias interpostales cortas.

Los alambres AAC son utilizados en amarres de los conductores al aislador.

Características:

Los alambres y cables de aluminio se fabrican con aleación 1 350, en temple duro (H19).

Los cables de aluminio desnudo (AAC) se construyen en cableado concéntrico.

Cable de Aluminio Desnudo con Alma de Acero



Figura 5. Cable desnudo de aluminio [5].

Descripción General:

Cable de aluminio 1,350 desnudo en temple duro con alma de acero galvanizado, tipo ACSR.

Especificaciones:

NOM-063-SCFI Productos eléctricos- conductores - requisitos de seguridad.

NMX-J-058 Cable de aluminio con cableado concéntrico y alma de acero (ACSR).

ASTM B-232 Concentric Lay Stranded Aluminum Conductors, Coated Steel Reinforced.

Principales Aplicaciones:

Los cables ACSR encuentran su campo de aplicación en las líneas aéreas de transmisión y subtransmisión de energía eléctrica a grandes distancias.

Los cables ACSR también pueden ser aislados o semiaislados cuando se utilizan en zonas arboladas.

Características:

Los cables ACSR se construyen en cableado concéntrico con un alma formada por uno o varios

alambres de acero galvanizado.

Sobre el alma de acero se colocan los alambres de aluminio aleación 1 350, temple duro (H19).

Alambres y Cables para Baja Tensión

Alambres y Cables RHH / RHW-2 EPR + CP

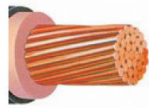


Figura 6. Cable RHH Baja Tensión [6].

Descripción General:

Alambre o cable de cobre suave, con aislamiento termofijo de etileno propileno (EPR) y cubierta termofija de polietileno clorado (CPE) o polietileno clorosulfonado (CSPE o CP).

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 600 V.

Principales Aplicaciones:

Los alambres y cables RHH/RHW-2 son productos de uso general para sistemas de distribución a baja tensión e iluminación, en instalaciones industriales con atmósferas altamente contaminadas y corrosivas como siderúrgicas, plantas químicas, fábricas de cemento, refinerías, etc.

Por cumplir las pruebas correspondientes, portan las marcas SR y 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 o húmedo.

130°C En emergencia.

250°C En corto circuito.

Alambres y Cables THW-2-LS / THW-LS RAD RoHS



Figura 7. Cable THW Baja Tensión [7]

Descripción General:

Alambre o cable de cobre suave, con aislamiento termoplástico de policloruro de vinilo (PVC). 600 V

Especificaciones:

NOM-001-SEDE Instalaciones eléctricas (utilización).

NOM-063-SCFI Productos eléctricos- conductores - requisitos de seguridad.

NMX-J-010-ANCE Conductores con aislamiento termoplástico a base de policloruro de vinilo, para instalaciones hasta 600V.

Directiva RoHS 2002/95/CE, directiva de la Comunidad Europea para el control del uso de sustancias peligrosas.

Principales Aplicaciones:

Los alambres y cables Viakon® THW-2-LS / THHW-LS RAD® RoHS son productos de uso general para sistemas de distribución a baja tensión e

iluminación, en edificios públicos y habitacionales, construcciones industriales, centros recreativos y comerciales.

La norma de instalaciones eléctricas exige su uso en lugares de alta concentración pública.

Por sus excelentes características de no propagación de incendio, baja emisión de humos y bajo contenido de gas ácido, se recomiendan para áreas confinadas donde se concentran grandes cantidades de personas como teatros, oficinas, hospitales, etc.

Puede instalarse en conduit, ductos o charolas.

Aprobados para usarse en charolas, portan la marca SR y CT según requisitos de la NOM-001-SEDE.

Características:

Tensión máxima de operación: 600 V.

No propagación del incendio, baja emisión de humos y bajo contenido de gas ácido.

Temperaturas máximas de operación en el conductor:

60°C En presencia de aceite.

90°C En ambiente seco, húmedo o mojado

105°C En emergencia.

150°C En corto circuito.

Alambres y Cables THWN-2 / THHN-2 RAD

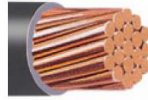


Figura 8. Cables THWN-2 [8].

Descripción General:

Alambre o cable de cobre suave, con aislamiento termoplástico de policloruro de vinilo (PVC) y sobrecapa protectora de poliamida (nylon).600 V

Especificaciones:

NOM-001-SEDE Instalaciones eléctricas (utilización).

NOM-063-SCFI Productos eléctricosconductores - requisitos de seguridad.

NMX-J-010-ANCE Conductores con aislamiento termoplástico a base de policloruro de vinilo, para instalaciones hasta 600V.

Principales Aplicaciones:

Los alambres y cables THWN-2 / THHN RAD 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.

Por cumplir las pruebas correspondientes, portan las marcas CT y SR 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.

Cables XHHW -2



Figura 9. Cables XHHW-2

Descripción General:

Alambre o cable de cobre suave o aluminio, con aislamiento de polietileno de cadena cruzada (XLPE). 600 V

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 600 V.

Principales Aplicaciones:

Los alambres y cables XHHW-2 son productos de uso general empleados en sistemas de distribución de baja tensión e iluminación, en edificios públicos e 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 las marcas SR y 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.

Cables XHHW -2 tipo MC-LS



Figura 10. Cables Armados XHHW-2 [10].

Descripción General:

Cable ensamblado en fábrica de tres o cuatro conductores, formado por un conductor de aleación de aluminio AA-8176, cinta separadora poliéster (opcional), con aislamiento individual de polietileno de cadena cruzada tipo XHHW-2, llevan un cable desnudo para puesta a tierra, cinta reunidora, armadura engargolada de fleje de aleación de aluminio.

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.

UL 1569 Metal-Clad Cables.

Principales Aplicaciones:

En circuitos de energía y alumbrado.

En acometidas, alimentadores y circuitos derivados.

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.

Las condiciones de corto circuito en el conductor se basan en lo indicado por la norma ICEA P-32-382.

Cable para Protección Catódica tipo PE



Figura 11. Cables de polietileno para Protección Catódica [11].

Descripción General:

Conductor formado por un cable de cobre suave y aislamiento termoplástico de polietileno de baja densidad (PEBD) en color negro.

Especificaciones:

Los cables Viakon® para protección catódica tipo PE, cumplen con la siguiente especificación:

ICEA S-95-658 Standard for non shielded Power cables rated 2000 Volts or less for the Distribution of electrical Energy.

Principales Aplicaciones:

Los cables para protección catódica son generalmente usados para proteger sistemas de tuberías subterráneas, apilamiento de acero, muelles y compuertas, tanques de corrales de ganado, almacenes de embarcaderos, tuberías de cables para H.V. y cualquier otra estructura metálica directamente enterrada o sumergida en agua.

Características:

Tensión máxima de operación: 600 V.

Temperatura máxima de operación en el conductor: 75°C.

Cables de Distribución Aérea y Subterránea

Alambre y Cables Dúplex tipo TWD



Figura 12. Cable de Alambre Aislado Duplex TWD [12].

Descripción General:

Alambre o cable dúplex paralelo formado por dos conductores de cobre suave, paralelos, con aislamiento individual termoplástico de policloruro de vinilo (PVC) y unidos por una pista del mismo material.

Especificaciones:

NOM-063-SCFI Productos eléctricos-conductores-requisitos de seguridad.

NMX-J-298-ANCE Conductores dúplex (TWD) con aislamiento termoplástico para instalaciones hasta 600V.

CFE E0000-04 Conductores dúplex con aislamiento termoplástico para instalaciones hasta 600 V para 60°C.

Principales Aplicaciones:

Los alambres y cables TWD dúplex tienen su principal aplicación como acometida aérea de servicios secundarios.

En instalaciones eléctricas permanentes o temporales de alumbrado exterior en casas habitación.

Características:

Tensión máxima de operación: 600 V.

Temperatura máxima de operación en el conductor: 60°C.

Los conductores son de cobre suave (alambre o cable).

Alambre y cable con características de no propagación de incendio.

Aislamiento color negro que lo hace resistente a la luz solar.

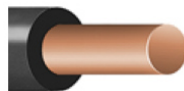
Alambre y Cables tipo Intemperie (WP)

Figura 13. Alambre tipo intemperie (WP). [13]

Descripción General:

Conductor que puede ser un alambre o cable de cobre semiduro, con aislamiento termoplástico de polietileno de alta densidad (PEAD) en color negro.

Especificaciones:

NOM-063-SCFI Productos eléctricos-conductores-requisitos de seguridad.

NMX-054-ANCE Alambres y cables aislados con polietileno, para instalaciones tipo intemperie en baja tensión.

ICEA S-95-658 Standard for Nonshielded Power Cable Rated 2000 volts or less for the Distribution of Electrical Energy.

Principales Aplicaciones:

Los alambres y cables tipo intemperie son productos de uso general usados en sistemas de distribución aérea de energía eléctrica en baja tensión.

Características:

Tensión máxima de operación: 600 V.

Temperatura máxima de operación en el conductor: 75°C.

Conductor de cobre en temple semiduro.

Aislamiento color negro que lo hace resistente a la luz solar.

Cable Concéntrico Espiral



Figura 14. Cable concéntrico Espiral [14]

Descripción General:

Alambre o cable de cobre suave, con aislamiento termoplástico de policloruro de vinilo (PVC), rodeado concéntricamente por un neutro a base de alambres de cobre desnudo suave, dispuestos en forma helicoidal y cubierta termoplástica de polietileno negro de baja densidad (PEBD).

Especificaciones:

NOM-063-SCFI Productos eléctricos-conductores-requisitos de seguridad.

NMX-J-028-ANCE Cables concéntricos tipo espiral para acometida aérea a baja tensión hasta 600 V.

CFE E0000-11 Cables concéntricos tipo espiral.

LFC-COM-001 Cable CCE.

Principales Aplicaciones:

El cable concéntrico espiral tiene su aplicación como acometida aérea de servicios secundarios.

Características:

Tensión máxima de operación: 600 V.

Temperatura máxima de operación en el conductor: 60°C.

Conductor de cobre suave en alambre o cable.

Cubierta color negro que lo hace resistente a la luz solar.

Cable de Distribución Secundaria (DRS) 600 V/75°C

Figura 15. Cable de Distribución Secundaria DRS [15].

Descripción General:

Cable formado por uno, dos o tres conductores de cobre o aluminio, con aislamiento individual de polietileno de alta densidad (PEAD) en color

negro, reunidos entre sí con un conductor neutro aislado con polietileno de alta densidad (PEAD) en color blanco.

Especificaciones:

NRF-052-CFE. Cables subterráneos para 600V con aislamiento de polietileno de cadena cruzada o de alta densidad.

Principales Aplicaciones:

Estos cables se usan en sistemas de distribución subterránea e híbridas de energía eléctrica en baja tensión.

Puede ser instalado en ductos o directamente enterrado.

En instalaciones eléctricas permanentes o temporales de alumbrado en general.

Características:

Tensión máxima de operación: 600 V.

Temperatura máxima de operación en el conductor: 75°C.

Los conductores de cobre se fabrican en temple suave y los de aluminio con aleación 1350 en temple duro (H19).

Se fabrican en calibres de 8.367 a 177.3 mm² (8 AWG a 350 kcmil).

El color del aislamiento de los conductores de fase es negro, que lo hace resistente a la intemperie.

Cable Distribución Aérea (PSD)

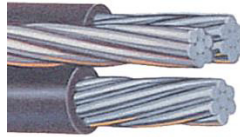


Figura 16. Cable Distribución Aérea (PSD) [16].

Descripción General:

Cable formado por uno, dos o tres conductores de cobre o aluminio, con aislamiento individual termoplástico de polietileno de alta densidad (PEAD) en color negro, dispuestos helicoidalmente alrededor de un conductor-neutro mensajero desnudo de cobre o aluminio.

Especificaciones:

NOM-063-SCFI Productos eléctricos-conductores-requisitos de seguridad.

NMX-J-061-ANCE Cables multiconductores para distribución aérea ó subterránea a baja tensión.

CFE E0000-09 Conductores múltiples para distribución aérea hasta 600 V, 75°C.

LFC GDD-030 Cable BM Cu.

Principales Aplicaciones:

Estos cables se usan en sistemas de distribución aérea de energía eléctrica en baja tensión.

Como acometida aérea de servicios secundarios.

En instalaciones eléctricas permanentes o temporales de alumbrado en general.

Características:

Tensión máxima de operación: 600 V.

Temperatura máxima de operación en el conductor: 75°C.

Los conductores aislados de cobre se fabrican en temple suave y el conductor desnudo en temple duro o semiduro (CFE).

Los conductores aislados y el desnudo de aluminio se fabrican con aleación 1 350 en temple duro (H19).

Los conductores desnudos de ACSR se fabrican con aluminio aleación 1 350 en temple duro (H19) y alma de acero. Aislamiento color negro que lo hace resistente a la luz solar.

2.2 El Proceso del Cable

Colada Continua

Descripción

Se llama proceso de colada continua al proceso de fundición del lingote de cobre. Los lingotes son depositados en el horno para ser fundidos, una vez fundido el cobre es trasladado a través de canales que llevan el metal líquido, en esta zona es sumamente importante mantener el flujo laminar para evitar generar burbujas. [2]

El metal pasa a través de un proceso de desgasificado, una zona de refinación de grano y posterior a esto a una etapa de filtración.

Una vez que el metal es correctamente filtrado, está listo para entrar al disco donde será compactado mientras recibe un baño de agua de enfriamiento para reducir la temperatura y solidificar.

Una vez que se ha formado la barra de cobre es necesario pasar a un proceso de “preparación de la barra” donde se hace un enderezado, se controla y se ajusta la temperatura con el horno de inducción y se hace un fresado en la cara superior.

Una vez que la barra está correctamente preparada es momento de que entre al tren de laminación, en este paso el metal es forzado a través de rodillos de carburo de tungsteno que van reduciendo el diámetro del alambre gradualmente hasta llegar al diámetro deseado.

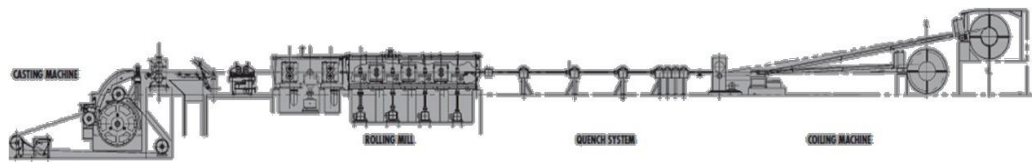


Figura 17. Imagen de herramental de colada continua ICV [17].

Especificaciones a cumplir [3] [4]

Pruebas de Calidad	
Prueba	Equipo/Técnica Utilizada
Conductividad	Puente Kelvin
Esfuerzo y % Elongación	Máquina Universal de pruebas mecánicas
Análisis Químico	Espectrómetro de Chispa
Calidad Superficial	Defectomat (Eddy Current)
Macroestructura	Cortadora de disco, ataque químico y microscopio.
RPT	Prueba de porosidad
Maquinado	Torno

Tabla 1. Pruebas de calidad proceso de Colada Continua [1]

Herramental



Figura 18. Imagen de herramental de colada continua ICV [18].

Equipamiento [4]



Figura 19. Imagen de colada continua Properzi 1980 [19].

Proceso de Trefilado

Se llama trefilado al proceso de reducir el diámetro de un alambre tantas veces sea necesario.

Para lograr esto, el alambre, afectado por una fuerza de tiro, deberá pasar a través de varios dados de diamante que no dañen la superficie del metal y mantengan la forma redonda y el diámetro deseado. Durante todo su recorrido, el alambre está siendo lubricado por un aceite lubricante o emulsión en base de agua para reducir la fricción, reducir la temperatura y cuidar el acabado. [6]

Descripción

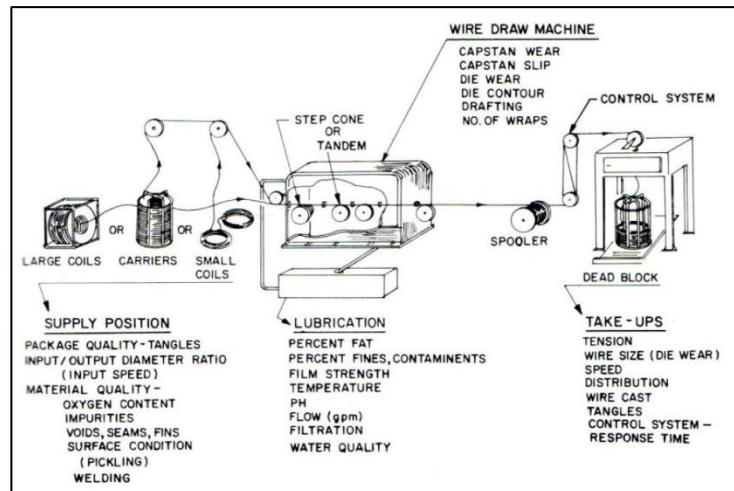


Figura 20. Descripción gráfica del proceso de Trefilado [20].[6]

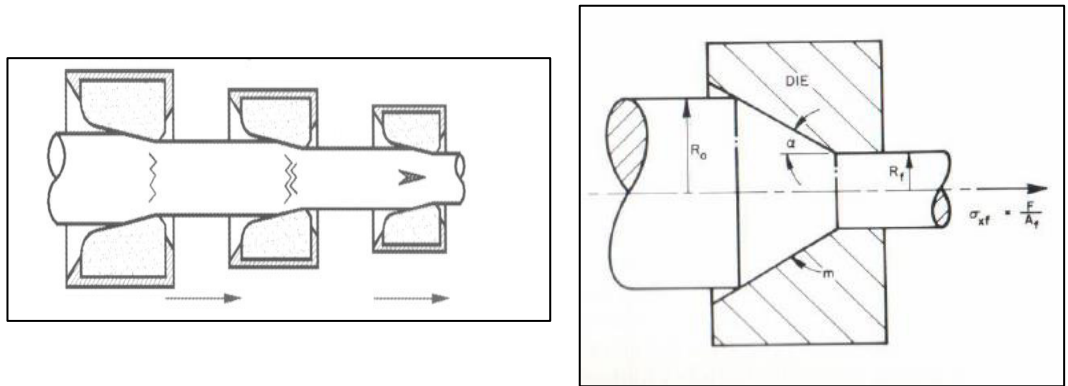


Figura 21. Ejemplo de una vista interna del proceso donde observamos cómo se va reduciendo el diámetro del alambre a través de los dados [21].[6]

Especificaciones a cumplir [7]

Pruebas de Calidad	
Prueba	Equipo/Técnica Utilizada
% Elongación	Máquina Universal de pruebas mecánicas
Calidad Superficial	Microscopio
Diámetro	Medidor Láser de diámetros

Tabla 2. Pruebas de calidad proceso de Trefilado [2]

Herramental [8] [9]



Figura 22. Fotografía de dados y sus pastillas. [22]

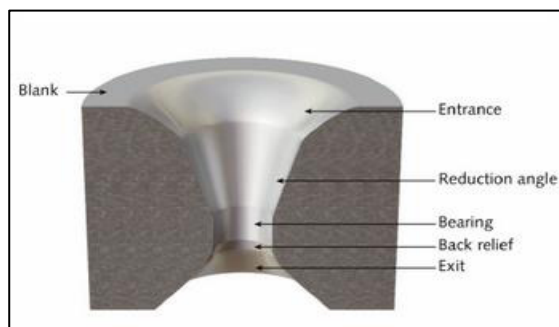


Figura 23. Vista interior del dado de trefilado. [23]

Equipamiento [10]



Figura 24. Trefiladora gruesa de origen alemán [24].

Proceso de Cableado

Descripción

El proceso de cableado sencillamente consta de unir alambres longitudinalmente mientras se aplica una torsión para formar grupos de alambres denominados cables. [11]

Los cables pueden ser formados con diferente # de alambres y diámetros [12]

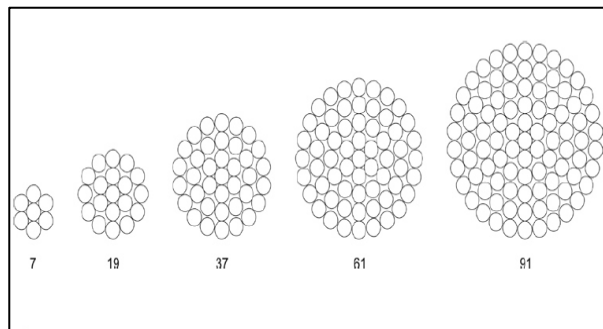


Figura 25. Ejemplo de cable y sus capas [25].

Especificaciones a cumplir [12]

Pruebas de Calidad	
Prueba	Equipo/Técnica Utilizada
Conductividad	Puente Kelvin

Diámetro	Micrómetro de exteriores / Vernier
Esfuerzo y % Elongación	Máquina Universal de pruebas mecánicas
Paso	Vernier

Tabla 3. Pruebas de calidad proceso de Cableado [3]

Equipamiento

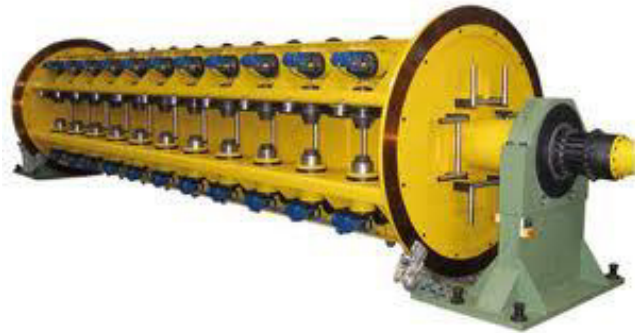


Figura 26. Cableadora rígida [26]

Proceso de Extrusión

Descripción

El proceso por el cual es aplicado el aislamiento es conocido como el proceso de extrusión (forrado) consiste en cubrir (aislar) con compuestos termoplásticos o termo fijos al cable desnudo (Cu o Al), el espesor requerido está indicado en la norma con la cual se fabrique el cable. [14]

El espesor y acabado es definido por el herramental en este caso un dado de salida, el cual va armado dentro del cabezal de la extrusora.

El material ingresa a la extrusora en forma de pellets a través de un cilindro llamado barril; este barril está dividido en varias secciones o zonas con diferente temperatura. Es en este barril en dónde el material se funde y es empujado por un tornillo de extrusión que hace llegar el compuesto fundido hasta el cabezal.

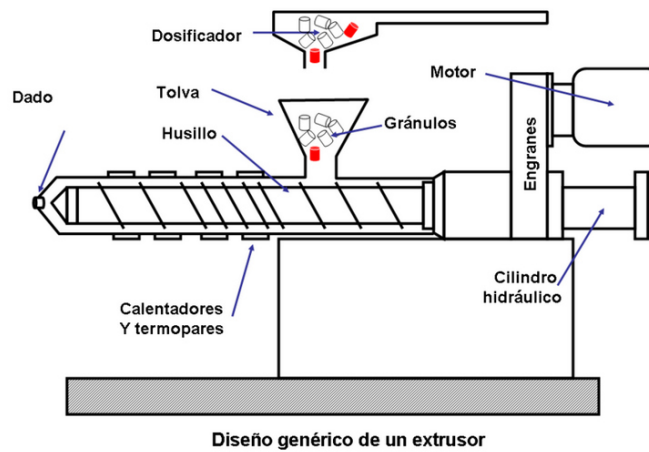


Figura 27. Proceso de extrusión [27]



Figura 28. Pellets de PVC natural [28]

Especificaciones a cumplir (Métodos de prueba)

Pruebas de Calidad [15]	
Prueba	Equipo/Técnica Utilizada
Diámetro	Vernier
Espesor de aislamiento	Vernier
Esfuerzo y % Elongación	Máquina Universal de pruebas mecánicas

Tabla 4. Pruebas de calidad proceso de extrusión [4]

Herramental

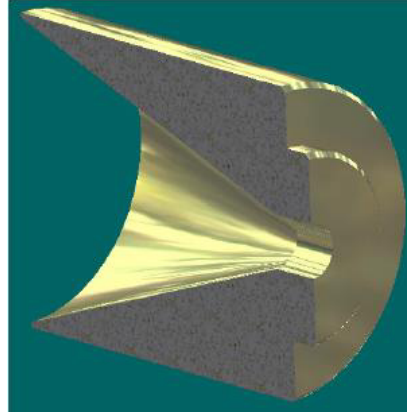


Figura 29. Dado con diseño a tubo [29]

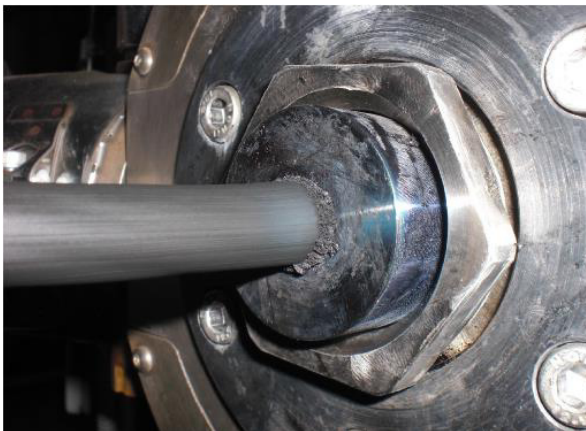


Figura 30. Dado y Cabezal [30]

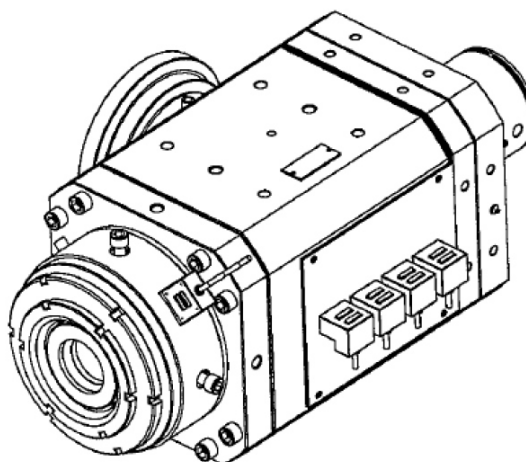


Figura 31. Cabezal de Extrusión [31] [16]

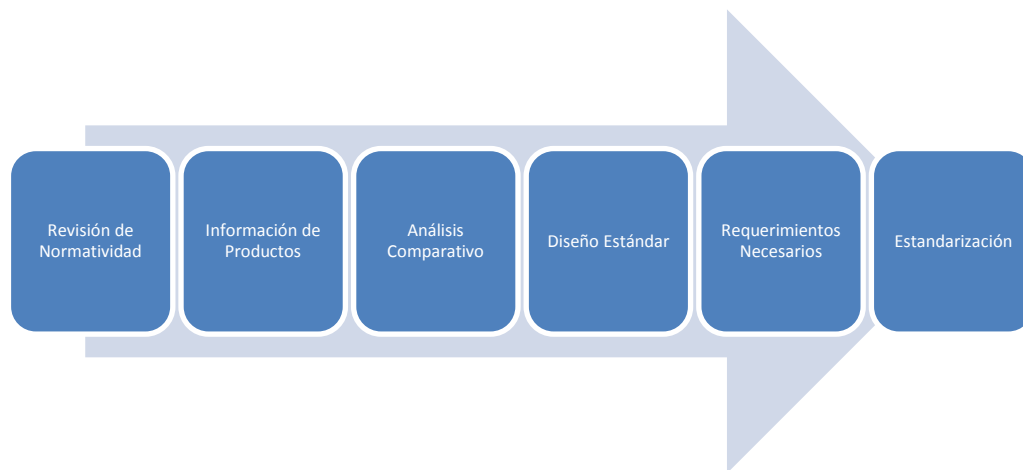
Equipamiento



Figura 32. Extrusor [32]

Capítulo II. Metodología

Para llevar a cabo el proyecto de estandarización de productos se siguió la siguiente metodología.



3.1 Estandarización de Productos

3.1.1 Revisión de normatividad aplicable.

En este primer paso de la metodología se revisó la normatividad que ampara a los productos que decidimos estandarizar. El objetivo de este paso es entender lo que cada norma pide para el tipo de cable y poder tener un marco de referencia normalizado. Con esto generamos un rango de tolerancias de las especificaciones de los productos acorde a los organismos internacionales.

Como se especificó en el capítulo de marco teórico se consultaron las siguientes normas:

Listado de Normas
<ul style="list-style-type: none"> • NOM-001-SEDE Instalaciones eléctricas (utilización). [17] • NOM-063-SCFI Productos eléctricos - conductores - requisitos de seguridad. [18] • NMX-J-002-ANCE Alambres de cobre duro para usos eléctricos. [19] • NMX-J-010-ANCE Conductores con aislamiento termoplástico a base de policloruro de vinilo, para instalaciones hasta 600V. [20] • NMX-J-012-ANCE Cables de cobre con cableado concéntrico para usos eléctricos. [21] • NMX-J-027-ANCE Alambres de aluminio duro para usos eléctricos. [22] • NMX-J-028-ANCE Cables concéntricos tipo espiral para acometida aérea a baja tensión hasta 600 V. [23] • NMX-J-032-ANCE Cables de aluminio con cableado concéntrico para usos eléctricos. [24] • NMX-J-035-ANCE Alambres de cobre semiduro para usos eléctricos. [25] • NMX-J-036-ANCE Alambres de cobre suave para usos eléctricos. [26] • NMX-054-ANCE Alambres y cables aislados con polietileno, para instalaciones tipo intemperie en baja tensión. [27] • NMX-J-058 Cable de aluminio con cableado concéntrico y alma de acero (ACSR). [28] • NMX-J-061-ANCE Cables multiconductores para distribución aérea ó subterránea a baja tensión. [29] • 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 600 V. [30] • NMX-J-ANCE Conductores dúplex (TWD) con aislamiento termoplástico para instalaciones hasta 600V. [31] • ASTM B-1 Standard Specification for Hard-Drawn Copper Wire. [32] • ASTM B-2 Standard Specification for Medium-Hard-Drawn Copper Wire. [33] • ASTM B-3 Standard Specification Soft or Annealed Cooper Wire. [34] • ASTM B-8 Standard Specification For Concentric-Lay-Stranded Copper Conductors, hard, Medium-hart or soft. [35] • ASTM B-230 Standard Specification for Aluminum 1 350-H19 Wire for Electrical Purpose. [36] • ASTM B-232 Concentric Lay Stranded Aluminum Conductors, Coated Steel Reinforced. [37] • ICEA S-95-658 Standard for non-shielded Power cables rated 2000 Volts or less for the Distribution of electrical Energy. [38] • UL 1569 Metal-Clad Cables. [39] • CFE E0000-04 Conductores dúplex con aislamiento termoplástico para instalaciones hasta 600 V para 60°C. [40] • CFE E0000-09 Conductores múltiples para distribución aérea hasta 600 V, 75°C. [41] • CFE E0000-11 Cables concéntricos tipo espiral. [42] • NRF-052-CFE. Cables subterráneos para 600V con aislamiento de polietileno de cadena cruzada o de alta densidad. [43]

Tabla 5. Tabla de normativa de cables (Baja Tensión) [5]

Las normas anteriores especifican desde datos de fabricación como son los diámetros de los alambres, el paso de cableado, aislamiento mínimo hasta los métodos de prueba y especificaciones al momento de la instalación.

En el capítulo de marco teórico, se explicaban los principales parámetros o especificaciones por proceso en la fabricación de cable, a continuación se muestran las tablas:

Diámetro de alambre

Designación del conductor			Diámetro nominal del alambre mm	Esfuerzo por tensión a la ruptura nominal MPa	Alargamiento por tensión a la ruptura nominal %
Internacional mm ²	AWG mm ² Calibre				
120	--	--	12,290	335	3,8
--	107	4/0	11,684	340	3,8
95	--	--	10,930	345	3,4
--	85,0	3/0	10,404	350	3,3
70	--	--	9,280	360	2,8
--	67,4	2/0	9,288	365	2,8
--	53,5	1/0	8,252	375	2,4
50	--	--	7,720	375	2,4
35	--	--	6,640	385	2,0
--	33,6	2	6,543	396	2,0
25	--	--	5,640	406	1,6
--	21,2	4	5,189	415	1,7
16	--	--	4,480	425	1,6
--	13,3	6	4,115	430	1,4
10	--	--	3,580	435	1,3
--	9,37	8	3,264	440	1,3
6	--	--	2,740	445	1,2
--	5,26	10	2,588	445	1,2
4	--	--	2,240	450	1,1
--	3,31	12	2,052	455	1,1
2,5	--	--	1,770	455	1,0
--	2,08	14	1,628	455	1,0
1,5	--	--	1,380	455	1,0
--	1,31	16	1,250	460	1,0
1	--	--	1,130	460	1,0
--	0,823	18	1,024	460	1,0
0,75	--	--	0,970	460	1,0

Tabla 6. Características dimensionales. NMX-J-002 [6]

Diámetro y construcción de conductor

Designación mm ²	Diámetro máximo de alambres mm	Resistencia eléctrica máxima a 20 °C Ω/km	
		Cobre sin estañar	Cobre estañado
0,5	0,21	39,0	40,1
0,75	0,21	26,0	26,7
1	0,21	19,5	20,0
1,5	0,26	13,3	13,7
2,5	0,26	7,98	8,21
4	0,31	4,95	5,09
6	0,31	3,30	3,39
10	0,41	1,91	1,95
16	0,41	1,21	1,24
25	0,41	0,780	0,795
35	0,41	0,554	0,565
50	0,41	0,386	0,393
70	0,51	0,272	0,277
95	0,51	0,206	0,210
120	0,51	0,161	0,164
150	0,51	0,129	0,132
185	0,51	0,106	0,108
240	0,51	0,080 1	0,081 7
300	0,51	0,064 1	0,065 4
400	0,51	0,048 6	0,049 5
500	0,61	0,038 4	0,039 1
630	0,61	0,028 7	0,029 2

Tabla 7. Características dimensionales. NMX-J-012 [7]

Designación mm ²	Número mínimo de alambres			Resistencia máxima a 20 °C Ω/km		
	Concéntrico normal y comprimido	Concéntrico compacto	Sectorial y segmental	Cobre sin estañar	Cobre estañado	Aluminio o aleación de aluminio
0,5	7	---	---	36,0	36,7	---
0,75	7	---	---	24,5	24,8	---
1	7	---	---	18,1	18,2	---
1,5	7	6	---	12,1	12,2	---
2,5	7	6	---	7,41	7,56	---
4	7	6	---	4,61	4,70	---
6	7	6	---	3,08	3,11	---
10	7	6	---	1,83	1,84	3,08
16	7	6	---	1,15	1,16	1,91
25	7	6	6	0,727	0,734	1,20
35	7	6	6	0,524	0,529	0,868
50	19	6	6	0,387	0,391	0,641
70	19	12	12	0,268	0,270	0,443
95	19	15	15	0,193	0,195	0,320
120	37	18	18	0,153	0,154	0,253
150	37	18	18	0,124	0,126	0,206
185	37	30	30	0,099 1	0,100	0,164
240	61	34	34	0,075 4	0,076 2	0,125
300	61	34	34	0,060 1	0,060 7	0,100
400	61	53	53	0,047 0	0,047 5	0,077 8
500	61	53	53	0,036 6	0,036 9	0,060 5
630	91	53	53	0,028 3	0,028 6	0,046 9
800	91	53	---	0,022 1	0,022 4	0,036 7
1 000	91	53	---	0,017 6	0,017 7	0,029 1
1 200	11	11	---	0,015 1	0,015 1	0,024 7
1 400	11	11	---	0,012 9	0,012 9	0,021 2
1 600	11	11	---	0,011 3	0,011 3	0,018 6
1 800	11	11	---	0,010 1	0,010 1	0,016 5
2 000	11	11	---	0,009 0	0,009 0	0,014 9
2 500	11	11	---	0,007 2	0,007 2	0,012 7

¹⁾ No se especifica el número mínimo de alambres. Estas secciones pueden fabricarse de 4, 5 ó 6 segmentos iguales.

Tabla 8. Características de construcción. NMX-J-012 [8]

Paso de Cableado

Paso y dirección de cableado

- En conductores Clase AA que se forman por menos de 7 alambres, la **relación del paso de cableado** preferente es de 11 veces el diámetro exterior del conductor; sin embargo, no debe ser menor que 8 ni mayor que 14;
- En conductores Clase AA que se forman por 7 alambres o más, la **relación del paso de cableado** preferente de la capa exterior es de 13,5 veces el diámetro exterior del conductor; sin embargo, no debe ser menor que 10 ni mayor que 16;
- Para todas las otras clases de conductores, la **relación del paso de cableado** de una capa no debe ser menor de 8 ni mayor de 16 veces el diámetro exterior de esa misma capa, excepto que para conductores que se forman de 37 o más alambres, este valor de relación se aplica a las 2 últimas capas exteriores, ya que la relación del paso de las otras capas queda a opción del fabricante, a menos que otra cosa se especifique;
- La dirección de cableado de la capa exterior de los cables debe ser en sentido izquierdo;
- La dirección de cableado de los conductores de más de 7 alambres de designación mayor que 8,37 mm² (8 AWG), debe invertirse en capas sucesivas a menos que se especifique lo contrario;
- Para los cables con **cableado concéntrico combinado** la longitud de paso en ambas capas debe ser igual y de sentido izquierdo;
- Para los conductores que vayan a aislarse, la dirección del paso del cableado de la capa exterior debe ser en sentido izquierdo y las capas interiores pueden ser con cableado unidireccional o alternado;
- El paso y la dirección de cableado se determinan de acuerdo con NMX-J-516-ANCE.

Figura 33. Paso de cableado. NMX J-012 [33]

Aislamiento mínimo

Designación del Conductor				TW		THW, THW-2, THW-LS, THHW, THHW-LS, TW		THHN, THWN-2, THWN			
				Promedio	Mínimo	Promedio	Mínimo	Promedio	Mínimo		
mm ²	AWG o kcmil			mm	mm	mm	mm	mm	mm		
2,08	-	3,31	14	-	12	1,52	1,37	0,76	0,69	0,38	0,33
-	5,26	-	-	10	-	1,52	1,37	0,76	0,69	0,51	0,46
-	8,37	-	-	8	-	2,03	1,83	1,14	1,02	0,76	0,69
-	13,3	-	-	6	-	2,03	1,83	1,52	1,37	0,76	0,69
21,2	-	33,6	4	-	2	2,03	1,83	1,52	1,37	1,02	0,91
42,4	-	107	1	-	4/0	2,41	2,18	2,03	1,83	1,27	1,14
127	-	253	250	-	500	2,79	2,51	2,41	2,18	1,52	1,38
279	-	507	550	-	1 000	3,18	2,84	2,79	2,51	1,78	1,60

Tabla 9. Tabla espesor de aislamiento. NMX J-010 [9]

3.1.2 Levantamiento de información de productos.

En este paso del proceso se recabaron datos de parámetros teóricos y reales de los productos de las diferentes plantas de Viakable. Además de los parámetros y especificaciones técnicas, se solicitó información de los atributos que más percibe el cliente como son el empaque, tipo de carrete, el logo en el carrete, etiqueta, cartoncillo protector y tono del color del cable, entre otros.

Se inició con los cables de aluminio baja tensión que son los que incluimos en esta tesis. Para ello formamos un equipo de trabajo destinando un líder de producto de cada planta. Este líder de producto administraría y entregaría los datos de los cables de su planta.

Los datos recabados por producto fueron los siguientes:

• # de Hilos.
• Tipo de Construcción (Normal, Comprimido, Compactado).
• Diámetro de Hilo.
• Diámetro de Conductor.
• Paso de Cableado.
• Espesor de Aislamiento.
• Tipo de Marca.
• Espesor de Traza.
• Pigmento.



Figura 34. Equipo de trabajo [34]

3.1.3 Análisis Comparativo de Productos.

Después de recabar la información de los productos de cada planta, se elaboraron tablas comparativas de los productos para determinar cuál era la mejor práctica para cada parámetro.

URD Calibre 4				CMSA	CDNI	Centelsa	ICV
Empresa*							
Conductor Fase	Min	Nom	Max				
# hilos*	7			7	7	7	7
Tipo (normal, cpr, cpt)*	NOR, CPR, CPT			CPR	CPT	CPR	CPR
Diámetro conductor (mm)*	5.60	5.72	5.77	5.715	5.41	5.715	5.715
Paso de Cableado (pulg)	1.8	3.6		2.5	2.992	2.47 - 3.15	1.8-3.6
Diámetro hilo (mm)*				1.981	2.096	1.987	1.96
Aislamiento	Min	Nom	Max				
Tipo de compuesto*	Termofijo			DX25 MEZCLA SIOPLAS XLPE NE	DFDB-5451	SILANOS (CENTELSA) Negro	XLPE SUN RES
Espesor de Aislamiento (mm)*	1.4	1.5		1.524	1.535	1.52 - 1.58	1.372-1.524
Marca leyenda*	Legible e			Alto relieve	Rodillo (bajo relieve)	Bajo relieve o Tinta	Bajo relieve con Tinta
Traza				N/A	N/A	N/A	N/A
Conductor Neutro	Min	Nom	Max	ALUMINIO 1350			
# hilos*	7			7	7	7	7
Tipo (normal, cpr, cpt)*	NOR, CPR, CPT			CPR	CPT	CPR	CPR
Diámetro conductor (mm)*	5.60	5.72	5.77	5.715	5.41	5.715	5.715
Paso de Cableado (pulg)*	1.80	3.60		2.5	2.992	2.47 - 3.15	1.8-3.6
Diámetro hilo (mm)*				1.981	2.096	1.987	1.96
Aislamiento Neutro	Min	Nom	Max	NE/AM			
Tipo de compuesto*	Termofijo			SIOPLAS	SIOPLAS	SILANOS (CENTELSA)	SILANO SUN RES
Espesor de Aislamiento (mm)*	1.4	1.5		1.524	1.535	1.52 - 1.58	1.372-1.524
Marca leyenda*	Legible e			Alto relieve	Rodillo (bajo relieve)	Bajo relieve o Tinta	Bajo relieve con Tinta
Marca secuencial*				Taymer (tinta indentada)	Con tinta	Con tinta	Con tinta
Traza				Franja Amarilla (3)	No especificó	Franja Amarilla (3)	Franja Amarilla (3)

Tabla 10. Comparativa Cable URD [10].

3.1.4 Selección de Diseño Estándar.

Una vez que se analizaron las características de productos de cada planta, se abrió un foro de discusión con un grupo de gente experimentada del grupo para determinar cuál y porqué era la mejor práctica según el atributo o característica.

Esto arrojó un listado de métodos para determinar el valor de cada parámetro y se definió de la siguiente forma:

Tabla de métodos y pruebas		
Parámetro	Método	Criterio
# de Hilos	Análisis de variación en diámetro.	Procesabilidad y variación.
Construcción	Especificación de clientes.	Procesabilidad.
Diámetro de Hilo	Análisis de variación.	El diámetro menor. Costo \$.
Diámetro de Conductor	Análisis de variación (mm). Resistencia (Ω /km). % de Área (%) Masa (g/m)	El diámetro menor. Costo \$.
Paso de Cableado	Análisis de variación.	El más largo. Procesabilidad.
Espesor de Aislamiento	Medición de espesor.	El más reducido.
Tipo de Marca	Apariencia.	Legibilidad. Contraste.
Espesor de Traza	Medición de espesor.	El más reducido.
Pigmento	Prueba de intemperismo. “Weatherómetro”	El menos afectado por la luz.

Tabla 11. Métodos y pruebas [11].

A parte de las especificaciones de productos, se estandarizaron los atributos que el cliente más percibe como son el tono de pigmento, el espesor de la traza y el carrete.

A cada tabla se le agregó una columna con el diseño que se utilizará para estandarizar.

URD Calibre 4				CMSA	CDNI	Centelsa	ICV	Estándar
Empresa*								
Conductor Fase	Min	Nom	Max					
# hilos*	7			7	7	7	7	7
Tipo (normal, cpr, cpt)*	NOR, CPR, CPT			CPR	CPT	CPR	CPR	CPT
Diámetro conductor (mm)*	5.60	5.72	5.77	5.715	5.41	5.715	5.715	5.41
Paso de Cableado [pulg]*	1.8		3.6	2.5	2.992	2.47 - 3.15	1.8 - 3.6	3.0
Diámetro hilo (mm)*				1.981	2.096	1.987	1.96	N/C
Aislamiento	Min	Nom	Max					
Tipo de compuesto*	Termofijo			DX25 MEZCLA SIOPLAS XLPE NE	DFDB-5451	SILANOS (CENTELSA) Negro	XLPE SUN RES	SILANOS (CENTELSA) Negro
Espesor de Aislamiento (mm)*	1.4	1.5		1.524	1.535	1.52 - 1.58	1.372-1.524	1.524
Marca leyenda*	Legible e			Alto relieve	Rodillo (bajo relieve)	Bajo relieve o Tinta	Bajo relieve con Tinta	Rodillo (bajo relieve)
Traza				N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Conductor Neutro	Min	Nom	Max	ALUMINIO 1350				
# hilos*	7			7	7	7	7	7
Tipo (normal, cpr, cpt)*	NOR, CPR, CPT			CPR	CPT	CPR	CPR	CPR
Diámetro conductor (mm)*	5.60	5.72	5.77	5.715	5.41	5.715	5.715	5.41
Paso de Cableado [pulg]*	1.80		3.60	2.5	2.992	2.47 - 3.15	1.8 - 3.6	3.0
Diámetro hilo (mm)*				1.981	2.096	1.987	1.96	N/C
Aislamiento Neutro	Min	Nom	Max	NE/AM				
Tipo de compuesto*	Termofijo			SIOPLAS	SIOPLAS	SILANOS (CENTELSA)	SILANO SUN RES	SILANOS (CENTELSA)
Espesor de Aislamiento (mm)*	1.4	1.5		1.524	1.535	1.52 - 1.58	1.372-1.524	1.524
Marca leyenda*	Legible e			Alto relieve	Rodillo (bajo relieve)	Bajo relieve o Tinta	Bajo relieve con Tinta	Rodillo (bajo relieve)
Marca secuencia*				Taymer (tinta indentada)	Con tinta	Con tinta	Con tinta	Taymer (tinta indentada)
Traza				Franja Amarilla (3)	No especificó	Franja Amarilla (3)	Franja Amarilla (3)	Franja Amarilla (3)

Tabla 12. Comparativa Cable URD-Estándar [12].

3.1.5 Definición de Inversión Necesaria.

Una vez que definimos el estándar del producto, se enlista que requerimientos o equipamiento debe adquirir una planta para poder cumplir con el nuevo estándar. Por ejemplo, si el estándar de la leyenda es diferente del actual, la planta posiblemente ocupará una marcadora especial.

De cualquier equipamiento que fuera requerido se consigue especificación y cotización para determinar la inversión total por concepto de estandarización. De esta forma se cierran las diferencias entre el producto actual contra el producto estandarizado a nivel Viakable.

3.1.6 Despliegue

Las hojas con el estándar definido son enviadas a los líderes de producto de cada planta, estos a su vez tendrán que modificar los parámetros en las diferentes bases de datos de productos. Con esto se consigue que todas las plantas estén fabricando los cables con las mismas especificaciones.

Capítulo IV. Resultados y Análisis

Con base al planteamiento del problema de estandarizar los diseños de cables de aluminio de baja tensión en las diferentes plantas productivas de Viakable, se llegó a los siguientes resultados.

En la tabla 1 se muestran los principales resultados encontrados y las soluciones propuestas que se tomaron para eliminar la diferencia contra el estándar.

Planta	Problema/Desviación	Contramedida/ Solución
ICV (Venezuela).	Logo es diferente.	Fabricación de estructuras de plantilla con logo oficial.
ICV (Venezuela).	Variación en tamaños de carretes.	Se especificó la tabla de estándar de carretes.
ICV (Venezuela).	Capuchón protector es diferente.	Se enviaron especificaciones de capuchones utilizados en Monterrey.
ICV (Venezuela).	Espesor de trazas de diferentes tamaños.	Se estandarizó diseño de herramientas.
CMSA (Monterrey)	Apariencia de Sioplas es menos brillante que el Silano que utiliza Sudamérica.	Se requiere colocar flama en el cabezal de extrusión para lograr brillo.
CMSA-CDNI (Monterrey)	Tono de pigmento diferente.	Homologación de tono de pigmento rojo.

Tabla 13. Identificación de problemática de estandarización de cables [13].

Cabe destacar que en esta etapa incluimos en consideración atributos de los cables, que aunque no estén normalizados si son percibidos por el cliente y eran motivo de reclamo o aclaración.

Carrete

Desviación #1 Diferencia en logo.

Todos los carretes utilizados para empaque final y que serán recibidos por los clientes deberán tener el logo de acuerdo al estándar de plantillas oficiales. Con esto aseguramos que el cliente reciba siempre el mismo producto desde cualquier planta incluyendo el empaque.

En la siguiente figura se muestra como se fabricaba el carrete anteriormente en la planta de ICV.



Figura 35. Carrete con desviaciones. [35]

Se muestran diferencias en el logo:

- La flecha es de otro color (negro) y está en el sentido equivocado.
- El logo no es proporcional al carrete y es un logo anterior.
- La página de la compañía se encuentra por encima y debe ir en la parte baja.

Para corregir esto se enviaron especificaciones del diseño de plantillas para cada tamaño de carrete.

Con estos dibujos se mandaron fabricar estructuras metálicas que cumplen exactamente el perfil que se requiere.

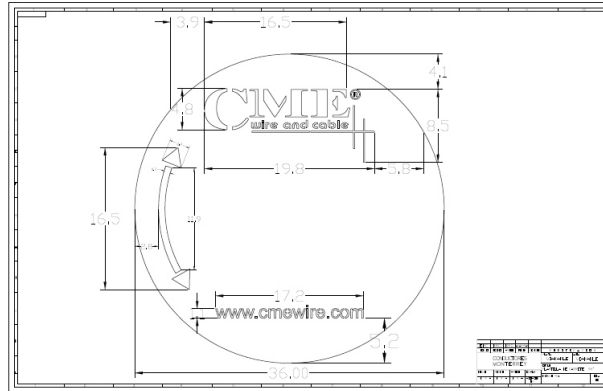


Figura 36. Dibujo estándar de carrete 36". [36]

Las siguientes estructuras fueron fabricadas cumpliendo las especificaciones de acuerdo al dibujo estándar. Con esto se eliminan discrepancias.



Figura 37. Estructura metálica. [37]

A continuación se muestra la evidencia del carrete en la planta de Venezuela con todas las correcciones.

Como podemos comparar contra la situación anterior, la flecha es color rojo como el resto del logo, esta flecha se encuentra en lado izquierdo, el logo es proporcional al tamaño del carrete y la página ahora aparece en la parte baja como debe ser.



Figura 38. Imagen de carrete después de correcciones. [38]



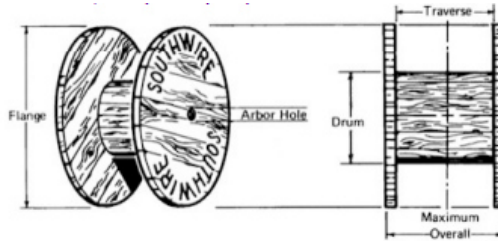
Figura 39. Imagen de cartoncillo protector para exportación. [39]

Además de la cara del carrete, el cartoncillo protector era diferente en la planta Venezuela. Para esto se envió diseño correcto y se localizó proveedor que pudiera surtir este cartoncillo con el recubrimiento de cera protectora para evitar humedad.

Desviación #2 Variación en tamaño de carretes.

En repetidas ocasiones se recibieron reclamos de clientes debido a que el producto fue enviado en carretes de tamaño diferente al estándar. Para evitar

esta discrepancia y unificar criterios se utilizará la tabla de la asociación de fabricantes de aluminio.



Reel Designation		Dimensions (inches)					Arbor Hole	Approx. Weight (lbs)	Material
Alum. Assoc.*	SW Class	Flange	Traverse	Drum	Max. Overall Width				
NR 30.22	A-10	30	22	16	25	3.125	66	NAILED WOOD REEL	
	A-11	30	23	17	26	3.125	60	NAILED WOOD REEL	
NR 42.28	A-29	42	28	21	32	3.125	154	NAILED WOOD REEL	
NR 48.28	A-38	48	28	24	32	3.125	212	NAILED WOOD REEL	
NR 60.28	A-62	60	28	28	34	3.125	397.45	NAILED WOOD REEL	
NR 66.28	A-76	66	28	30	34	3.125	473.18	NAILED WOOD REEL	
	A-99	68	38	36	44	3.125	536.2	NAILED WOOD REEL	
	C-1	23	8	12	11	3.125	29.27	NAILED WOOD REEL	
	C-3	23	10	12	13	3.125	30.32	NAILED WOOD REEL	
	C-5	23	17	12	20	3.125	33.97	NAILED WOOD REEL	
	C-10	31	19	16	22.5	3.125	66.41	NAILED WOOD REEL	
	C-17	34	24	16	27.5	3.125	92	NAILED WOOD REEL	
NR 38.22	C-18	38	22	20	25.5	3.125	99.06	NAILED WOOD REEL	
	C-22	42	24	24	28.5	3.125	166.55	NAILED WOOD REEL	
	C-29	46	24	24	30	3.125	250	NAILED WOOD REEL	
	G-898	11.75	10	5	11.25	2	2.75	PLYWOOD SPOOL	
	G-1.235	13.5	10	5	11.25	2	3	PLYWOOD SPOOL	
	G-1.762	15.75	10	5	11.25	2	4.75	PLYWOOD SPOOL	
	G-2.333	15.75	13.25	5	14.5	2	5	PLYWOOD SPOOL	
	H-13	36	16.38	18	19.38	3.125	76	NAILED WOOD REEL	
	N-1	15.75	7	8	8.25	3.125	6	PLYWOOD REEL	
	N-2	15.75	14	8	15.25	3.125	7	PLYWOOD REEL	
	N-3	23.75	10	12	11.88	3.125	16	PLYWOOD REEL	
	N-5	23.75	17	12	18.5	3.125	20	PLYWOOD REEL	
	N-7	30	17	17	20	3.125	50	NAILED WOOD REEL	
	N-7P	23.75	22	12	25	3.125	30	PLYWOOD WOOD REEL	
	N-11	28	21	11	24	3.125	49	NAILED WOOD REEL	
	N-15	32	22	14	25	3.125	62.4	NAILED WOOD REEL	
	N-19	34	26.5	15	29.5	3.125	73	NAILED WOOD REEL	
	N-24	36	28	14	31.75	3.125	83	NAILED WOOD REELS	
	N-29	40	28	16	31	3.125	96	NAILED WOOD REEL	
	N-34	42	29	17	32.75	3.125	114	NAILED WOOD REEL	
	N-37	45	30	21	34.75	3.125	168	NAILED WOOD REEL	
	N-48	50	30	21	34	3.125	198	NAILED WOOD REEL	
	N-62	58	30	27	34.5	3.125	303	NAILED WOOD REEL	
NR 66.28	N-76	66	28	30	32.5	3.125	369.84	NAILED WOOD REEL	
	N-99	68	38	36	44	3.125	562	NAILED WOOD REEL	

*"NR" is the Aluminum Association code designation for non-returnable reels.

Tabla 14. Estándar de carretes asociación de aluminio. Referencia SW [14].

Desviación #3

Otro de los problemas encontrados fue la utilización de capuchones protectores que no cumplieran con los requerimientos. Estos capuchones van en la punta del cable, en cada tramo, para proteger al cable y mantenerlo libre de polvo y agua principalmente.

Los capuchones utilizados en Venezuela no soportaban el manejo rudo para transportar el cable y se caían antes de llegar al almacén en Estados Unidos.

En esta imagen vemos el tipo de capuchón que se utilizaba en ICV.

Este capuchón, por la parte interior cuenta con un mecanismo que aprisiona el cable y hace que se sujete, sin embargo esta fuerza de sujeción no era suficiente para mantenerse todo el camino.

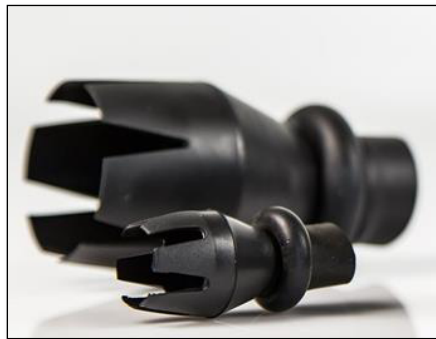


Figura 40. Imagen de capuchón utilizado en Venezuela. [40]

En la siguiente imagen se muestra el tipo de capuchón que se utiliza en planta Monterrey y principalmente el cambio en la aplicación. Este tipo de capuchón es termo-contráctil, se aplica flama para que el capuchón contraiga y selle sobre el cable.



Figura 41. Imagen de capuchón termo contráctil utilizado en Monterrey. [41]

Parte del proceso de estandarización para este hallazgo, incluyó una capacitación en la planta de Venezuela para la aplicación de los capuchones.

En la siguiente imagen se muestra la forma de aplicar la flama sobre el capuchón para que este se contraiga y quede totalmente sellado al cable.



Figura 42. Aplicación de capuchón termo-contráctil en planta ICV. [42]

Desviación #4 Diferencia de espesor de traza.

El espesor de la traza en planta Monterrey se fabrica al 6% mientras que en planta Venezuela alcanzaba hasta 12%.

El criterio para definir cuál era la mejor opción fue el ahorro en costo que genera la utilización de menos pigmento amarillo con una traza más delgada como la de planta Monterrey.

Esta es una imagen de la traza fabricada en la planta Venezuela al 12%.



Figura 43. Cable aluminio Baja Tensión con traza al 12% fabricado en ICV [43]



Figura 44. Cable aluminio Baja Tensión con traza al 6% fabricado en Monterrey [44]

Una vez definido que la traza se utilizaría como en planta Monterrey, se enviaron diseños de los porta-dados a planta Venezuela para homologar el espesor de traza.

A continuación se muestra el diseño del porta dados utilizado.

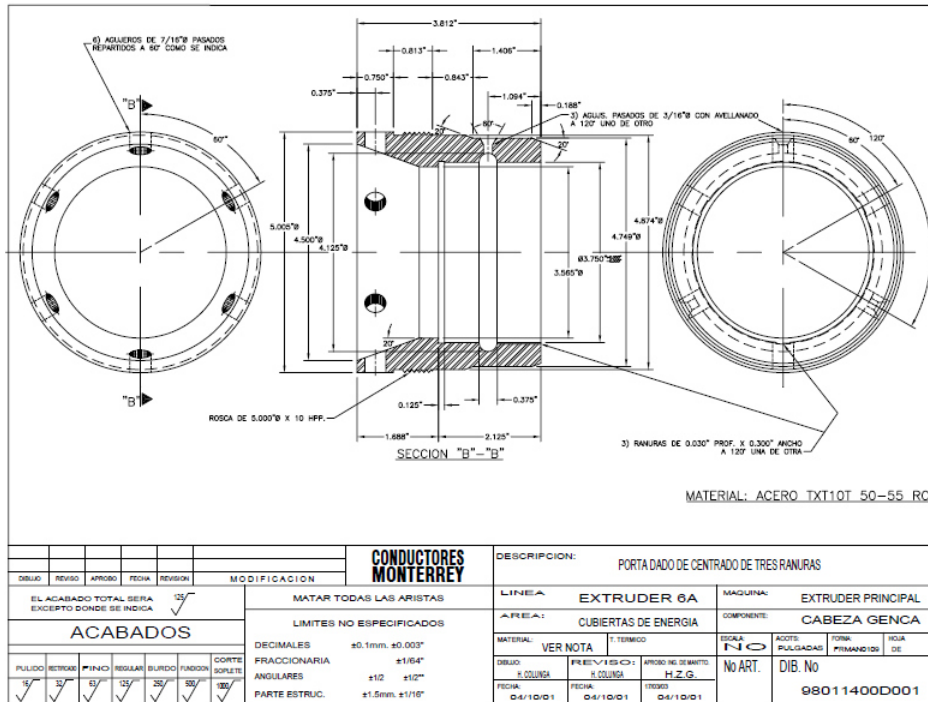


Figura 45. Diseño de porta-dado utilizado en planta Monterrey para aplicación de trazas. [45]

Desviación #5 Diferencia en acabado de Sioplas vs Silano.

Una de las principales diferencias que se encontraron entre los productos de baja tensión es el acabado del cable.

Esto debido a que al momento de fabricar el cable con compuesto XLPE Silano, es necesario colocar un mechero a la salida del cabezal para quemar los anillos de residuos de compuesto, esto genera un acabado brillante.



Figura 46. Cable aluminio Baja Tensión fabricado con Silano en ICV [46]

Por otro lado, cuando fabricas cable baja tensión con un compuesto XLPE-Sioplas, no es necesario colocar el mechero y el acabado resulta opaco.



Figura 47. Cable aluminio Baja Tensión fabricado con Sioplas en CMSA [47]

Para definir cuál acabado debíamos utilizar, se revisó con el área comercial, que acabado era conveniente y preferido por los clientes. Todo el comité decidió que era mejor optar por el acabado brillante a pesar del costo por colocar mecheros en las líneas y el consumo de gas.

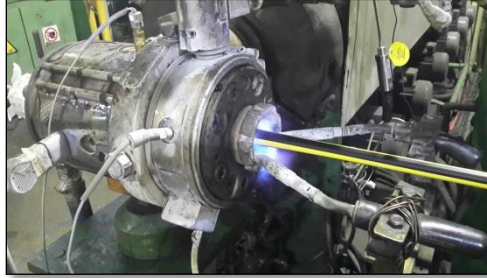


Figura 48. Mecheros a la salida del cabezal de extrusión. [48]

Desviación #6 Diferencia en tono de pigmento.

Otro aspecto importante detectado fue el tono de la cubierta roja. Para definir el tono a estandarizar, se consideró el costo que representa el pigmento a nivel división.

Por otro lado, se realizó una prueba de “intemperismo” para comparar la duración del color de los cables cuando están expuestos al Sol.

Para esta prueba se fabricaron muestras de placas de PVC de lo siguiente:

- Pigmento utilizado en CDNI.
- Pigmento utilizado en CMSA.
- Nuevo pigmento #1 propuesto por el equipo de estandarización.
- Nuevo pigmento #2 propuesto por el equipo de estandarización.
- Nuevo pigmento #3 propuesto por el equipo de estandarización.

Estas placas fueron colocadas en el “weatherometro” durante 720 horas.



Figura 49. Weather o meter. [49]



Figura 50. Placas de PVC después de salir de la prueba de intemperismo. [50]

Prueba de Intemperismo realizada en CETIV						
		300 horas			720 horas	
		Original	Irradiada	% cambio	Irradiada	% cambio
Breen 1% BX3824 CDNI	L	42.67	51.31	20%	57.99	36%
	a	61.85	43.72	-29%	32.41	-48%
	b	11.81	-2.79	-124%	-2.41	-120%
UM86 2% Breen 5073	L	41.6	48.01	15%	56.51	36%
	a	62.11	48.19	-22%	35.18	-43%
	b	14.85	-0.08	-101%	-1.65	-111%
Breen 2% BX3824 CDNI	L	39.27	46.81	19%	52.92	35%
	a	59.17	46.74	-21%	35.12	-41%
	b	16.15	0.06	-100%	-1.37	-108%
UM86 1% DELTA	L	42.14	51.93	23%	58.09	38%
	a	61.28	36.85	-40%	28.39	-54%
	b	15.02	11.28	-25%	11.66	-22%
UM86 2% CMSA actual	L	39.42	46.35	18%	48.62	23%
	a	50.68	34.71	-32%	29.96	-41%
	b	11.12	10.77	-3%	13.18	19%

Tabla 15. Resultados de prueba de intemperismo. [15]

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

- Se logró estandarizar los diseños de cables de aluminio de baja tensión en las diferentes plantas productivas de Viakable.
- La estandarización se cumplió de acuerdo al plan.
- Se eliminaron los reclamos de los clientes por recibir producto con diferencias.
- Se estandarizó el uso de carretes con el logo oficial de CME, empresa distribuidora en USA.
- Actualmente se compran carretes de madera en base a la tabla estándar de la asociación de aluminio.
- Los reclamos se eliminaron y los reprocesos por la mala colocación de capuchones protectores.
- El espesor de traza se redujo en ICV, lo cual generará ahorros importantes por menor consumo de pigmento amarillo.
- Se estandariza a un tono brillante de acabado lo cual tiene mejor aceptación por parte del cliente. Esto hace que se cierre una brecha contra la competencia.
- El tono del pigmento se homologó, lo cual representó un ahorro considerable a nivel división, debido al alto volumen que se consume con un mismo proveedor y nos da una mejor posición para negociación.

Capítulo VI. Referencias Bibliográficas

- [1] <http://www.viakon.com/catalogo/detalle.php?producto=156> consulta Abril 2015
- [2] Ramos, J. A. (2015) “Procedimiento, proceso y puntos de inspección para una colada continua” 2015
- [3] Interamericana de Cables Venezuela (2008) “Plan de control de calidad Colada Continua”
- [4] Interamericana de Cables Venezuela (2008) “Procedimiento Proceso de Colada Continua”
- [5] Continuus-Properti – (2014) “Atomic Number 29” Milan, Italia. 2da edición.
- [6] The Wire Association International, Inc. – (1981) “Nonferrous wire handbook; Volume 2: Bare wire Processing” Guilford, Connecticut, Estados Unidos.
- [7] Conductores Monterrey – Planta Electrónica (2001) “Plan de Control de Calidad Proceso de Estirado”
- [8] Esteves Group (2008) “E-wizard Esteves” Barcelona, España. 2da edición.
- [9] Fort Wayne Wire Die, Inc. “The Blue Book” Fort Wayne, Indiana, Estados Unidos.

- [10] <http://niehoffendex.com/niehoff-products/>
- [11] Conductores Monterrey – Planta Alambres y Cables “Procedimiento Cableado”
- [12] Rodriguez, E. (2007) “Tabla de diámetros de cableado desnudo” Monterrey, México.
- [13] Conductores Monterrey – Planta Alambres y Cables “Plan de Control de Calidad Proceso de Cableado” Monterrey, México.
- [14] Gumina, A. “Extrusion Process and Material Rheology” Italia. Tercera Edición.
- [15] Conductores Monterrey – Planta Electrónica “Plan de Control de Calidad Proceso de Extrusión” Monterrey, México.
- [16] <http://microdia.ch/products/>
- [17] NORMA Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012, “Instalaciones Eléctricas (utilización)”, Noviembre 2012, Diario Oficial de la Federación. Río Amazonas No. 62, Col. Cuauhtémoc, C.P. 06500, México, D.F.
- [18] NORMA Oficial Mexicana NOM-063-SCFI “Productos eléctricos – conductores – requisitos de seguridad.” Diciembre 2001, Diario Oficial de la Federación. Río Amazonas No. 62, Col. Cuauhtémoc, C.P. 06500, México, D.F.
- [19] NMX-J-002 ANCE (2001) “Productos Eléctricos – Conductores – Alambres de Cobre Duro Para usos Eléctricos”, ANCE, México D.F.

[20] NMX-J-010-ANCE (2011) “Conductores con aislamiento termoplástico a base de policloruro de vinilo, para instalaciones hasta 600V”, ANCE, México D.F.

[21] NMX-J-012-ANCE (2010) “Cables de cobre con cableado concéntrico para usos eléctricos”, ANCE, México D.F.

[22] NMX-J-027-ANCE (2004) “Alambres de aluminio duro para usos eléctricos”, ANCE, México D.F.

[23] NMX-J-028-ANCE (2001) “Cables concéntricos tipo espiral para acometida aérea a baja tensión hasta 600 V”, ANCE, México D.F.

[24] NMX-J-032-ANCE (2009) “Cables de aluminio con cableado concéntrico para usos eléctricos”, ANCE, México D.F.

[25] NMX-J-035-ANCE (2001) “Alambres de cobre semiduro para usos eléctricos”, ANCE, México D.F.

[26] NMX-J-036-ANCE (2001) “Alambres de cobre suave para usos eléctricos”, ANCE, México D.F.

[27] NMX-054-ANCE (2009) “Alambres y cables aislados con polietileno, para instalaciones tipo intemperie en baja tensión”, ANCE, México D.F.

[28] NMX-J-058-ANCE (2007) “Cable de aluminio con cableado concéntrico y alma de acero (ACSR)”, ANCE, México D.F.

[29] NMX-J-061-ANCE (2009) “Cables multiconductores para distribución aérea o subterránea a baja tensión”, ANCE, México D.F.

[30] NMX-J-451-ANCE (2011) “Cables de energía de baja tensión con aislamiento de polietileno de cadena cruzada o a base de etileno propileno, para instalaciones hasta 600 V”, ANCE, México D.F.

[31] NMX-J-298-ANCE (2007) “Conductores dúplex (TWD) con aislamiento termoplástico para instalaciones hasta 600V”, ANCE, México D.F.

[32] ASTM B-1 “Standard Specification for Hard-Drawn Copper Wire”, ASTM International. 100 Barr Harbour Drive P.O. Box C-700 West Conshohocken, Pennsylvania 19428-2959, United States.

[33] ASTM B-2 “Standard Specification for Medium-Hard-Drawn Copper Wire”, 2005, ASTM International. 100 Barr Harbour Drive P.O. Box C-700 West Conshohocken, Pennsylvania 19428-2959, United States.

[34] ASTM B-3 “Standard Specification Soft or Annealed Cooper Wire”, ASTM International. 100 Barr Harbour Drive P.O. Box C-700 West Conshohocken, Pennsylvania 19428-2959, United States.

[35] ASTM B-8 “Standard Specification For Concentric-Lay-Stranded Copper Conductors, hard, Medium-hart or soft” 2004, ASTM International. 100 Barr Harbour Drive P.O. Box C-700 West Conshohocken, Pennsylvania 19428-2959, United States.

[36] ASTM B-230 “Standard Specification for Aluminum 1 350-H19 Wire for Electrical Purpose.” 2004, ASTM International. 100 Barr Harbour Drive P.O. Box C-700 West Conshohocken, Pennsylvania 19428-2959, United States.

[37] ASTM B-232 “Concentric Lay Stranded Aluminum Conductors, Coated Steel Reinforced”, 2001, ASTM International. 100 Barr Harbour Drive P.O. Box C-700 West Conshohocken, Pennsylvania 19428-2959, United States.

[38] ICEA S-95-658 “Standard for non-shielded Power cables rated 2000 Volts or less for the Distribution of electrical Energy”, 2009, Global Engineering Document, 15 Inverness Way East, Englewood, CO 80112.

[39] UL Standard 1569 “Metal-Clad Cables”, 2014, Underwriter’s Laboratories, 2006 N.W. Lake Rd. Camas WA 98607-8542.

[40] CFE E0000-04 “Conductores dúplex con aislamiento termoplástico para instalaciones hasta 600 V para 60°C”, 2001

[41] CFE E0000-09 “Conductores múltiples para distribución aérea hasta 600 V, 75°C”, 2015

[42] CFE E0000-11 “Cables concéntricos tipo espiral” 1986

[43] NRF-052-CFE. “Cables subterráneos para 600V con aislamiento de polietileno de cadena cruzada o de alta densidad” 2007, Diario Oficial de la Federación. Río Amazonas No. 62, Col. Cuauhtémoc, C.P. 06500, México, D.F.