

AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA
DIRECTORADO TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN
DIVISIÓN DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA



**COMUNICADOS
Y
CIRCULARES TÉCNICAS
2010**



INTRODUCCIÓN

La Autoridad de Energía Eléctrica tiene la responsabilidad de establecer y mantener al día las normas, patrones, estándares, especificaciones y reglamentos que garanticen la construcción e instalación de equipos en el sistema eléctrico. La División de Distribución Eléctrica del Directorado de Transmisión y Distribución publica periódicamente los Comunicados y Circulares Técnicas para atemperar las normas y aplicaciones que surgen por los cambios en la tecnología que afectan nuestro sistema de transmisión y distribución.

Estos Comunicados y Circulares Técnicas son distribuidos a las secciones técnicas que componen nuestro Directorado, ingenieros, diseñadores, consultores, manufactureros de equipo, peritos electricistas, proyectistas y contratistas. La información incluida en éstos es de aplicación inmediata, ya que establecen pautas de construcción e instalación de los equipos eléctricos.

Con este propósito, proveemos en la Internet todos los Comunicados y Circulares Técnicas desde el 1980 hasta el presente, los cuales serán una herramienta de trabajo útil para los ingenieros, diseñadores, consultores, manufactureros de equipo, peritos electricistas, proyectistas y contratistas.

Esperamos que les sea de gran utilidad en los procesos de diseño y construcción de las instalaciones eléctricas para brindar un mejor servicio al pueblo de Puerto Rico.

Tabla de Contenido

Puede llegar al comunicado,
patrón o anejo que desea
usando los *bookmarks*
o haciendo clic sobre el año,
el título o el anejo correspondiente
en la Tabla de Contenido
de las próximas páginas.

| COMUNICADO | TÍTULO | Página |
|-------------|---|--------|
| 2010 | | |
| 10-04 | — Protección exterior para unidades seccionadoras | 10-1 |
| | Patrón SUVP-1 - Protección exterior para unidad seccionadora de 600 A (URD-11) ... | 10-3 |
| | Patrón SUVP-2 - Protección exterior para unidad seccionadora con interruptor de carga (operación conjunta) de 600 A (URD-11A) | 10-4 |
| 10-03 | — Cómputos de tensión de halado para conductores en conductos soterrados | 10-5 |
| | Apéndice – 31 (Revisado) - Límites de tensión para la instalación de cables soterrados en conductos | 10-8 |
| 10-02 | — Aclaración Comunicado 09-07 - Nueva reglamentación para la adquisición transformadores adoptada por el Departamento de Energía Federal (DOE) | 10-21 |
| 10-01 | — Servicio secundario menor de 50 kVA | 10-24 |



12 de agosto de 2010

COMUNICADO 10-04

INGENIEROS, DISEÑADORES, CONSULTORES, PROYECTISTAS, ASOCIACIÓN DE CONTRATISTAS ELECTRICISTAS DE PUERTO RICO, MANUFACTUREROS DE EQUIPO ELÉCTRICO, INSTITUTO DE INGENIEROS ELECTRICISTAS, SOCIEDAD DE INGENIEROS ELECTRICISTAS, COLEGIO DE INGENIEROS Y AGRIMENSORES, COLEGIO DE PERITOS ELECTRICISTAS, DIRECTORES, ADMINISTRADORES REGIONALES, SUPERINTENDENTES, SUPERVISORES E INSPECTORES

PROTECCIÓN EXTERIOR PARA UNIDADES SECCIONADORAS

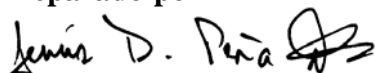
La Autoridad de Energía Eléctrica (AEE) tiene el compromiso de desarrollar y revisar regularmente los patrones y estándares de construcción conforme al sistema eléctrico de Puerto Rico. Recientemente, personal de la AEE discutió con fabricantes de equipo eléctrico en Puerto Rico las alternativas para proteger las unidades seccionadoras para evitar el vandalismo en las mismas. Como resultado, la AEE creó unos nuevos patrones para la construcción del gabinete exterior de las unidades seccionadoras, en los que se requiere que se añada una cajuela de protección al portacandado para impedir que personal ajeno a nuestra empresa pueda forzar el candado y tenga acceso al interior de estas unidades. Esta cajuela tiene que ser del mismo material y calibre (*gauge*) utilizado para la construcción del equipo.

Incluimos con este comunicado los patrones SUVP-1 y SUPV-2 para la construcción del gabinete exterior de las unidades seccionadoras con las especificaciones y dimensiones de la cajuela. La construcción de este equipo tiene que cumplir con los estándares de *National Electrical Manufacturers Association* (NEMA), el Código Eléctrico Nacional (NEC) y las normas de la AEE. Los fabricantes de estas unidades seccionadoras tienen que incorporar el detalle de la cajuela en sus diseños y presentarlos a la AEE para aprobación el 30 de septiembre de 2010 o antes.

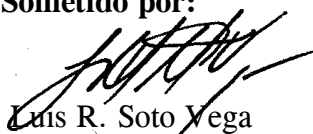
Este comunicado aplica a toda unidad seccionadora a ser manufacturada a partir del 31 de octubre de 2010. La AEE permitirá la instalación y conexión de unidades seccionadoras sin la cajuela que los fabricantes, proveedores y contratistas tengan en su inventario y

que hayan sido manufacturadas antes de la vigencia de este comunicado. El contratista será responsable de presentar a la Oficina de Inspecciones de la AEE el recibo de compra de estas unidades.

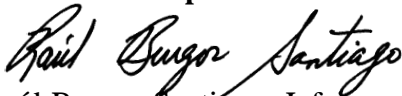
Los Ingenieros y Supervisores de las Oficinas Técnicas de Distrito, Superintendentes e Ingenieros de los Departamentos de Ingeniería de Distribución, Supervisores de las Oficinas de Inspecciones e Inspectores son responsables de velar por el cumplimiento de este comunicado.

Preparado por:

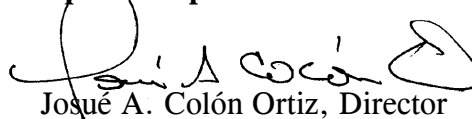
Jesús D. Peña Otero
Ingeniero Supervisor Ingreso
Oficina Ingeniería de Distribución

Sometido por:

Luis R. Soto Vega
Superintendente Departamento
Ingeniería de Distribución

Recomendado por:

Raúl Burgos Santiago, Jefe
División Distribución Eléctrica

Aprobado por:

Josué A. Colón Ortiz, Director
Generación, Transmisión y Distribución

AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE PUERTO RICO

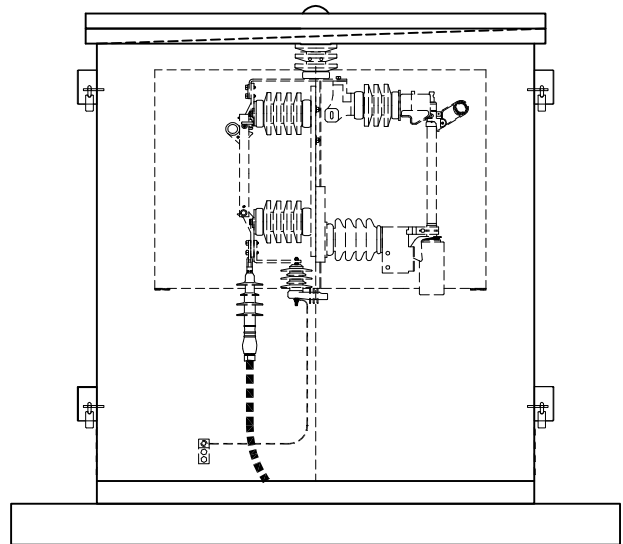
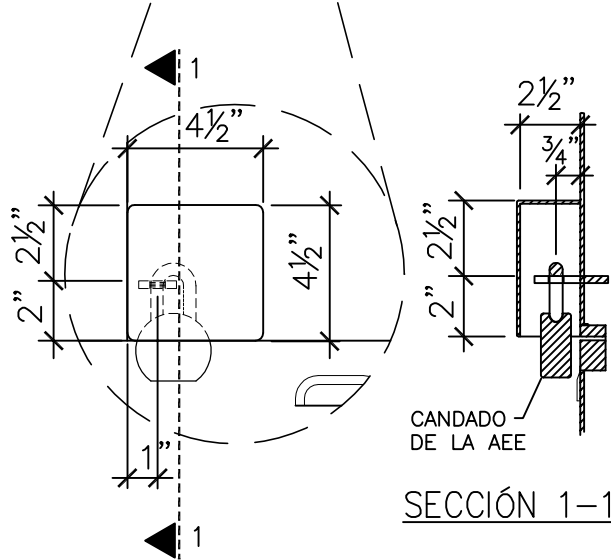
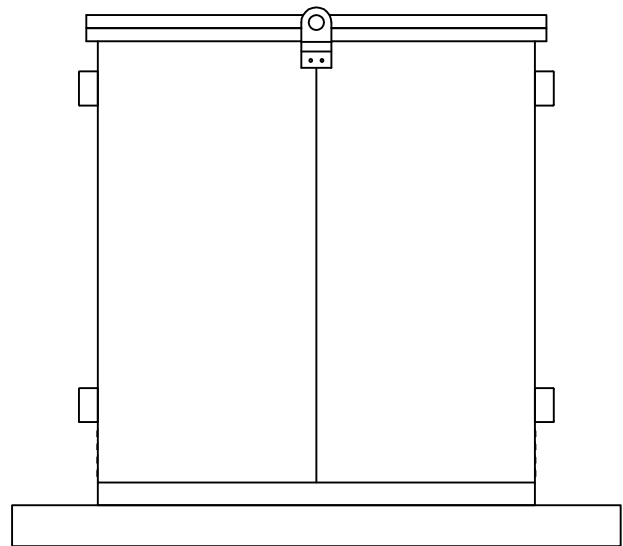
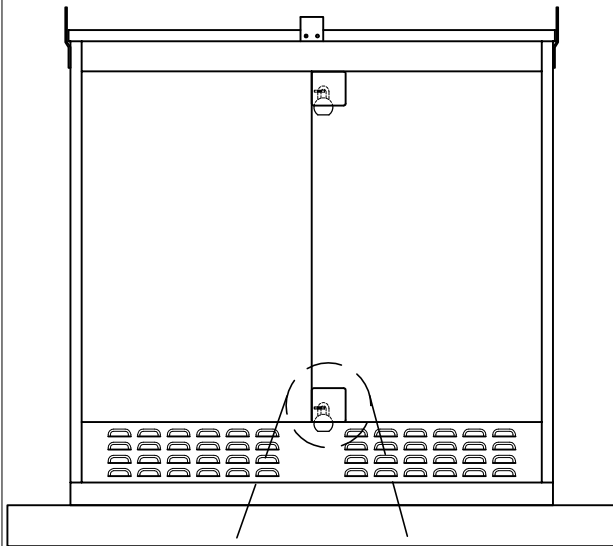
DIVISIÓN DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

PATRONES DE DISTRIBUCIÓN SOTERRADA



TÍTULO :
 PROTECCIÓN EXTERIOR PARA UNIDAD
 SECCIONADORA DE 600 AMPERIOS
 (URD-11)

PATRÓN NÚM. SUVP-1 REVISIÓN 0
 PÁGINA 1 FECHA _____
 REVISADO JESÚS D. PEÑA OTERO
 SOMETIDO LUIS R. SOTO VEGA
 RECOMENDADO RAÚL BURGOS SANTIAGO
 APROBADO JOSUÉ A. COLÓN ORTIZ
 DIGITALIZADO RENÉ TORRES / SAMUEL CAMACHO



NOTAS:

- 1-ESTE PATRÓN NO ALTERA LO DISPUESTO EN EL COMUNICADO 03-05, CON EXCEPCIÓN DE LA ADICIÓN DE LA CAJUELA.
- 2-EL PORTACANDADO TIENE QUE INSTALARSE SIEMPRE DE FORMA HORIZONTAL Y SER DE UN GROSOR EQUIVALENTE AL DOBLE DEL CALIBRE 14 O INSTALAR UN PORTACANDADO DOBLE DE CALIBRE 14.
- 3-EL EQUIPO NO TENDRÁ **HANDLES** CONVENCIONALES. LA CAJUELA SE UTILIZARÁ COMO **HANDLE** Y SUS BORDES NO PUEDEN TENER FILOS CORTANTES.
- 4-LA INSTALACIÓN DE LA CAJUELA ESTÁ SUJETA A LA UBICACIÓN DEL PORTACANDADO, SIN EXCEDER LOS BORDES DE LAS PUERTAS.
- 5-TODA SOLDADURA EN LA CAJUELA TIENE QUE SER CONTINUA.

AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE PUERTO RICO

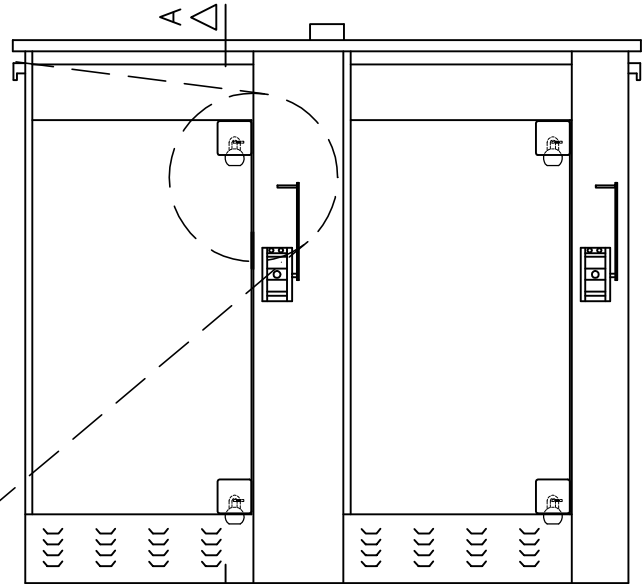
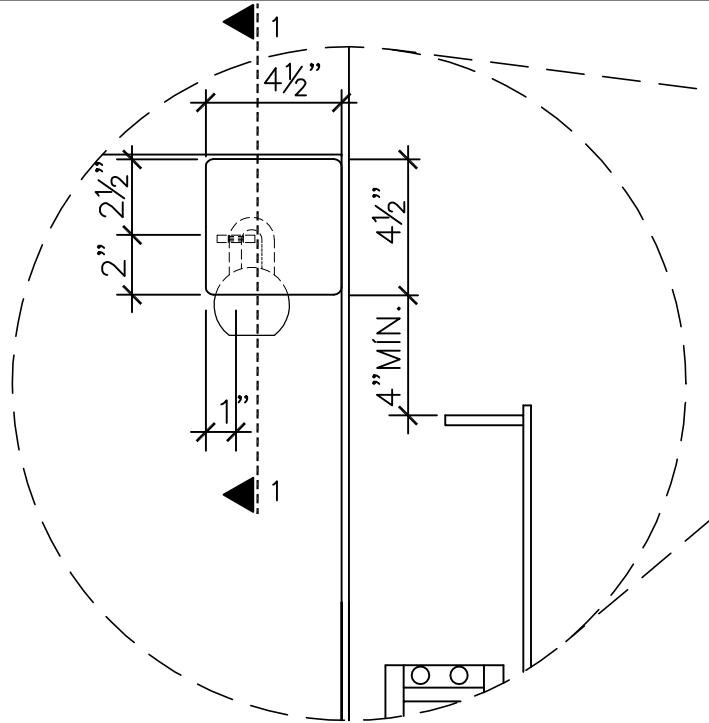
DIVISIÓN DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA

PATRONES DE DISTRIBUCIÓN SOTERRADA

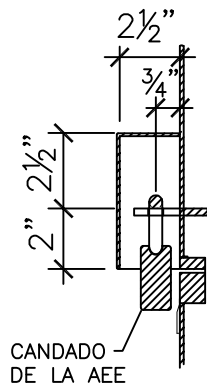


TÍTULO :
 PROTECCIÓN EXTERIOR PARA UNIDAD
 SECCIONADORA CON INTERRUPTOR DE
 CARGA (OPERACIÓN CONJUNTA) DE
 600 AMPERIOS (URD-11A)

PATRÓN NÚM. SUVP-2 REVISIÓN 0
 PÁGINA 1 FECHA _____
 REVISADO JESÚS D. PEÑA OTERO
 SOMETIDO LUIS R. SOTO VEGA
 RECOMENDADO RAÚL BURGOS SANTIAGO
 APROBADO JOSUÉ A. COLÓN ORTIZ
 DIGITALIZADO RENÉ TORRES / SAMUEL CAMACHO

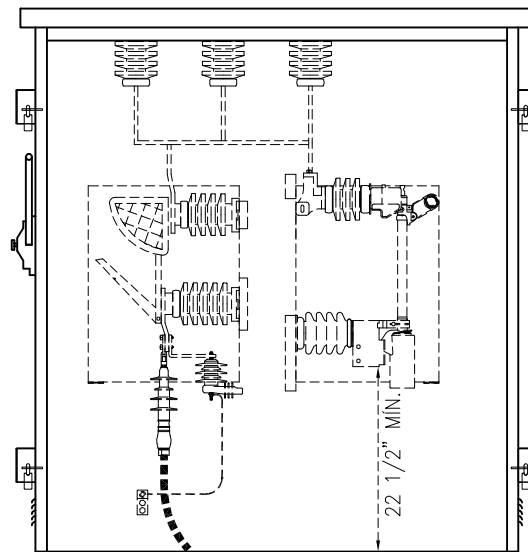


VISTA FRONTAL



CANDADO
 DE LA AEE

SECCIÓN 1-1



SECCIÓN A-A

NOTAS:

- 1-ESTE PATRÓN NO ALTERA LO DISPUESTO EN EL COMUNICADO 03-05, CON EXCEPCIÓN DE LA ADICIÓN DE LA CAJUELA.
- 2-EL PORTACANDADO TIENE QUE INSTALARSE SIEMPRE DE FORMA HORIZONTAL Y SER DE UN GROSOR EQUIVALENTE AL DOBLE DEL CALIBRE 14 O INSTALAR UN PORTACANDADO DOBLE DE CALIBRE 14.
- 3-EL EQUIPO NO TENDRÁ **HANDLES** CONVENCIONALES. LA CAJUELA SE UTILIZARÁ COMO **HANDLE** Y SUS BORDES NO PUEDEN TENER FILOS CORTANTES.
- 4-LA INSTALACIÓN DE LA CAJUELA ESTÁ SUJETA A LA UBICACIÓN DEL PORTACANDADO, SIN EXCEDER LOS BORDES DE LAS PUERTAS.
- 5-TODA SOLDADURA EN LA CAJUELA TIENE QUE SER CONTINUA.
- 6-LA MANIVELA EN SU POSICIÓN DE ABIERTO O CERRADO TIENE QUE ESTAR A CUATRO (4) PULGADAS O MÁS DE CUALQUIER PARTE DE LA CAJUELA.

ESTADO LIBRE ASOCIADO DE PUERTO RICO
AUTORIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE PUERTO RICO
SAN JUAN, PUERTO RICO



3 de junio de 2010

COMUNICADO 10-03

INGENIEROS, DISEÑADORES, CONSULTORES, PROYECTISTAS, ASOCIACIÓN DE CONTRATISTAS ELECTRICISTAS DE PUERTO RICO, MANUFACTUREROS DE EQUIPO ELÉCTRICO, INSTITUTO DE INGENIEROS ELECTRICISTAS, SOCIEDAD DE INGENIEROS ELECTRICISTAS, COLEGIO DE INGENIEROS Y AGRIMENSORES, COLEGIO DE PERITOS ELECTRICISTAS, DIRECTORES, ADMINISTRADORES REGIONALES, SUPERINTENDENTES, SUPERVISORES E INSPECTORES

CÓMPUTOS DE TENSIÓN DE HALADO PARA CONDUCTORES EN CONDUCTOS SOTERRADOS

La Autoridad de Energía Eléctrica (AEE) revisa regularmente los manuales técnicos y normas que regulan el diseño y construcción de instalaciones eléctricas en Puerto Rico. Recientemente, se ofrecieron presentaciones sobre el diseño y construcción de sistemas soterrados en distintos foros de Puerto Rico a diseñadores y contratistas relacionados con la industria de la construcción. En estas presentaciones se explicó cómo realizar los cálculos de halado de un diseño de cable soterrado. Como resultado del intercambio de opiniones profesionales en estas presentaciones, la AEE decidió establecer los parámetros bajo los cuales evaluará uniformemente los resultados de los cálculos de tensión de halado para la instalación de cables en conductos soterrados de los diseños que se sometan para endoso. Incluimos la revisión del Apéndice 31 del *Manual de Patrones de Distribución Soterrada* vigente (ver Anejo), en el que se establece el procedimiento para realizar estos cálculos.

La AEE requiere que se presenten los cálculos de tensión de halado para los cables en diseños de sistemas eléctricos soterrados a voltaje de distribución primaria, subtransmisión y transmisión, con el propósito de verificar que éstos garanticen que no se afectaría la vida útil de los cables. Es necesario que el diseño permita que el cable se instale sin aplicarle tensiones excesivas, para lo cual el diseñador tiene que considerar lo siguiente:

1. Seleccionar el tamaño de conducto correcto.
2. Proveer registros espaciados correctamente.

3. Limitar la cantidad de curvas.
4. Estimar la tensión de halado.
5. Estimar la presión de pared lateral.

La AEE establece la aplicación de los siguientes parámetros y criterios:

- El factor de corrección de peso es un factor adimensional que influye en la tensión de halado y se computa a base de los diámetros del conducto y el cable, según la configuración en que quedan éstos al entrar en el conducto. Se evaluaron las consideraciones de seguridad para los cables en los casos donde se alambra con conductores de distinto calibre y tipo de aislamiento. La AEE establece que para los tramos que incluyen las tres fases y el neutral, se tiene que calcular el factor de corrección de peso (w) con la ecuación para cuatro cables o más.
- La presión de pared lateral es el vector de la fuerza del cable contra el conducto al halarlo en una curva. Para halar tres cables, se recomienda un máximo de pared lateral de 750 lb/pie. Debido al margen de seguridad que se provee al calcular el factor de corrección de peso según indicado previamente, la AEE permite una presión de pared lateral máxima de 1,000 lb/pie.
- El coeficiente de fricción dinámica que se utiliza para instalaciones soterradas es una medida de la fricción entre un cable en movimiento y el conducto. Este valor varía según el tipo de cubierta del cable, la categoría y condición interior del conducto y la clase y cantidad de lubricante utilizado durante el proceso de halado. Para circuitos soterrados de distribución primaria, la AEE tiene aprobada la cubierta con clasificación *Linear Low-Density Polyethylene* (LLDPE) para cables con aislamiento para 15 kV y requiere conductos de polímero de cloruro de vinilo (*polyvinyl chloride* - PVC) *Schedule* (SCH) 40 para su instalación. El tipo de lubricante puede variar para cada instalación nueva o remplazo por avería del cable. La AEE establece que el valor del coeficiente de fricción a utilizarse en los cálculos de halado es 0.35. Ese es el valor recomendado para un halado bien lubricado con PVC y LLDPE, según el *Power Cable Installation Guide* de 2005 de *Southwire Company*. Ese valor es fijo, por lo que el diseñador tiene que hacer los ajustes adecuados a su diseño para que sus cálculos de halado cumplan con lo requerido al utilizar ese valor. De este modo, prevemos un proceso de halado seguro, sin tener que considerar las variaciones en el tipo de lubricante que se utilice en el campo.

El diseñador tiene que presentar los cálculos de todos los tramos con mayor dificultad para alambra, basado en el largo y cantidad de curvas en los mismos, además de cálculos representativos de cada tipo de tramo. Los datos tienen que incluir el coeficiente de fricción dinámica entre la cubierta del cable y la superficie del conducto; el peso del cable o conjunto de cables; la cantidad, localización, ángulo y radio de las curvas; y el método de halado (ojo de halar, agarre de canasta, etc.) a utilizarse para alambra cada tramo. Se tienen que mostrar en una hoja del plano los resultados de los cálculos que se presenten, en forma tabulada por tramo, que incluyan la tensión a la salida del tramo, la presión de pared lateral y la dirección en la cual se va a alambra.

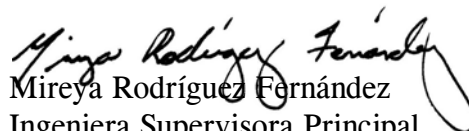
El diseñador es responsable de realizar los cálculos de tensión de halado en su diseño y velar que no exceda el menor de los siguientes valores:

- Capacidad máxima permitida por el método de halado
- Tensión de halado máxima que soporta el conductor
- Presión de pared lateral
- 10,000 libras


Los funcionarios autorizados de la AEE examinan los datos y cálculos presentados antes de endosar los planos de diseño. Durante la construcción, es responsabilidad del contratista realizar la instalación de los cables de acuerdo con las especificaciones del diseñador, de modo que no se excedan las tensiones permisibles. El inspector privado tiene que certificar, como parte de su inspección, que el contratista alambrió sin exceder las tensiones recomendadas por el diseñador. La AEE se reserva el derecho de presenciar el proceso de alambrado.

Este Comunicado es efectivo para los proyectos nuevos a endosarse a partir del 1 de agosto de 2010. Los contratistas, suplidores, dueños de proyectos y desarrolladores coordinarán efectivamente sus trabajos de manera que cumplan con estos requisitos. Los Superintendentes e Ingenieros de los Departamentos de Ingeniería de Distribución, Supervisores de las Oficinas de Inspecciones e Inspectores son responsables de velar por el cumplimiento de este Comunicado.

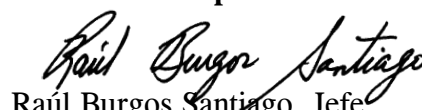
Preparado por:


Mireya Rodríguez Fernández
Ingeniera Supervisora Principal
Oficina de Ingeniería de Distribución

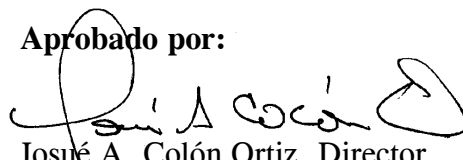
Sometido por:


Luis R. Soto Vega
Superintendente Departamento
Ingeniería de Distribución

Recomendado por:


Raúl Burgos Santiago, Jefe
División Distribución Eléctrica

Aprobado por:


José A. Colón Ortiz, Director
Generación, Transmisión y Distribución

Anejo

APÉNDICE - 31 (REVISADO)

LÍMITES DE TENSIÓN PARA LA INSTALACIÓN DE CABLES SOTERRADOS EN CONDUCTOS

La clave para conservar la vida útil de un cable es llevar a cabo una instalación que no permita tensiones de halado y presión de pared lateral excesivas. Es necesario que el diseño permita que el cable se instale sin aplicarle tensiones excesivas, por lo que los diseñadores deben tener en cuenta lo siguiente:

- Seleccionar el tamaño de conductos correcto
- Proveer registros espaciados correctamente
- Limitar la cantidad de curvas
- Predecir la tensión
- Predecir la presión de pared lateral

A. Seleccionar el tamaño del conducto

1. Por ciento de llenado

Durante la fase de diseño, hay que tomar en cuenta el por ciento de llenado para seleccionar el tamaño de conductos correcto para el arreglo de cables requerido.

- a. Calcular el área seccional de los cables a instalarse en un mismo conducto:

$$A = d^2 \cdot \text{cmil}$$

donde: d = diámetro externo del cable
 cmil = unidad de área igual a $\pi/4$
 $\text{cmil} = 0.7854 \text{ mil}^2$

- b. Verificar que el área seccional total del conjunto de cables no sobrepase el por ciento adecuado del área seccional del conducto.

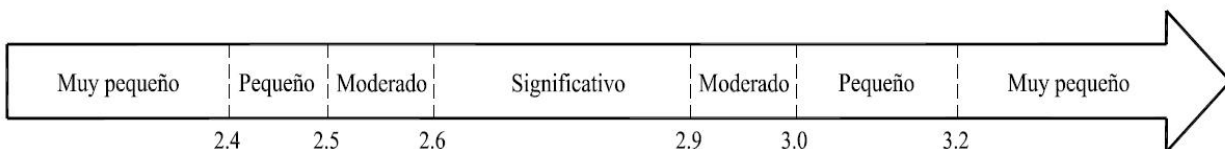
| POR CIENTO DE LLENADO | | | | | |
|------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Conducto (pulgadas) | Diámetro Interno (pulgadas) | Área Total | 2 Cables | Más de 2 Cables | 1 Cable |
| | | 100% (pulgadas ²) | 31% (pulgadas ²) | 40% (pulgadas ²) | 53% (pulgadas ²) |
| 2 | 2.047 | 3.291 | 1.020 | 1.316 | 1.744 |
| 3 | 3.042 | 7.268 | 2.253 | 2.907 | 3.852 |
| 4 | 3.998 | 12.554 | 3.892 | 5.022 | 6.654 |
| 6 | 6.031 | 28.567 | 8.856 | 11.427 | 15.141 |
| 8 | 7.981 | 50.027 | 15.508 | 20.011 | 26.514 |

2. Razón de atascamiento

Atascamiento es el acuñaamiento de tres o más cables al instalarse en un conducto. Esto ocurre generalmente como consecuencia del cruce de cables al torcerse o ser halados en curvas.

Razón de atascamiento = D/d

donde: D = diámetro interno del conducto
 d = diámetro externo del conductor



B. Factores que afectan la tensión de halado

La distancia máxima que los cables pueden halarse sin someterlos a daño depende de los siguientes factores:

- Presión de pared lateral máxima permitida por la construcción del cable
- Fortaleza del conductor o cubierta
- Coeficiente de fricción entre la cubierta del cable y la superficie del conducto
- Peso del cable
- Cantidad, localización, ángulo y radio de las curvas
- Pendiente
- Lubricación
- Método de halado (ojo de halar, agarre de canasta, etc.)

Bajo ninguna circunstancia la tensión de halado puede exceder el menor de estos valores:

- Capacidad máxima permitida por el método de halado
- Tensión de halado máxima que soporta el conductor
- Presión de pared lateral
- 10,000 libras

C. Capacidad máxima de métodos de halado

Hay dos métodos principales que se utilizan para halado de cables. Éstos son el de agarre de canasta y el de ojo de halar. El agarre de canasta utiliza una malla que se coloca sobre la cubierta de los cables en el extremo por el cual éstos van a ser halados. Esta malla se contrae al tirar de ella, por lo que presiona y sujeta así los cables durante el halado. El ojo de halar es una herramienta que se sujeta directamente al conductor para que la fuerza al alambrar se ejerza directamente en éste, que es el componente fuerte del cable. El ojo de halar puede colocarse en la fábrica o adaptarse en el campo al remover un segmento de la cubierta del conductor.

1. Agarre de Canasta

- a. Cuando se aplica sobre cables con cubierta **no metálica**, la tensión de halado tiene que limitarse a **1,000** libras.
- b. Cuando se aplica sobre cables *lead-sheathed*, la tensión de halado tiene que limitarse a **1,500** libras.



2. Ojo de Halar

Como se aplica directamente al conductor, se escoge el menor de estos valores como el límite de halado:

- 10,000 libras
- Tensión de halado máxima que soporta el conductor ($T_c = N \cdot S \cdot A$)



Cuando utilizamos ojo de halar las tensiones máximas de halado son proporcionales al área seccional del conductor.

D. Tensión Máxima en Conductores

La tensión máxima que puede resistir el conductor o centro metálico del cable se calcula de la siguiente manera:

1. Para tres conductores o menos:

$$T_c = N \cdot S \cdot A \text{ lb}$$

2. Para más de tres conductores:

$$T_c = (0.8)N \cdot S \cdot A \text{ lb}$$

donde: N = número de conductores
S = esfuerzo permitido (lb/cmil)
A = área de cada conductor (cmil)

| ESFUERZO MÁXIMO PERMITIDO EN CONDUCTOR (S) | |
|--|-------------|
| Metal | S (lb/cmil) |
| Cobre | 0.008 |
| Aleación Aluminio 1350 | 0.008 |
| Aleación Aluminio Serie 8000 | 0.006 |

| ÁREA SECCIONAL DEL CONDUCTOR | | | |
|-------------------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| Calibre (AWG) | A (cmil) | Calibre (kcmil) | A (cmil) |
| 14 | 4,110 | 250 | 250,000 |
| 12 | 6,530 | 300 | 300,000 |
| 10 | 10,380 | 350 | 350,000 |
| 8 | 16,510 | 400 | 400,000 |
| 7 | 20,820 | 450 | 450,000 |
| 6 | 26,240 | 500 | 500,000 |
| 5 | 33,090 | 550 | 550,000 |
| 4 | 41,740 | 600 | 600,000 |
| 3 | 52,620 | 650 | 650,000 |
| 2 | 66,360 | 700 | 700,000 |
| 1 | 83,690 | 750 | 750,000 |
| 1/0 | 105,600 | 800 | 800,000 |
| 2/0 | 133,100 | 900 | 900,000 |
| 3/0 | 167,800 | 1000 | 1,000,000 |
| 4/0 | 211,600 | 1200 | 1,200,000 |

La tabla a continuación tiene valores de T_c calculados para los calibres y aislamientos de los cables más utilizados, para que se pueda usar como guía si no hay información precisa del fabricante del cable.

| TENSIÓN MÁXIMA DE CONDUCTORES DE COBRE (N = 1) | | |
|---|----------------------|------------------------------|
| Aislamiento | Calibre (AWG) | T_c (lb) |
| 600 V | 2 | 530.88 |
| | 1/0 | 844.80 |
| | 2/0 | 1,064.80 |
| | 3/0 | 1,342.40 |
| | 4/0 | 1,692.80 |
| | 500 | 4,000.00 |
| 15 kV | 2 | 530.88 |
| | 1/0 | 844.80 |
| | 2/0 | 1,064.80 |
| | 3/0 | 1,342.40 |
| | 4/0 | 1,692.80 |
| | 500 | 4,000.00 |
| 46 kV | 750 | 6,000.00 |
| | 800 | 6,400.00 |
| | 2000 | 16,000.00 |

E. Ecuaciones para tensión de halado

- Sección Horizontal Recta:

$$T_{out} = w\mu WL + T_{in}$$

- Sección Inclínada y Vertical:

$$T_{out} = WL (\sin \theta + w\mu \cos \theta) + T_{in}$$

- Aproximación para Curvas:

$$T_{out} = T_{in} \cdot e^{w\mu\Phi}$$

donde:

T_{in} = tensión en sección (lb)

T_{out} = tensión fuera de sección (lb)

w = factor de corrección de peso (adimensional)

μ = coeficiente de fricción dinámica (adimensional)

W = peso total del conjunto de cables (lb/pie)

L = largo de sección recta (pie)

θ = ángulo de sección recta desde horizontal (radianes)

Φ = ángulo de curvatura (radianes)

e = 2.718 base de logaritmo natural

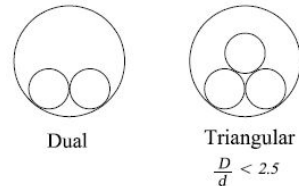
1. Factor de Corrección de Peso, w

- 1 cable (sencillo)

$$w = 1$$

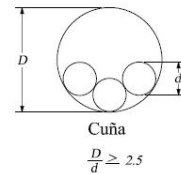
- 2 cables (dual) o 3 cables (triangular)

$$w = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{d}{D-d}\right)^2}}$$



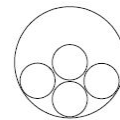
- 3 cables (cuña)

$$w = 1 + \frac{4}{3} \cdot \left(\frac{d}{D-d}\right)^2$$



- 4 cables o más (complejo)

$$w = 1.4$$



donde: D = diámetro interno del conducto
 d = diámetro externo del cable

| DIÁMETRO DE CONDUCTOS MÁS USADOS (PARA OBTENER <i>D</i>) | | |
|---|--|-----------------------------|
| Tamaño Conducto (pulgadas) | Diámetro Interno (<i>D</i>) (pulgadas) | Diámetro Externo (pulgadas) |
| 2 | 2.047 | 2.375 |
| 3 | 3.042 | 3.500 |
| 4 | 3.998 | 4.500 |
| 6 | 6.031 | 6.625 |
| 8 | 7.981 | 8.625 |

| DIÁMETRO EXTERNO DE CABLES MÁS USADOS (PARA OBTENER <i>d</i>) | | |
|--|---------------|---------------------|
| Aislamiento | Calibre (AWG) | <i>d</i> (pulgadas) |
| 600 V | 2 | 0.423 |
| | 1/0 | 0.531 |
| | 2/0 | 0.571 |
| | 3/0 | 0.620 |
| | 4/0 | 0.675 |
| | 500 | 0.982 |
| 15 kV | 2 | 0.939 |
| | 1/0 | 1.014 |
| | 2/0 | 1.059 |
| | 3/0 | 1.108 |
| | 4/0 | 1.163 |
| | 500 | 1.457 |
| | 750 | 1.638 |
| 46 kV | 800 | 2.301 |
| | 2000 | 2.961 |

2. Coeficiente de Fricción Dinámica, μ :

El coeficiente de fricción dinámica es una medida de la fricción entre un cable en movimiento y el conducto. Éste es característico de cada par de materiales y no una propiedad intrínseca de un material. Varía con el tipo de cubierta, el tipo y condición del conducto, el tipo y cantidad de lubricante utilizado para el halado, la temperatura del conductor y la temperatura del ambiente.

| COEFICIENTES TÍPICOS DE FRICCIÓN DINÁMICA (μ) LUBRICACIÓN ADECUADA DEL CABLE DURANTE EL HALADO ^(A) | | | | |
|--|---------------------------------|------|-----|-----|
| Exterior del Cable | Tipo de Conducto ^(B) | | | |
| | M | PVC | FIB | ASB |
| PVC – <i>Polyvinyl Chloride</i> | 0.4 | 0.35 | 0.5 | 0.5 |
| PE – <i>Low Density HMW Polyethylene</i> | 0.35 | 0.35 | 0.5 | 0.5 |
| PO – <i>Polyolefin</i> | 0.35 | 0.35 | 0.5 | 0.5 |
| CSPE – <i>Chlorosulfonated Polyethylene</i> | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.6 |
| XLPE – <i>Cross-Linked PE</i> | 0.35 | 0.35 | 0.5 | 0.5 |
| <i>Nylon</i> | 0.4 | 0.35 | 0.5 | 0.5 |
| CPE – <i>Chlorinated PE</i> | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.6 |

(A) Éstos representan valores conservadores a utilizarse en lugar de información más precisa.

(B) Códigos de conducto:

M = metálico, acero o aluminio

PVC = *polyvinyl chloride*, pared fina o SCH 40

FIB = conducto de fibra

ASB = asbesto cemento

3. Peso Total del Cable, W:

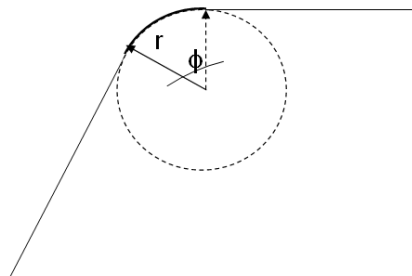
Esta tabla se puede usar como guía si no hay información precisa del fabricante del cable.

| PESO APROXIMADO DE CABLES | | |
|---------------------------|---------------|------------|
| Aislamiento | Calibre (AWG) | W (lb/pie) |
| 600 V | 2 | 0.244 |
| | 1/0 | 0.385 |
| | 2/0 | 0.478 |
| | 3/0 | 0.593 |
| | 4/0 | 0.735 |
| | 500 | 1.685 |
| 15 kV | 2 | 0.523 |
| | 1/0 | 0.684 |
| | 2/0 | 0.797 |
| | 3/0 | 0.931 |
| | 4/0 | 1.096 |
| | 500 | 2.171 |
| | 750 | 3.070 |
| 46 kV | 800 | 4.217 |
| | 2000 | 8.767 |

Nota: Para calcular la tensión de halado se multiplica el peso (W) por la cantidad de cables.

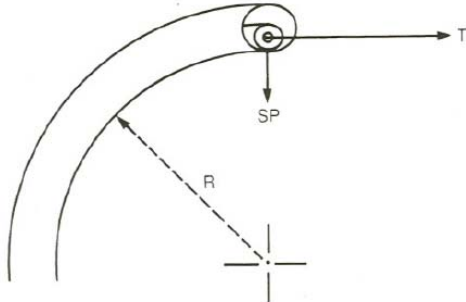
4. Ángulo de Curvatura, Φ :

Cuando no se utilizan curvas estándares para construir una curva, el ángulo de esta curva se determina por el radio del círculo que se formaría a partir de esa curva, según se ilustra. Este ángulo tiene que ser en radianes para utilizarse en la ecuación de halado.



F. Presión de Pared Lateral

La presión de pared lateral es el vector de la fuerza que existe en el cable al ser halado en una curva.



- Configuración sencilla:
 $SP = T/R$
- Configuración triangular:
 $SP = w \cdot T/2R$
- Configuración tipo cuña o compleja:
 $SP = (3w - 2) \cdot T/3R$

donde:

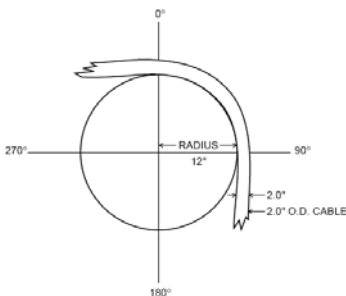
SP = presión de pared lateral (lb/pie)
T = tensión al salir de la curva (lb)
R = radio de curvatura (pies)

Muchos fabricantes de cables recomiendan una presión de pared lateral máxima de 500 lb/pie. La siguiente tabla muestra los valores mayores permitidos según el tipo de aislamiento del cable. La AEE recomienda una presión de pared lateral máxima de 1,000 lb/pie.

| TIPO DE CABLE | SP (lb/pie) |
|--|-------------|
| Cable de control e instrumentación, sin cubierta para 300V y con cubierta para 300V y 600V | 500 |
| Cable de control e instrumentación sin cubierta para 600V | 500 |
| Cable de potencia sin cubierta para 600V y 2400V | 1000 |
| Cable de potencia con cubierta para 5kV-35kV | 1000 |
| Cable con armadura cerrada | 300 |

G. Radio Mínimo de Curvatura

El radio mínimo de curvatura es el radio mínimo al que podemos doblar un cable sin dañarlo o acortar su vida útil. Éste depende de la construcción del cable.



| NEC RECOMMENDED MINIMUM BENDING RADII [†] | |
|--|-------|
| Single and Multiple Conductors Over 600 Volts | |
| Shielded and Lead Covered (NEC 300.34) | 12 |
| Nonshielded and Nonarmored | 8 |
| Multiconductor or Multiplexed Cable | 12/7* |

*12 times individual shielded conductor diameter or 7 times overall cable diameter, whichever is greater.
[†] Southwire Company Power Cable Manual, Second Edition, United States, 1997.

Este valor nos permite identificar el diámetro de las herramientas de alambrado. Para obtener el ancho adecuado de la herramienta, es necesario considerar el diámetro total del cable o conjunto de cables con el que se va a alambrear.

Para calcular el diámetro total de un conjunto de cables con diámetro uniforme, se multiplica el diámetro externo de un cable individual por el factor que aplica de la tabla a continuación.

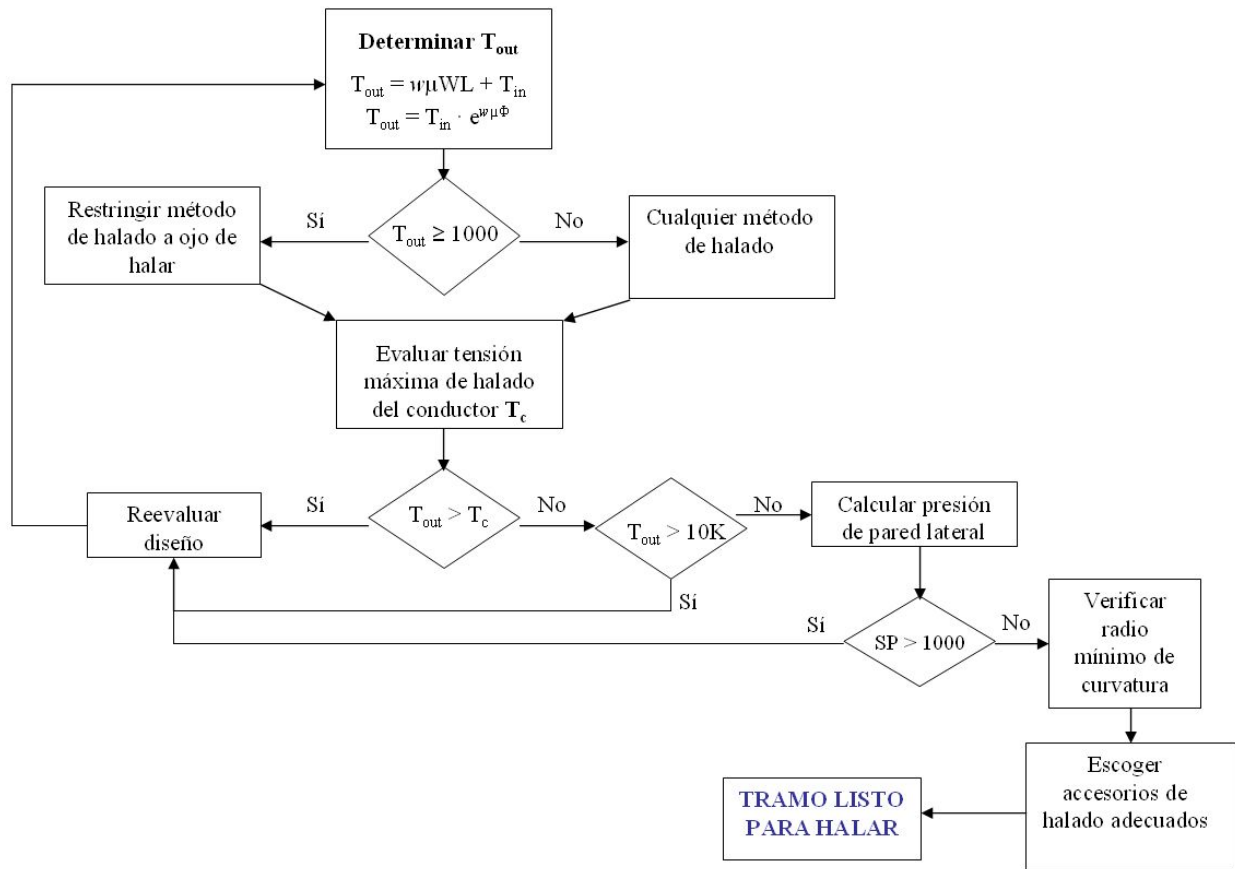
| CANTIDAD DE CONDUCTORES | FACTOR |
|-------------------------|--------|
| 1 | 1.000 |
| 2 | 2.000 |
| 3 | 2.155 |
| 4 | 2.414 |
| 5 | 2.700 |
| 6 | 3.000 |
| 7 | 3.000 |
| 8 | 3.310 |
| 9 | 3.610 |

H. Herramientas para Alambrear

Las siguientes ilustraciones muestran algunas herramientas para alambrear:



I. Flujograma para Determinar Tensiones de Halado Adecuadas



J. Ejemplo:

- 1) Seleccionar el tamaño del conducto de PVC Schedule 40 para 3 conductores de cobre con calibre 800 kcmil para 46kV y 1 conductor con calibre 4/0 AWG para 600 V:

a) Área seccional del conjunto de cables:

$$A = d^2 \cdot \text{cmil}$$

$$A = [(2.301)^2 \cdot 0.7854 \cdot 3] + [(0.675)^2 \cdot 0.7854 \cdot 1] = 12.833 \text{ pulgadas}^2$$

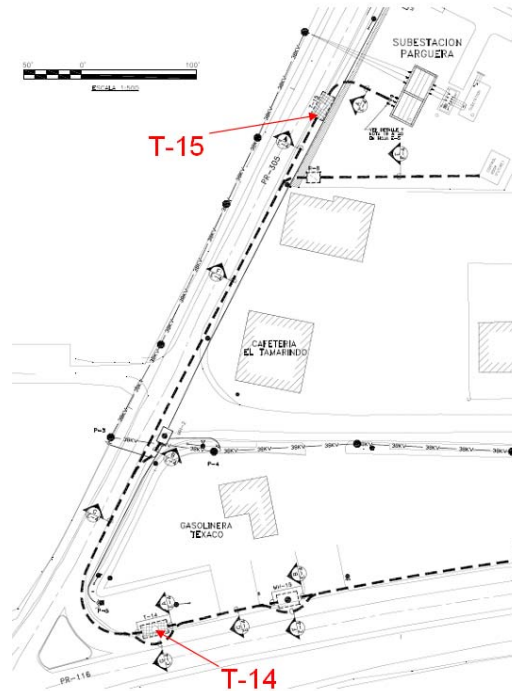
| POR CIENTO DE LLENADO | | | | | |
|------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Conducto (pulgadas) | Diámetro Interno (pulgadas) | Área Total | 2 Cables | Más de 2 Cables | 1 Cable |
| | | 100% pulgadas ² | 31% pulgadas ² | 40% pulgadas ² | 53% pulgadas ² |
| 2 | 2.047 | 3.291 | 1.020 | 1.316 | 1.744 |
| 3 | 3.042 | 7.268 | 2.253 | 2.907 | 3.852 |
| 4 | 3.998 | 12.554 | 3.892 | 5.022 | 6.654 |
| 6 | 6.031 | 28.567 | 8.856 | 11.427 | 15.141 |
| 8 | 7.981 | 50.027 | 15.508 | 20.011 | 26.514 |

b) Razón de atascamiento:

$$\text{Atascamiento} = D/d$$

$$\text{Atascamiento} = 7.981/2.301 = 3.468$$

2) Determinar si el alambrado de T-15 a T-14 cumple con las condiciones de tensión permitidas:



a) Determinar T_{out} :

$$T_{out} \text{ en sección horizontal recta} = w\mu WL + T_{in}$$

$$T_{in} = 0$$

$$T_{out} = (1.4)(0.35)[(3 \cdot 4.217) + (1 \cdot 0.735)](450') + 0$$

$$T_{out} = 2,951.61 \text{ lbs}$$

$$T_{out} \text{ en sección curva} = T_{in} \cdot e^{w\mu\Phi}$$

$$T_{in} = T_{out} \text{ en sección horizontal recta anterior}$$

$$\Phi = 111^\circ(\pi/180^\circ) = 1.937 \text{ rad}$$

$$T_{out} = (2951.61) e^{(1.4 \cdot 0.35 \cdot 1.937)}$$

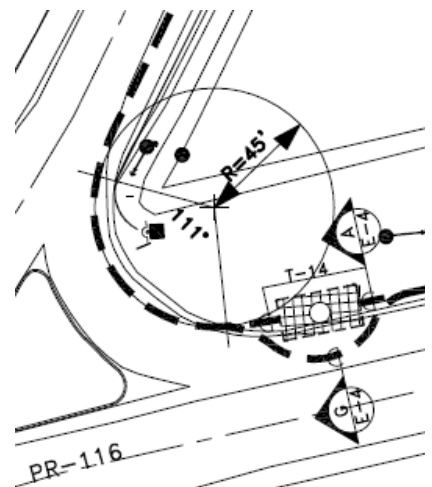
$$T_{out} = 7,625.38 \text{ lbs}$$

$$T_{out} \text{ en sección horizontal recta} = w\mu WL + T_{in}$$

$$T_{in} = T_{out} \text{ en sección curva anterior}$$

$$T_{out} = (1.4)(0.35)[(3 \cdot 4.217) + (1 \cdot 0.735)](27') + 7625.38$$

$$T_{out} = 7,802.47 \text{ lbs}$$



b) ¿ $T_{out} \geq 1000$?

Sí, entonces restringimos el método de halado a ojo de halar.

c) Evaluar T_C :

$$T_C = (0.8)N \cdot S \cdot A$$

$$T_C = (0.8)4 \cdot 0.008 \cdot 800,000$$

$$T_C = 20,480 \text{ lbs}$$

d) ¿ $T_{out} > T_C$?

No

e) ¿ $T_{out} > 10,000$?

No

f) Presión de pared lateral:

$$SP = (3w - 2) \cdot T_{out}/3R$$

$$SP = ((3 \cdot 1.4) - 2) \cdot 7,625.38/(3 \cdot 45')$$

$$SP = 124.27 \text{ lb/pie}$$

g) ¿ $SP > 1000$?

No

h) Radio mínimo de curvatura:

$$R_{min} = \text{factor} \cdot d$$

$$R_{min} = 12 \cdot 2.301''$$

$$R_{min} = 27.61'' = 2.3'$$

i) Diámetro del conjunto de cables:

$$\text{diámetro} = d \cdot \text{factor}$$

$$\text{diámetro} = 2.301'' \cdot 2.155$$

$$\text{diámetro} = 4.96''$$

3) Determinar la tensión de halado de T-14 a T-15 para comparar:

Determinar T_{out} :

$$T_{out} \text{ en sección horizontal recta} = w\mu WL + T_{in}$$

$$T_{in} = 0$$

$$T_{out} = (1.4)(0.35)[(3 \cdot 4.217) + (1 \cdot 0.735)](27') + 0$$

$$T_{out} = 177.10 \text{ lbs}$$

$$T_{\text{out}} \text{ en sección curva} = T_{\text{in}} \cdot e^{w\mu\Phi}$$

$$T_{\text{in}} = T_{\text{out}} \text{ en sección horizontal recta anterior}$$

$$\Phi = 111^\circ(\pi/180^\circ) = 1.937 \text{ rad}$$

$$T_{\text{out}} = (177.10) e^{(1.4 \cdot 0.35 \cdot 1.937)}$$

$$T_{\text{out}} = 457.52 \text{ lbs}$$

$$T_{\text{out}} \text{ en sección horizontal recta} = w\mu WL + T_{\text{in}}$$

$$T_{\text{in}} = T_{\text{out}} \text{ en sección curva anterior}$$

$$T_{\text{out}} = (1.4)(0.35)[(3 \cdot 4.217) + (1 \cdot 0.735)](450') + 457.52$$

$$T_{\text{out}} = 3,409.14 \text{ lbs}$$



**DEROGADO POR
COMUNICADO 15-03**

2 de junio de 2010

COMUNICADO 10-02

INGENIEROS, DISEÑADORES, CONSULTORES, PROYECTISTAS, ASOCIACIÓN DE CONTRATISTAS ELECTRICISTAS DE PUERTO RICO, MANUFACTUREROS DE EQUIPO ELÉCTRICO, INSTITUTO DE INGENIEROS ELECTRICISTAS, SOCIEDAD DE INGENIEROS ELECTRICISTAS, COLEGIO DE INGENIEROS Y AGRIMENSORES, COLEGIO DE PERITOS ELECTRICISTAS, DIRECTORES, ADMINISTRADORES REGIONALES, SUPERINTENDENTES, SUPERVISORES E INSPECTORES

ACLARACIÓN COMUNICADO 09-07 - NUEVA REGLAMENTACIÓN PARA LA ADQUISICIÓN DE TRANSFORMADORES ADOPTADA POR EL DEPARTAMENTO DE ENERGÍA FEDERAL (DOE)

La Autoridad de Energía Eléctrica (AEE) publicó el 28 de octubre de 2009, el Comunicado 09-07 donde adopta la nueva reglamentación del Departamento de Energía (DOE, por sus siglas en inglés) de Estados Unidos, para la adquisición de los transformadores de distribución monofásicos y trifásicos con aislamiento en aceite. El DOE estableció el estándar de conservación de energía referente a la eficiencia de los transformadores en la publicación del 12 de octubre de 2007 del *Federal Register: Energy Conservation Program for Commercial and Industrial Equipment: Distribution Transformers Energy Conservation Standards, Final Rule (10 CFR Part 431)*.

La eficiencia en los transformadores se mide según se establece en los estándares de prueba NEMA TP-2 2005 y *Energy Conservation Program for Commercial: Test for Distribution Transformers; Final Rule (10 CFR Part 431)* del DOE. Los niveles de eficiencia mínimos que establece el DOE para los transformadores de distribución con aislamiento en aceite según su capacidad, se muestran en la Tabla I.1.*.

* Información tomada del *Federal Register*, Vol. 72, No. 197 / Friday, October 12, 2007 / Rules and Regulations, Part III Department of Energy, 10 CFR Part 431, *Energy Conservation Program Equipment: Distribution Transformers Energy Conservation Standards; Final Rule*.

TABLE I.1.—STANDARD LEVELS FOR LIQUID-IMMERSED DISTRIBUTION TRANSFORMERS, TABULAR FORM

| Single-phase | | Three-phase | |
|--------------|----------------|-------------|----------------|
| kVA | Efficiency (%) | kVA | Efficiency (%) |
| 10 | 98.62 | 15 | 98.36 |
| 15 | 98.76 | 30 | 98.62 |
| 25 | 98.91 | 45 | 98.76 |
| 37.5 | 99.01 | 75 | 98.91 |
| 50 | 99.08 | 112.5 | 99.01 |
| 75 | 99.17 | 150 | 99.08 |
| 100 | 99.23 | 225 | 99.17 |
| 167 | 99.25 | 300 | 99.23 |
| 250 | 99.32 | 500 | 99.25 |
| 333 | 99.36 | 750 | 99.32 |
| 500 | 99.42 | 1000 | 99.36 |
| 667 | 99.46 | 1500 | 99.42 |
| 833 | 99.49 | 2000 | 99.46 |
| | | 2500 | 99.49 |

Note: All efficiency values are at 50 percent of nameplate-rated load, determined according to the DOE test procedure. 10 CFR Part 431, Subpart K, Appendix A.

La Tabla I.1. se adopta en su totalidad y su eficiencia es la mínima aceptada por la AEE. Estos valores de eficiencia pueden ser de igual o mayor valor, pero nunca menor. La AEE no aceptará niveles inferiores de eficiencia ni de tolerancias por debajo del valor de la Tabla I.1. La AEE puede aceptar valores de eficiencia por encima al presentado en la Tabla I.1., lo que significa cero tolerancias del valor indicado en la tabla. Los fabricantes deberán ajustar sus valores de pérdidas en el núcleo y en el embobinado, de manera que puedan cumplir con los valores de eficiencia establecidos en la Tabla I.1. y con el Comunicado 09-07. Los anejos I y II incluidos en ese Comunicado, son para uso interno de la AEE y los valores utilizados son una guía o referencia.

En el Comunicado 09-07 se estableció que desde el 1 de enero de 2010, sólo se aceptarán transformadores que cumplan con la reglamentación del DOE. La AEE requiere que todo transformador a instalarse en los proyectos de construcción privado o a ser transferido a su sistema cumpla con los valores de eficiencia de la Tabla I.1.

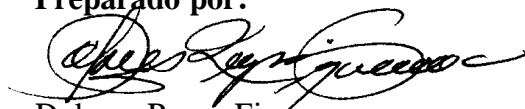
Los transformadores a ser instalados en proyectos cuya infraestructura vaya a ser transferida a la AEE o en subestaciones privadas con medición secundaria, tienen que cumplir con la eficiencia mínima sin tolerancia establecida en la Tabla I.1. En proyectos de subestaciones privadas con medición primaria, los transformadores tienen que cumplir con la eficiencia especificada en la Tabla I.1, sin embargo, se permitirá un nivel de tolerancia según autorizado por el DOE. Los diseñadores tienen que incluir en sus planos una nota para especificar que todo transformador a adquirirse cumple con los criterios de pérdidas reducidas según, se establece en este Comunicado.

En los casos de transformadores existentes en Puerto Rico sin energizar u órdenes de compras pendientes a recibir que no cumplían con el DOE al 31 de diciembre de 2009, la AEE solicitó listas de los inventarios de transformadores para autorizar su uso y agotarlos.

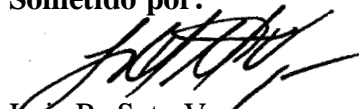
Mediante este Comunicado, extendemos la fecha límite para utilizar estos transformadores hasta el 31 de diciembre de 2011.

Todo transformador, nuevo a partir del 1 de enero de 2010, tiene que ser provisto por una compañía previamente evaluada y aceptada por la AEE para la manufactura de éste. De necesitar más información sobre el proceso de aprobación, puede comunicarse a la Oficina de Especificaciones y Suministros de la División de Distribución Eléctrica por el (787) 521-6531 ó (787) 521-6532.

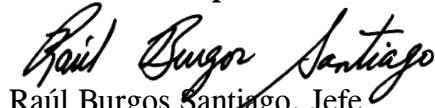
Este comunicado aclara y amplía el Comunicado 09-07 del 28 de octubre de 2009 y es efectivo inmediatamente. Los Ingenieros y Supervisores de las Oficinas Técnicas de Distrito, Superintendentes e Ingenieros de los Departamentos de Ingeniería de Distribución, Supervisores de las Oficinas de Inspecciones e Inspectores son responsables de velar por el cumplimiento de este Comunicado.

Preparado por:

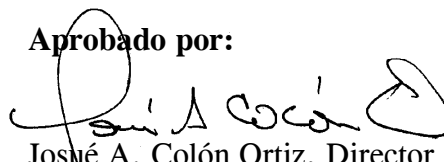
Dolores Reyes Figueroa
Superintendente Departamento
Materiales y Sistemas de Medición

Sometido por:

Luis R. Soto Vega
Superintendente Departamento
Ingeniería de Distribución

Recomendado por:

Raúl Burgos Santiago, Jefe
División Distribución Eléctrica

Aprobado por:

José A. Colón Ortiz, Director
Generación, Transmisión y Distribución



**DEROGADO POR
COMUNICADO 14-01**

12 de mayo de 2010

COMUNICADO 10-01

INGENIEROS, DISEÑADORES, CONSULTORES, PROYECTISTAS, ASOCIACIÓN DE CONTRATISTAS ELECTRICISTAS DE PUERTO RICO, MANUFACTUREROS DE EQUIPO ELÉCTRICO, INSTITUTO DE INGENIEROS ELECTRICISTAS, SOCIEDAD DE INGENIEROS ELECTRICISTAS, COLEGIO DE INGENIEROS Y AGRIMENSORES, COLEGIO DE PERITOS ELECTRICISTAS, DIRECTORES, ADMINISTRADORES REGIONALES, SUPERINTENDENTES, SUPERVISORES E INSPECTORES

SERVICIO SECUNDARIO MENOR DE 50 KVA

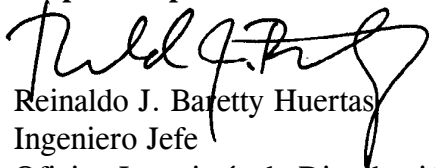
La Autoridad de Energía Eléctrica (AEE), en su interés por promover el desarrollo económico de Puerto Rico, revisó recientemente el proceso de facturación por la instalación de transformadores y sus accesorios para los servicios secundarios con carga menor de 50 kVA.

En los casos en que la conexión de un servicio secundario con carga menor de 50 kVA requiera la instalación o aumento de capacidad de uno o varios transformadores y sus accesorios, tales como: cajas portafusibles, fusibles, pararrayos, sistema de conexión a tierra y conectores; la AEE realizará la instalación de los mismos libre de costo para el dueño del proyecto. Se aplicará este criterio a servicios secundarios residenciales o comerciales, tanto soterrados como aéreos.

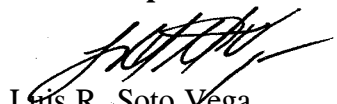
Es responsabilidad del dueño del proyecto el diseño y la construcción de cualquier trabajo adicional, de ser necesario, para crear la infraestructura eléctrica para servir el proyecto. Estos trabajos pudieran incluir la extensión de líneas primarias o secundarias y la construcción de bases para transformadores tipo plataforma. En caso de que la AEE tenga que realizar la construcción de una mejora para servir el proyecto que incluya uno o varios de los siguientes trabajos: remplazo o instalación de líneas de distribución secundaria en postes existentes, instalación de líneas para distribución primaria en postes existentes o remplazo de postes para distribución secundaria por postes para distribución primaria; la AEE facturará al dueño del proyecto el costo total de estos trabajos.

Cuando se solicite un servicio exclusivo a la AEE, el dueño del proyecto será responsable del pago del costo total de la construcción de las instalaciones eléctricas que incluye el costo de los transformadores. En proyectos de lotificaciones simples u otras lotificaciones para uso residencial, el dueño del proyecto será responsable de la construcción del sistema eléctrico, lo cual incluye los transformadores. En caso de que para una lotificación se requiera el aumento de capacidad de un transformador existente, la AEE facturará al dueño del proyecto el costo de este trabajo y del transformador.


Este Comunicado cancela y sustituye el Comunicado 06-02 - *Servicio Secundario Menor de 50 kVA* y es efectivo inmediatamente. Los Ingenieros y Supervisores de las Oficinas Técnicas de Distrito, Superintendentes e Ingenieros de los Departamentos de Ingeniería de Distribución, Supervisores de las Oficinas de Inspecciones e Inspectores son responsables de velar por el cumplimiento de este Comunicado.

Preparado por:

Reinaldo J. Baretty Huertas
Ingeniero Jefe
Oficina Ingeniería de Distribución

Sometido por:

Luis R. Soto Vega
Superintendente, Departamento
Ingeniería de Distribución

Recomendado por:

Raúl Burgos Santiago, Jefe
División Distribución Eléctrica

Aprobado por:

Josué A. Colón Ortiz, Director
Generación, Transmisión y Distribución