







# TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	<b>REV.</b> <b>0</b>		
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E		
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21		
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A		ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm	PÁGINA: 1 de 34

## CONTROL DE CAMBIOS



Fecha			Elaboró y revisó	Aprobó	Descripción	Entrada en vigencia		
DD	MM	AA				DD	MM	AA
21	12	2015	Unidad CET N&E	Gerencia CET	Creación de la norma	21	12	2015



<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A		ESCALA: N/A
		UNIDAD DE MEDIDA: mm	PÁGINA: 2 de 34

## CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS .....	4
1. OBJETO .....	5
2. ALCANCE .....	5
3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA.....	5
4. DEFINICIONES.....	6
5. ANTECEDENTES .....	8
6. GENERALIDADES PARA LA INSTALACIÓN .....	9
6.1. RECUBRIMIENTO DE LA SUPERFICIE DEL ALUMINIO EN ELECTROBARRAS O EN DERIVACIONES PARA EVITAR LA OXIDACIÓN.....	9
6.2. MITIGACIÓN DE LA CORROSIÓN GALVÁNICA EN LAS UNIONES ALUMINIO-COBRE .....	10
6.2.1. Aplicación de Gel Retardante de la Oxidación o Gel Inhibidor .....	12
6.2.2. Recubrimiento del material anódico de la unión .....	12
6.2.3. Instalación de suplementos bimetálicos entre las piezas a unirse.....	14
6.3. CONSIDERACIÓN DEL EFECTO CREEP EN LAS UNIONES PERNADAS CON ALUMINIO.....	15
6.4. DISPOSICIÓN DE ARANDELAS, LÁMINA CUPAL Y DE CONECTORES DUALES O BIMETÁLICOS EN DERIVACIONES.....	16
6.4.1. Uso de conectores DUALES o de Aleación .....	20
6.4.2. Uso de conectores Bimetálicos.....	22
6.5. TORQUE Y PRESIÓN DE CONTACTO PARA UNIONES PERNADAS.....	25
6.6. PROHIBICIONES.....	28
7. PRUEBAS Y ENSAYOS.....	29
8. ROTULADO .....	29
9. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO.....	30
10. DOCUMENTO TÉCNICOS SOLICITADOS .....	30
ANEXO A. ENSAYOS SEGÚN LA NORMA NTC 2244.....	31
ANEXO B. ENSAYOS SEGÚN LA NORMA UL 486 A-B. ....	34



<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A		ESCALA: N/A
		UNIDAD DE MEDIDA: mm	PÁGINA: 3 de 34

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de los Potenciales Electroquímicos de los diferentes metales .....	11
Tabla 2. Aleaciones para arandelas de tipo Belleville .....	18
Tabla 3. Marcación de tornillos bajo la Norma ISO 898-1 .....	18
Tabla 4. Aplicación de la norma DIN 43673 para torque de ajuste y dimensión de la arandela según el tamaño de los pernos.....	26
Tabla 5. Aplicación de la norma DIN 43673 para distribución de las perforaciones y tamaños de los pernos según el ancho de las barras en contacto.....	27
Tabla 6. Clasificación de la Clase eléctrica para conectores.....	31
Tabla 7. Clases de resistencia mecánica para conectores.....	31
Tabla 8. Corrientes para ensayo de calentamiento estático .....	32
Tabla 9. Carga de tensión .....	33
Tabla 10. Secuencias de ensayos para todos los conectores.....	34
Tabla 11. Secuencias de ensayos para todos los conectores destinados a conductores paralelos.....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Transiciones Cobre-Aluminio empleando laminas CUPAL.....	15
Figura 2. Esquema representativo de una arandela del tipo Belleville según norma DIN 6796 .	16
Figura 3. Unión pernada empleando lámina CUPAL para la transición aluminio-cobre .....	17
Figura 4. Unión pernada empleando conector DUAL (aleación) para la transición aluminio-cobre .....	21
Figura 5. Esquema ilustrativo de conectores duales para la transición Aluminio-Cobre. ....	21
Figura 6. Esquemas ilustrativos de conectores bimetálicos para transición cable de aluminio a terminal de cobre.....	22
Figura 7. Unión pernada empleando conector BIMETALICO (pala cobre- barril aluminio) para la transición cobre-aluminio.....	23
Figura 8. Esquemas iustrativos de conectores bimetálicos para transición cable de cobre a terminal de Aluminio.....	24
Figura 9. Unión pernada empleando conector BIMETALICO (pala aluminio- barril cobre) para la transición aluminio-cobre.....	24
Figura 10. Efecto de la Presión en la resistencia de contacto .....	26
Figura 11. Esquema ilustrativo de un conector bimetálico con la transición Aluminio-Cobre realizada en la parte plana de la pala del conector. ....	28

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A	 ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm
			PÁGINA: 4 de 34

## 1. OBJETO

Especificar las características técnicas de fabricación e instalación de conectores, terminales, uniones y transiciones aluminio-cobre a ser utilizadas en red de distribución de Baja Tensión (BT).



## 2. ALCANCE

Esta norma técnica establece los requisitos, condiciones de utilización y características que deben cumplir los conectores, terminales, empalmes, uniones pernadas y transiciones aluminio-cobre de una sola polaridad para su uso con electrobarras y conductores en todas las aleaciones de cobre o aluminio, o de aluminio revestido de cobre, o las tres cosas, en las instalaciones eléctricas de baja tensión que se conecten a las redes de distribución de energía de EPM.

## 3. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Los reglamentos, las normas técnicas nacionales e internacionales, las guías técnicas y demás documentos empleados como referencia, deben ser considerados en su última versión.

Res. 90708 de 2013	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.
NTC 2050	Código Eléctrico Colombiano.
NTC 2206	Equipo de conexión y puesta a tierra.
NTC 2154	Bloques de terminales para uso industrial.
NTC 4627	Conectores de compresión y mecánicos para cables de potencia con conductores de cobre o aluminio.
NTC 2215	Conectores para conductores y terminales de soldar para uso con conductores de cobre.
NTC 2244	Conectores para uso entre conductores aéreos desnudos de aluminio a aluminio o aluminio a cobre.
NEC	National Electrical Code Handbook.
UL486A-486B	Wire Connectors.
	Adriana Valencia, Reyes. (2014). Caracterización y especificaciones técnicas de algunos conectores para uso entre conductores aluminio y cobre a ser utilizados en las redes de distribución de energía.

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A	 ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm
			PÁGINA: 5 de 34

ISO 898-1	Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy Steel. Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes — Coarse thread and fine pitch thread.
DIN 43673	Drilled holes and screw connections for busbars; Rectangular cross section busbars.
DIN 6796	Conical spring washers for screwed connections.
DIN 7349	Flat Washers with Large Ext. Diameter.

#### 4. DEFINICIONES



**Baja tensión (BT):** Sistemas de corriente alterna con tensión nominal mayor o igual a 25 V y menor o igual a 1000 V.

**Certificados:** Equipos o materiales incluidos en un certificado publicado por un organismo certificador aceptado ante la autoridad competente y que se dedica a la evaluación de productos, que mantiene inspecciones periódicas de la producción de los equipos o materiales certificados. Ese certificado indica si el equipo o material cumple unas normas debidamente establecidas o si ha sido probado y encontrado apto para su uso de una manera determinada.

**Conductor:** Material de conducción utilizado como vehículo de la corriente eléctrica. El material de construcción del conductor puede ser de cobre, aluminio o de aluminio recubierto de cobre.

Según la NTC 307 los conductores se clasifican de la siguiente manera:

- Clase AA  
Conductores desnudos usados generalmente en líneas aéreas.
- Clase A  
Conductores a ser recubiertos con materiales retardantes a la llama y resistentes a la intemperie y conductores desnudos donde se requiere mayor flexibilidad que la poseen los conductores Clase AA.
- Clase B  
Conductores a ser aislados con materiales tales como caucho, papel, tejidos barnizados, etc., y para conductores como los indicados en la Clase A, pero que requieran mayor flexibilidad.
- Clases C y D  
Conductores que requieren mayor flexibilidad que la poseen los conductores Clase B.

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A	 ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm
			PÁGINA: 6 de 34

**Conector:** Un dispositivo de unión para dos o más conductores que proveen una trayectoria eléctrica continua. La clasificación de los conectores según la NTC 4627:

- Clase A  
Conectores destinados a la distribución de electricidad o a redes industriales en las cuales pueden estar sometidos a cortocircuitos de intensidad y duración relativamente altas. En consecuencia, los conectores clase A serán adecuados para la mayoría de aplicaciones.
- Clase B  
Conectores para redes en las cuales las sobrecargas o cortocircuitos son despejados rápidamente por los dispositivos de protección instalados, por ejemplo, fusibles de acción rápida.

**Conector a presión:** Dispositivo que establece una conexión entre dos o más conductores o entre uno o más conductores y un terminal, mediante presión mecánica y sin utilizar soldadura.

**Conector terminal:** Un conector que establece una conexión entre uno o más conductores a una placa terminal o perno, o a cualquier dispositivo similar, por medio de presión mecánica.



**Conector tipo pernado:** Es un conector en el cual el contacto entre el conductor y el conector es hecho por la presión ejercida por uno o más tornillos de cierre.

**Conexión equipotencial:** Conexión eléctrica entre dos o más puntos, de manera que cualquier corriente que pase no genere una diferencia de potencial sensible entre ambos puntos.

**Electrobarra (Electroductos - bus de barras - busway):** Es un sistema de distribución eléctrico mediante elementos prefabricados compuestos por barrajes alojados en una carcasa protectora, incluyendo tramos rectos de diferentes longitudes, accesorios y dispositivos de sujeción, de acuerdo con la NEMA (National Electrical Manufacturers Association). Otras definiciones aplicables pueden ser consultadas en el NEC (National Electrical Code) y en el RETIE.

**Empalme:** Conexión eléctrica destinada a unir dos partes de conductores, para garantizar continuidad eléctrica y mecánica

**Instalación eléctrica:** Conjunto de aparatos eléctricos, conductores y circuitos asociados, previstos para un fin particular: generación, transmisión, transformación, conversión, distribución o uso final de la energía eléctrica.

ENERGÍA	NORMA TÉCNICA			RA8-035	REV. 0
	TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS			ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
				APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES			ANSI A		ESCALA: N/A
				UNIDAD DE MEDIDA: mm	PÁGINA: 7 de 34

**Pala:** Es la porción plana de un conector utilizado para conexión eléctrica.

**Red de distribución:** Conjunto de circuitos y subestaciones, con sus equipos asociados, destinados al servicio de los usuarios de un municipio. El alcance del sistema de distribución incluye circuitos de baja tensión, que llevan la energía desde el transformador de distribución, a lo largo de las vías, espacios públicos o terrenos de particulares.

**Red de Uso General:** Redes Públicas que no forman parte de Acometidas o de Instalaciones Internas.



**Rotulado:** Marcación de fábrica con la información técnica del elemento en concordancia con el RETIE y las demás normas aplicables.

## 5. ANTECEDENTES

Debido a que el cobre cada vez es más escaso y a que su demanda es mayúscula, su costo ha ido en aumento durante los últimos años; por ello, la utilización del aluminio ha sido más frecuente hasta tal punto que casi todos los devanados de los transformadores se fabrican en este material, al igual que sus terminales secundarios, electrobarras y conductores. Teniendo en cuenta que el aluminio posee unas propiedades físicas y químicas muy diferentes a las del cobre, lo cual ocasiona un comportamiento especial en las conexiones eléctricas, se hace necesario cumplir con los requisitos técnicos que se establecen en normas nacionales e internacionales, para los sitios donde se planea instalar este material.

Esta norma recopila y adopta algunas exigencias establecidas en la Norma NTC 2050 y el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Específicamente se deben tener en cuenta los siguientes lineamientos:

- La norma NTC 2050 establece en la sección 110 los requisitos de las instalaciones, además de las herramientas para determinar si un equipo es adecuado para su uso e instalación. De manera concreta, en el artículo 110-14 contempla las exigencias para los dispositivos como terminales a presión o conectores a presión y lengüetas soldadas, estableciendo que los mismos se deben identificar en cuanto al material del conductor y deben ser bien instalados y utilizados. Por otro lado, indica que no se deben mezclar en un terminal o en un conector de empalme, conductores de metales distintos cuando se produzcan contactos físicos entre ellos (como por ejemplo, cobre y aluminio, cobre y aluminio revestido de cobre o aluminio y aluminio revestido de cobre), a no ser que el dispositivo esté identificado para ese fin y condiciones de uso.

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A	 ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm
			PÁGINA: 8 de 34



- El RETIE (2013) en su numeral 20.2.9 literal J, acepta el uso de cables o alambres de aluminio o aluminio recubierto de cobre en instalaciones de uso final, cuando se tenga en cuenta los efectos de dilatación térmica (Creep), corrosión y par galvánico, para lo cual los conectores utilizados con conductores de aluminio y cobre deben ser bimetálicos, certificados bajo norma que corresponda a la serie UL 486 o norma equivalente; entre otros requerimientos presentes en este literal. Por otra parte el RETIE, en su numeral 20.12, hace mención de los requisitos de producto y de instalación para los conectores, empalmes y terminales usados como elementos de unión, conexión o fijación de conductores, adoptados de las normas UL 486 A, B y C.

También se establece la prohibición del conector de aluminio o aleación de aluminio cuando se instale bajo tierra, éste debe ser un conector certificado para enterramiento directo según el numeral 15.3 del presente reglamento.

## 6. GENERALIDADES PARA LA INSTALACIÓN



Los métodos y herramientas que se usen para instalar conectores, uniones pernadas o transiciones aluminio-cobre en electrobarras o en conductores, deben estar de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. La instalación debe tener lugar en un ambiente cuya temperatura esté entre 15°C - 35°C. Para realizar una instalación adecuada del elemento se debe tener en cuenta los requerimientos que a continuación se incluyen.

### 6.1. Recubrimiento de la superficie del aluminio en electrobarras o en derivaciones para evitar la oxidación

El aluminio, debido a sus características químicas, tiene un elevado estado de oxidación. En concreto, su capa de valencia dispone de tres electrones lo que le confiere que su estado normal de oxidación sea III.

Este hecho se traduce en que el aluminio sea un elemento muy electropositivo y muy reactivo. De esta manera, una pieza de aluminio que entra en contacto con la atmósfera, reacciona de manera inmediata con el oxígeno del ambiente y forma rápidamente una finísima capa superficial de un óxido de aluminio, la alúmina ( $Al_2O_3$ ).

Esta capa de alúmina, que se genera de forma natural y casi instantánea nada más al entrar en contacto el aluminio con el oxígeno del aire, se distribuye con un espesor microscópico (del orden de 0,01 micras) de forma regular envolviendo la totalidad de la pieza, e impide al mismo

ENERGÍA	NORMA TÉCNICA			RA8-035	REV. 0
	TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS			ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES				APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
ANSI A			ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm	PÁGINA: 9 de 34

tiempo que el proceso de oxidación pueda seguir avanzando. Además, esta capa es extremadamente resistente (15 a 19 GPa) y es químicamente muy parecida a minerales como el corindón, rubí o zafiro, solamente superado en resistencia por el diamante.

La alúmina tiene la propiedad de poseer una temperatura de fusión de unos 2050°C, en comparación con los 660°C del aluminio. Adicionalmente, la alúmina posee una resistencia de aislamiento eléctrico muy elevada, del orden de  $1 \times 10^{14}$  a  $1 \times 10^{15} \Omega\text{-cm}$ .

A diferencia del aluminio, el óxido de cobre tiene mucha menor resistencia eléctrica y un coeficiente de temperatura negativo de resistencia. Por lo tanto, al aumentar la temperatura, la conductividad de una unión entre dos superficies de cobre oxidados tiende a aumentar.

Debido a lo anterior, y con el fin de evitar la presencia de puntos calientes en los sitios donde se realicen conexiones eléctricas debido a la alta resistencia de aislamiento que posee la alúmina y a la dureza de este recubrimiento, es estrictamente necesario evitar que el aluminio adquiera dicha oxidación, por lo cual en estos puntos de conexión se debe recubrir con una capa de plata o estaño que asegure una adecuada conductividad.



## 6.2. Mitigación de la corrosión galvánica en las uniones aluminio-cobre

Se conoce como corrosión galvánica al proceso electroquímico en el que un metal se corroe (desprendimiento de electrones) cuando está en contacto eléctrico con un metal diferente (más noble) y ambos metales se encuentran inmersos en un electrolito (generalmente agua) o medio húmedo, lo cual ocasiona una diferencia de potencial y da lugar para que se forme una pila galvánica en la que el ánodo (potencial más negativo) se corroe mientras que el cátodo (potencial menos negativo) no sufre corrosión (sufre reducción, es decir recibe electrones). El flujo de corriente es del ánodo al cátodo (en el electrolito por medio de iones y en el metal por medio de electrones). Al formarse el par galvánico el ánodo se polariza positivamente (a potencial menos negativo) y el cátodo se polariza negativamente (a potencial más negativo).

Entre los fenómenos de corrosión, el más agresivo es causado por los procesos de par-galvánico que es a su vez el de mayor velocidad de actuación.

Para que exista un fenómeno de corrosión por par-galvánico, es necesario que se presenten las siguientes tres circunstancias:

- Los metales en contacto deben poseer una diferencia de potencial considerable entre ellos. En la Tabla 1 se describe la clasificación de los potenciales electroquímicos o electronegatividad presente en cada metal, y la gran diferencia de potencial que existe

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A		ESCALA: N/A
		UNIDAD DE MEDIDA: mm	PÁGINA: 10 de 34

entre el aluminio y el cobre.



- Debe existir una unión o contacto eléctrico entre los metales que permitan la circulación de electrones entre ellos.
- Los metales deben estar en contacto con una película o ambiente húmedo o acuoso eléctricamente conductivo (electrolito).

Si una de las tres causales anteriormente mencionadas es adecuadamente controlada, la posibilidad de ocurrencia del fenómeno de corrosión por par-galvánico también lo es.

En las uniones entre aluminio y cobre se presenta fuertemente este fenómeno de corrosión, debido a que el aluminio tiene la capacidad de liberar fácilmente electrones, mientras que el cobre de capturarlos. Existen tablas en las que se han clasificado los diferentes metales según sus propiedades electroquímicas bien sea para ceder o capturar electrones, denominados potenciales electroquímicos o de electronegatividad. Ver Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de los Potenciales Electroquímicos de los diferentes metales

Serie de Potenciales Electroquímicos	
Metal	Potencial
<b>Lado Noble (protegido) - Catódico</b>	
Oro	+1.4
Platino	+1.2
Plata	+0.8
<b>Cobre</b>	<b>+0.34</b>
Hidrogeno	0
Plomo	-0.13
Estaño	-0.14
Níquel	-0.25
Cadmio	-0.40
Hierro	-0.44
Cromo	-0.71
Zinc	-0.76
<b>Aluminio</b>	<b>-1.67</b>
Magnesio	-2.37
Sodio	-2.71
Potasio	-2.92
Litio	-3.02
<b>Lado Activo (Corroído) - Anódico</b>	

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A		ESCALA: N/A
		UNIDAD DE MEDIDA: mm	PÁGINA: 11 de 34

Como se puede apreciar en la Tabla 1, el cobre está clasificado entre los metales más electropositivos (catódicos), y el aluminio entre los más electronegativos (anódicos), por lo que la diferencia de potencial entre estos dos metales es muy elevada, ocasionando una gran circulación de electrones de un metal a otro con el consecuente proceso de corrosión en presencia de un electrolito.

Para evitar la presencia de corrosión galvánica en las uniones entre aluminio y cobre, habitualmente se acude a las prácticas que se describen a continuación:

### 6.2.1. Aplicación de Gel Retardante de la Oxidación o Gel Inhibidor



La aplicación de este producto busca incrementar la resistencia en el electrolito (ambiente húmedo), el cual actúa directamente sobre las superficies que puedan estar sometidas a la humedad o sustancias acuosas. Dicho gel, acorde con lo establecido en el literal J del numeral 20.2.9 del RETIE es de uso obligatorio en todas las uniones con aluminio. No obstante, para la aplicación de este producto es necesario tener en cuenta lo siguiente:

- a. El producto debe estar certificado para esta aplicación, ya que habitualmente se aplica entre los elementos en contacto, por lo que no puede afectar la conductividad de la unión debido a que produciría calentamientos con los efectos que ello conlleva.
- b. La aplicación debe ser uniforme en todas las superficies en contacto y el espesor de la capa suficiente para lograr incrementar la resistencia de conducción eléctrica del electrolito.
- c. Se debe tener especial precaución al aplicarse en sitios donde pueda estar sometido a incrementos súbitos de temperatura, dado que dicha condición ocasionaría que dicho producto se desplace, dejando las superficies en contacto desprotegidas.

Por lo anterior, esta solución debe complementarse con otras para garantizar una adecuada y confiable protección contra la corrosión por par galvánico.

### 6.2.2. Recubrimiento del material anódico de la unión

Este método consiste en aplicar un recubrimiento al material anódico de la unión, en este caso el aluminio, con un material de potencial electroquímico similar al del material catódico que en este caso sería el cobre.



<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>			<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>			ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES				ANSI A	
				ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm
				FECHA: 2015/12/21	
				PÁGINA: 12 de 34	

Tradicionalmente, se ha empleado recubrimientos de estaño o plata en el aluminio para lograr dicho propósito, los cuales presentan un potencial electroquímico mucho más cercanos a los del cobre, lo que ocasiona que la diferencia de potencial sea mucho más baja, reduciendo considerablemente la posibilidad de corrosión galvánica. El recubrimiento de estaño o de plata no genera corrosión por par galvánico con el aluminio porque entre el ánodo y su recubrimiento no hay presencia de un electrolito (humedad).

Los inconvenientes de esta solución son los siguientes:

- a. El recubrimiento del estaño o de la plata en el aluminio no es fácil de efectuar para garantizar una adecuada adherencia de estos, razón por la cual es común encontrar conductores de aluminio con recubrimientos desprendidos.
- b. La imperfección del recubrimiento o los daños causados durante la instalación de las piezas son difíciles de evitar en sitio, y crean un punto de corrosión en el ánodo por donde podría corroerse rápidamente.
- c. No existe en Colombia una norma de obligatorio cumplimiento para los fabricantes que empleen el aluminio como conductor eléctrico y que deba ser probado su correcto uso mediante análisis en laboratorio, en la cual pueda garantizarse la adherencia y espesor adecuados del recubrimiento al aluminio, para que sea resistente a los procesos abrasivos que ocurren durante la ejecución de la unión pernada, dado que los bordes filosos de las tuercas, arandelas, los hilos de los pernos entre otros, fácilmente podrían desprender parte del recubrimiento con las consecuencias que ello conlleva si el espesor o la calidad de la adherencia del recubrimiento no es la adecuada.
- d. El recubrimiento de estaño sobre el aluminio no es fácilmente identificable, razón por la cual puede prestarse para confusiones pues podría instalarse una pieza con el convencimiento que posee el recubrimiento que no tiene en realidad.

Debido a lo anterior, EPM no permite como solución única para evitar la corrosión por par galvánico en las uniones entre aluminio y cobre, que se recubra el aluminio con estaño o plata, a menos que el producto esté certificado por una norma internacional, en la cual se especifique la calidad de la adherencia y el espesor del recubrimiento para soportar los procesos abrasivos a los que estará sometido dicho producto.

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>			<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>			ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
				APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A		ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm	PÁGINA: 13 de 34

### 6.2.3. Instalación de suplementos bimetálicos entre las piezas a unirse

Esta práctica es comúnmente empleada a nivel mundial y consiste en instalar una lámina conocida como "CUPAL", "COPAL" o "CUPALUM", la cual está conformada por dos placas una de cobre y otra de aluminio prensadas a alta presión, lo que impide la ocurrencia del fenómeno de corrosión por par galvánico debido a que se elimina la posibilidad de presencia de un electrolito entre ambas superficies en contacto por la distancia molecular entre ambos materiales que es muy reducida debido a la alta presión aplicada en esta lámina. Ver Figura 1.

Las láminas de CUPAL se fabrican en espesores entre 0.5 hasta 0.8mm, no se fabrican en espesores mayores debido a que la presión requerida es demasiado alta.

La relación de espesor entre el contenido de aluminio/cobre en dicha lamina va desde 90/10 hasta 70/30, y no puede permitirse un contenido mayor de cobre debido a que la conductividad del aluminio es aproximadamente el 61% de la del cobre, lo cual se compensa en este tipo de aplicación con un volumen mayor de aluminio.

Es fundamental garantizar durante la instalación de este accesorio que coincidan los mismos materiales en la unión, es decir el lado de aluminio de la lámina de CUPAL con la barra de aluminio, y el lado de cobre de CUPAL con la respectiva barra de cobre. De no garantizar esto, se presentaría corrosión por par galvánico en la lámina CUPAL, destruyéndola.

Entre las ventajas de este tipo de solución están las siguientes:

- a. Facilidad de instalación, dado que solo implica su colocación en medio de las piezas a unirse.
- b. Facilidad de identificación, lo que facilita las labores de inspección de los supervisores, inspectores RETIE e interventores de los montajes eléctricos en las obras para garantizar que se haya aplicado la solución adecuada.
- c. No se requiere de elementos adicionales para su instalación y no está sujeto a cuidados especiales como en otro tipo de soluciones.

Se deberá instalar lámina bimetálica en toda unión que se realice entre platinas de cobre y aluminio, y será opcional para los casos de derivación en cable desde una platina, siempre y cuando el conector a emplear cumpla con las exigencias descritas en la presente norma.



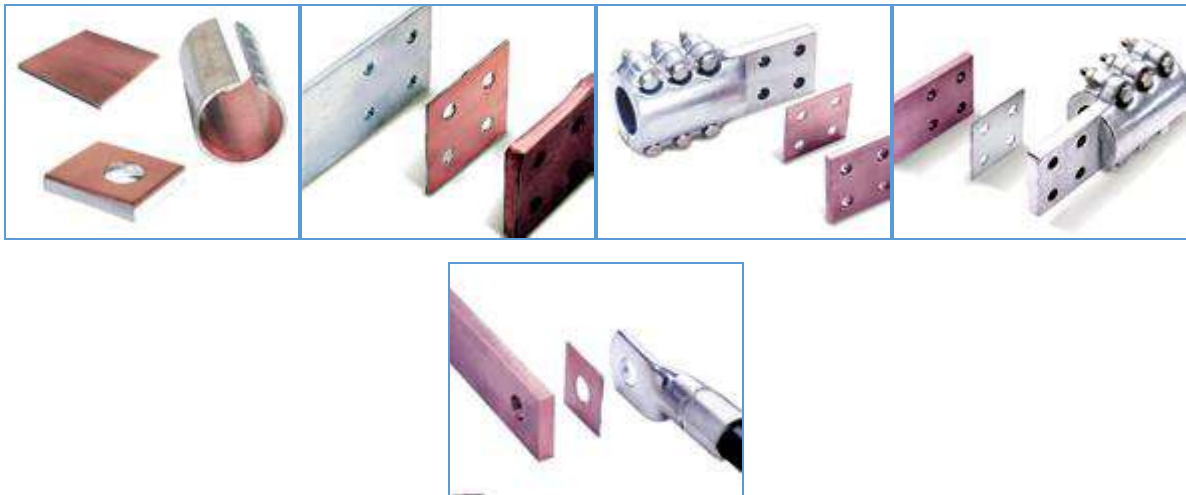
<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A	 ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm
			PÁGINA: 14 de 34

Figura 1. Transiciones Cobre-Aluminio empleando laminas CUPAL.





Imágenes tomadas de <http://www.torsion.com/copalbimetal.html>

### 6.3. Consideración del efecto creep en las uniones pernadas con aluminio

El coeficiente de dilatación lineal o coeficiente de expansión térmica (incremento en longitud x cada °C) del aluminio es de  $23 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ , mientras que el del cobre es  $16.6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ , lo que significa un 38% mayor en el aluminio con respecto al cobre.

Para la unión entre barras de aluminio comúnmente se utilizan tornillos de acero; el acero tiene sólo el 50 % de coeficiente de expansión con respecto al aluminio por lo que a la misma elevación de temperatura, el aluminio se expande al doble que el acero. De esta manera, cuando existe un incremento de temperatura, el esfuerzo mecánico en las uniones se incrementa y puede llegar a deformarlas de modo permanente, disminuyendo el área de contacto entre superficies al igual que la presión ejercida por la unión, aumentando su resistencia eléctrica y provocando un incremento de temperatura en el siguiente período de carga, que deformará cada vez más la unión hasta que resulte en una falla. Esta situación puede presentarse con materiales que tienen una baja resistencia a la tensión, como la aleación de aluminio 1350, si no se utilizan los elementos adecuados en las conexiones.

Para reducir la expansión térmica, sobretodo en el aluminio, se deben emplear arandelas Belleville cuando se realice la unión pernada, la cual deberá estar certificada por cumplimiento de fabricación de la norma DIN 6796 o una equivalente. También deben emplearse arandelas del tipo Belleville en toda unión pernada en el que al menos una de las piezas sea de aluminio o una aleación de aluminio, como es el caso de las terminales para cables.

ENERGÍA	NORMA TÉCNICA	RA8-035		REV. 0
	TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E	APROBÓ: GERENCIA CET
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A		ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm
FECHA: 2015/12/21	PÁGINA: 15 de 34			

La función de una arandela Belleville DIN 6796 (Ver la Figura 2 y la Tabla 4 del numeral 6.5) es generar una presión permanente a una unión entre un tornillo y una tuerca con el objeto de impedir pérdida de pre-carga en la misma y evitar la deformación del aluminio cuando este se dilate debido a la temperatura asociada a los procesos de incremento de la carga (corriente); logrando de esta manera que las partes sujetas permanezcan ajustadas y fijas a pesar de vibraciones u otras formas de relajación o dilatación que pueden aparecer con el paso del tiempo (corrosión, relajación de los componentes que conforman la unión, aplastamiento, entre otros).

Este tipo de arandela es efectiva solo para trabajar axialmente, es decir que no prevendrá la relajación de una unión con carga cíclica transversal.

Debiera tenerse en consideración que las arandelas DIN 6796 han sido concebidas para un uso estático por lo que debiera evitarse su uso en aplicaciones dinámicas.

Figura 2. Esquema representativo de una arandela del tipo Belleville según norma DIN 6796

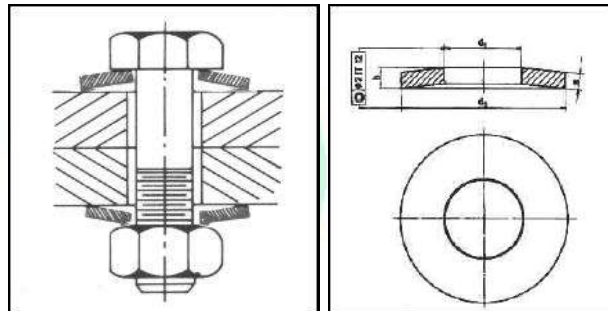


Imagen tomada de: <http://www.surisa.es/din6796.html>

#### 6.4. Disposición de arandelas, lámina CUPAL y de conectores duales o bimetálicos en derivaciones

A continuación se describen las disposiciones que deben tenerse en cuenta para la instalación de las arandelas Belleville en las uniones pernadas. Es importante aclarar, que en medio de la pieza en la que se instalará la arandela Belleville y ésta, debe instalarse una arandela plana con el fin de distribuir uniformemente la presión en toda la superficie para evitar la ocurrencia de deformaciones en las piezas en contacto debido al torque de ajuste, tal como se indica en la Figura 3.



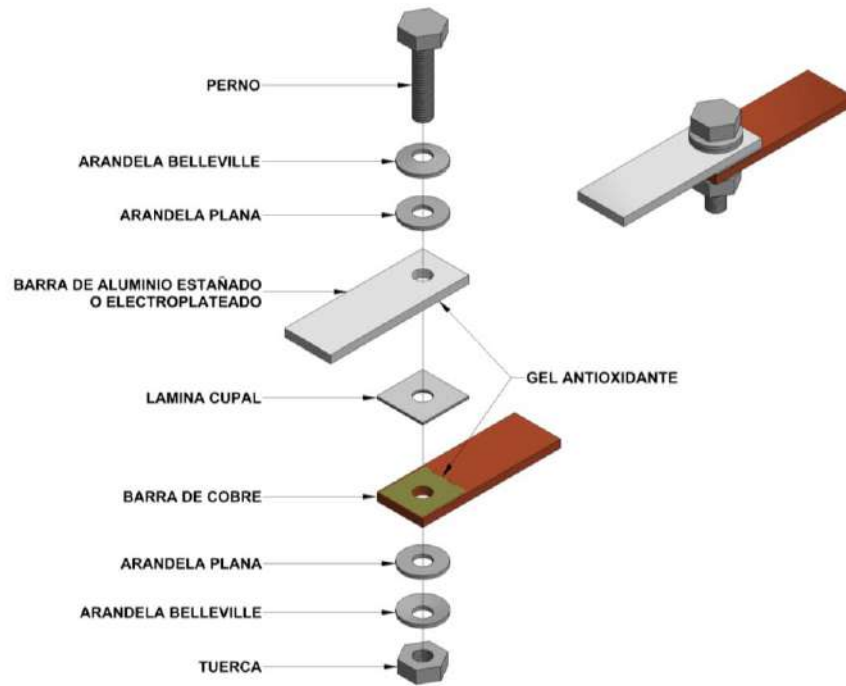
ENERGÍA	NORMA TÉCNICA	RA8-035		REV. 0
	TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E	APROBÓ: GERENCIA CET
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A		ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm
				FECHA: 2015/12/21
				PÁGINA: 16 de 34



Figura 3. Unión pernada empleando lámina CUPAL para la transición aluminio-cobre



Para la selección de la arandela Belleville adecuada, en la Tabla 4 del numeral 6.5 se encuentra las dimensiones de la misma según la norma DIN 6796, lo cual debe ser de acuerdo con las dimensiones del perno a emplear y al tamaño de las perforaciones en la unión a realizar.

Las arandelas y tornillos deben ser de un material similar. El material de las arandelas Belleville podrá ser de acero inoxidable, acero galvanizado o según disposiciones del fabricante que las haga resistentes a la corrosión. Ver Tabla 2. Los pernos o tornillos deben ser de cabeza hexagonal marcados con la clase de calidad como se indica en la Tabla 3 según la norma ISO 898-1 o una norma equivalente, la clase debe ser igual o superior a 8.8.



ENERGÍA	NORMA TÉCNICA	RA8-035	REV. 0
	TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
ANSI A		ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm
		PÁGINA: 17 de 34	

Tabla 2. Aleaciones para arandelas de tipo Belleville

Materiales de arandelas Belleville DIN 6796	
Aleación	Características de la aleación
C60	Dureza entre 420 – 510 HV. DIN 17221 – DIN 17222
X12 Cr Ni 17 7 (AISI 301)	Acero Inoxidable
X7 Cr Ni AL 17 7 (AISI 631)	
Inconel 718	Presenta alta resistencia a la corrosión, resistencia a punto cedente, tensión y al deslizamiento de ruptura a altas temperaturas.

Tabla 3. Marcación de tornillos bajo la Norma ISO 898-1

Clase de calidad	4.6	4.8	5.6	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9	12.9
Marcación <sup>a</sup>	4.6	4.8	5.6	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9	12.9

a. El punto en el símbolo de marcado puede ser omitido.



**Nota:** Lectura de la marcación 8.8:

b. Primer dígito: Resistencia a la tracción, es igual al producto de 8x100= 800N/mm<sup>2</sup>.

c. Segundo dígito: Punto de fluencia proporcional, es igual al 80% de la resistencia de la tracción; 800x0.8=640N/mm<sup>2</sup> de fluencia.



En los casos cuando se realice una derivación por medio de un cable desde una platina bien sea de cobre o de aluminio, será necesario el uso de conectores apropiados que cumplan con las siguientes características y recomendaciones tomadas de la norma UL 486 A-B, NTC 2244 y el RETIE (2013):

- Un conector destinado a un conductor de cobre, o de aluminio, o para ambos, será marcado de forma visible y legible bajo relieve con las letras “CU”, “AL”, “AL-CU” o “CU-AL”, respectivamente. El lugar de la marca para conectores utilizados con conductores 6

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A		ESCALA: N/A
		UNIDAD DE MEDIDA: mm	PÁGINA: 18 de 34

AWG (13,3 mm<sup>2</sup>) o conductores de menor tamaño, pueden ir sobre el contenedor de unidades o en una hoja de información empacada al interior de esta con las letras “CU”, “AL” o “AL-CU”.

- Si un conector es diseñado para ser utilizado como unión entre un conductor en aluminio o en aluminio revestido de cobre y un conductor de cobre, la marca de las dimensiones del conductor en aluminio o en aluminio revestido de cobre se deberá diferenciar claramente de la medida del conductor de cobre, que posee el conector.
- Los conectores que no sean para conductores trenzados de Clase B o C, deben ser marcados con la clase o clases de conductores y su número de hilos, en la unidad de empaque del conector o en la hoja de información del empaque, adicionalmente los conectores bimetálicos con barril de aluminio deben ser adecuados para conectar cables de aluminio serie AA-8000.
- Un conector especificado para “AL” o “AL-CU” se marcará con el grado de la temperatura del conector, 75°C o 90°C. Un 7 puede utilizarse para representar un 75°C y un 9 se puede utilizar para representar un 90°C, en el marcado. Para un conector marcado para su uso sólo con el aluminio, el solo dígito se ajustará a las letras; por ejemplo, “AL7.” El 7 o 9 serán ubicados en el lugar del guion en una marca como “AL-CU” o “CU-AL”; y quedaría de la siguiente manera: “AL7CU” o “CU7AL”.
- El cuerpo cilíndrico que aloja el conductor debe ser de compresión y debe indicar los puntos donde se realiza el aplastamiento, calibre del conductor y el “dado” o elemento adecuado para instalar en la prensa, con el fin de evitar que el procedimiento sea a criterio del instalador y minimizar fallas en la instalación.
- El conductor se debe pelar antes de la instalación con una herramienta adecuada y a una distancia apropiada para la inserción en el conector. Se debe tener cuidado al retirar el aislamiento de los conductores para evitar cortarlos, mellarlos, pelarlos o dañarlos de cualquier otra forma. La marca con la longitud de pelado debe aparecer sobre el contenedor de unidades en el que se empaca el conector o sobre el conector; en caso de que no se especifique, el aislamiento se debe pelar de manera que el conductor haga contacto con la longitud disponible completa del cuerpo del conector. La longitud recomendada es igual a la longitud del terminal de “AL”, “CU” o “AL-CU” donde se va insertar el cable. En caso de no realizar un pelado adecuado, siendo mayor la longitud de pelado del conductor que el barril o no usar la herramienta adecuada, se puede presentar problemas de contacto eléctrico.

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>		REV. <b>0</b>	
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E		
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21		
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A		ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm	PÁGINA: 19 de 34

### 6.4.1. Uso de conectores Duales o de Aleación

Este tipo de conectores a diferencia de los bimetálicos, no está compuesto de dos materiales visiblemente separados, sino que se compone de una aleación de aluminio, cobre y otros elementos que evitan la ocurrencia del par-galvánico en contacto bien sean con cobre o con aluminio.

Si bien estos conectores al ser elegidos e instalados, cumplen con su propósito sin ningún inconveniente, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Debido a que estos conectores están conformados por aleación de aluminio, en el mismo se presenta el efecto CREEP antes mencionado, razón por la cual es necesario que en la unión pernada se empleen arandelas Belleville (Ver Figura 4) según norma DIN 6796 o una equivalente.
- Estos conectores se confunden fácilmente con los de aluminio puro y con los de cobre estañado porque visiblemente son demasiado similares como se muestra en la Figura 5, así que se debe tener especial precaución y los cuidados necesarios en el almacenamiento y en su instalación para evitar el uso de los conectores inadecuados.
- La marcación en este tipo de conectores no está estandarizada a nivel internacional y usualmente dicha marca se realiza en el cilindro del mismo, la cual se borra al momento de realizarse el prensado del conductor debido a que el barril se deforma durante este proceso y las marcas normalmente desaparecen, generando esta circunstancia enormes dificultades para las labores de revisión de los montajes por parte de los inspectores e interventores eléctricos al no tener posibilidad de identificar los conectores adecuados.

Para EPM autorizar el uso de este tipo de conectores, es necesario que el fabricante o distribuidor de este elemento realice un proceso de marcación bajo relieve en la pala del conector, con las indicaciones necesarias tales como la referencia o una señal para los instaladores donde fácilmente pueda informarles que este elemento es apto para uso en cobre o aluminio.



ENERGÍA	NORMA TÉCNICA			RA8-035	REV. 0
	TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS			ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES				UNIDAD DE MEDIDA: mm	FECHA: 2015/12/21  PÁGINA: 20 de 34
ANSI A			ESCALA: N/A		

Figura 4. Unión pernada empleando conector DUAL (aleación) para la transición aluminio-cobre

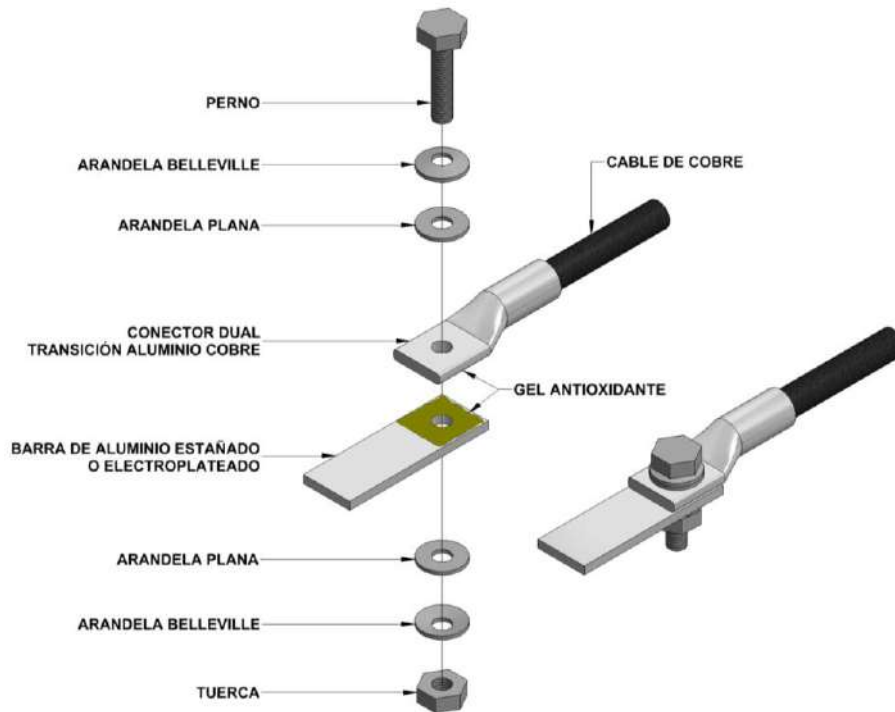




Figura 5. Esquema ilustrativo de conectores duales para la transición Aluminio-Cobre.



Imagen tomada de: <http://www.alianzaelectrica.com/Producto-Conectores-Baja-Tension-Alianza.php>

ENERGÍA	NORMA TÉCNICA	RA8-035	REV. 0
	TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
ANSI A		ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm
		PÁGINA: 21 de 34	

### 6.4.2. Uso de conectores Bimetálicos

Estos conectores están conformados por un cuerpo o barril cilíndrico que aloja el conductor y que es construido de un material diferente al pin o pala terminal donde se conecta al perno del bloque de conexión del dispositivo o barraje de derivación, el cual es de otro material diferente.

La unión entre el cobre y el aluminio en estos conectores se realiza por un proceso denominado soldadura en frío, lo cual garantiza que en dicha unión no haya presencia de humedad, factor que es indispensable para la ocurrencia del par-galvánico.

En este tipo de conectores se encuentran dos tipos:

#### a. Cilindro o barril de aleación de aluminio y pala de cobre.

Es el de uso más frecuente, pues usualmente cuando se emplean este tipo de conectores (Ver Figura 6), habitualmente por los ahorros que representa, se usan cables de aluminio serie AA-8000. En este tipo de conectores no se presenta el aflojamiento de las uniones pernadas por el efecto CREEP, debido a que la unión pernada se hace entre los mismos materiales cobre-cobre, por lo que no es obligatorio el uso de arandelas Belleville cuando se emplea este tipo de conector como se muestra en la Figura 7.

Figura 6. Esquemas ilustrativos de conectores bimetálicos para transición cable de aluminio a terminal de cobre.





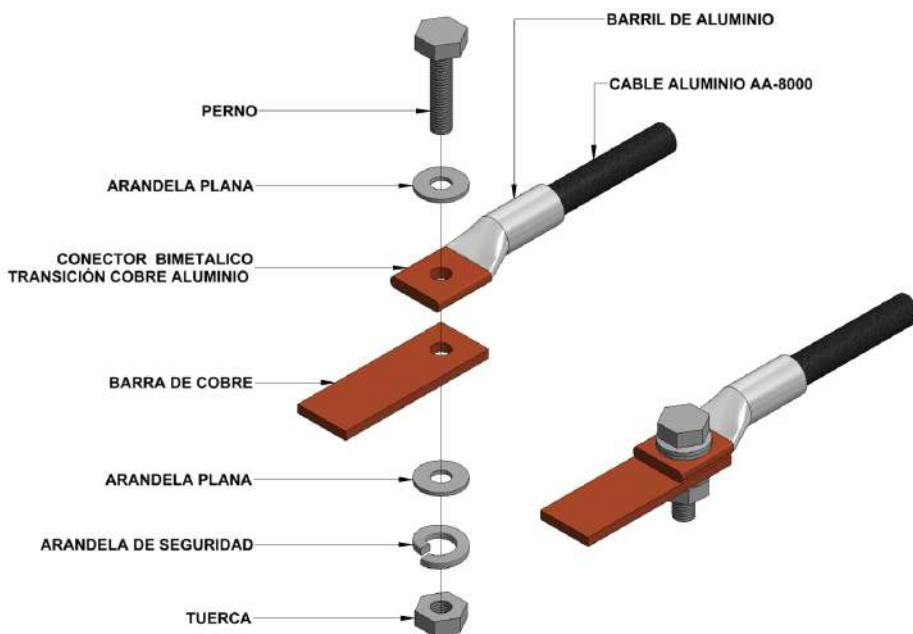
ENERGÍA	NORMA TÉCNICA	RA8-035		REV. 0	
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E	APROBÓ: GERENCIA CET	
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A		ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm	PÁGINA: 22 de 34

Figura 7. Unión pernada empleando conector BIMETALICO (pala cobre- barril aluminio) para la transición cobre-aluminio



Para garantizar total compatibilidad de los equipos del sistema, la conexión de cables de aluminio a dispositivos y equipos de conexión de cobre se debe hacer mediante el conector terminal tipo pin o tipo pala. El terminal se conecta al perno del bloque de conexión del medidor de energía, bujes secundarios de los transformadores de distribución, terminales de cable aislado o dispositivo de protección y maniobra. Los calibres de conductores en aluminio comúnmente utilizados son:

- Medidor de energía: No.6AWG y 4AWG.
- Transformador de distribución salida secundaria: No.4AWG, 2AWG, 1/0AWG y 2/0AWG.
- Interruptor de baja tensión: calibre No.6AWG y 4AWG.
- Terminal para cable aislado 15kV: 1/0AWG y 4/0AWG.

#### b. Cilindro o barril de cobre y pala de aleación de aluminio

No son comunes en el mercado debido a la necesidad de uso de cables de cobre con este tipo de conectores, por lo que para los instaladores no representa ahorros significativos. Ver Figura 8.



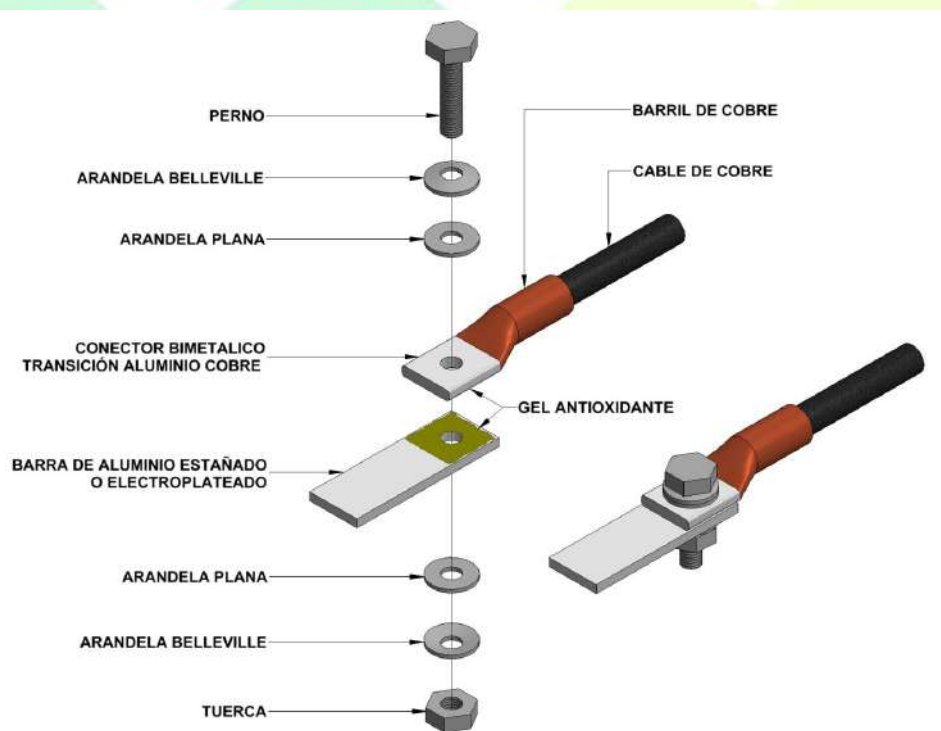
ENERGÍA	NORMA TÉCNICA		RA8-035	REV. 0
	TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS		ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES			APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
ANSI A			ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm
			PÁGINA: 23 de 34	



Figura 8. Esquemas ilustrativos de conectores bimetalicos para transición cable de cobre a terminal de Aluminio.



En este tipo de conectores es estrictamente necesario el uso de arandelas Belleville para mitigar el efecto CREEP o aflojamiento en las uniones pernadas debido a que la unión pernada se hace entre materiales aluminio-aluminio. Ver Figura 9.

Figura 9. Unión pernada empleando conector BIMETALICO (pala aluminio- barril cobre) para la transición aluminio-cobre



ENERGÍA	NORMA TÉCNICA	RA8-035	REV. 0
	TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
ANSI A		ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm
		PÁGINA: 24 de 34	



## 6.5. Torque y presión de contacto para uniones pernadas

A nivel microscópico, el contacto entre dos piezas está limitado a la unión entre los elementos más sobresalientes de cada una de las superficies (crestas), las cuales estarán sometidas a una presión mucho más alta, y por lo tanto se deformarán durante el proceso de unión. Dentro de una unión completada, el área efectiva de contacto es mucho menor que el área total de la superficie de las piezas que se están uniendo y se limita generalmente a la región en la que se aplica la presión, es decir, cerca de los pernos. Por lo tanto, se requiere un área adecuada de solapamiento entre las piezas en contacto para permitir que exista una distribución de la presión en la superficie con el fin de disminuir la distorsión de las líneas de flujo de corriente a través de la junta de solapamiento.

Para una presión de contacto determinada, una superficie de cobre tiene una resistencia de contacto inferior a la del aluminio, en un valor que oscila entre 20 a 50 veces, razón por la cual es fundamental en superficies de contacto con aluminio garantizar que dicha unión se realice en forma adecuada.

Con el fin de garantizar una distribución adecuada de las presiones en dos barras en contacto, para disminuir al máximo la resistencia de unión, las uniones pernadas de dichas piezas deben cumplir lo dispuesto en la norma DIN 43673, y en especial lo establecido en la Tabla 4 y Tabla 5, con lo cual se obtienen presiones promedio de contacto entre 7 a 20 N/mm<sup>2</sup>, teniendo en cuenta que la resistencia de unión disminuye sustancialmente con el incremento en la presión de contacto, pero dicha mejora se vuelve despreciable por encima de una presión aproximada de 20N/mm<sup>2</sup> (2900 PSI- o 2900 lbs/in<sup>2</sup>) como se muestra en la Figura 10.

El torque de ajuste a utilizar en la unión entre barras y las terminales de los interruptores deben ser las estipuladas por los fabricantes de los respectivos interruptores, cuya información debe quedar marcada en la superficie de estos elementos.

El torque de ajuste de los pernos entre piezas en contacto deberá cumplir lo dispuesto en la Tabla 4, lo cual debe ser verificado con un torquímetro debidamente calibrado.



<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A	 ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm
			PÁGINA: 25 de 34

Figura 10. Efecto de la Presión en la resistencia de contacto

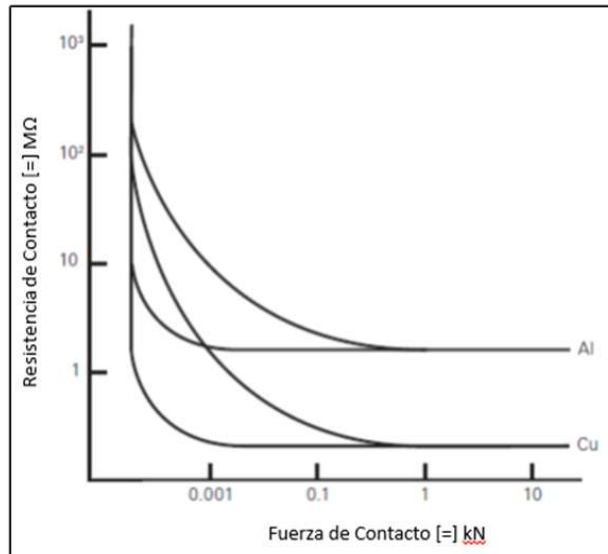
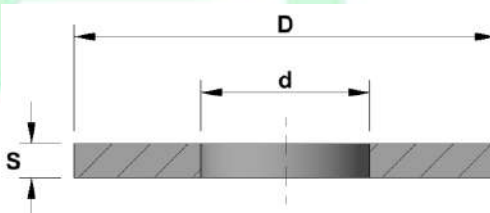
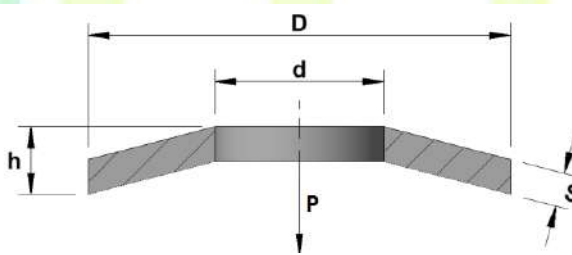




Imagen tomada de: [https://www.bruker.com/fileadmin/user\\_upload/8-PDF-Docs/BEST/DataSheets/Cuponal\\_Bolted\\_Joints.pdf](https://www.bruker.com/fileadmin/user_upload/8-PDF-Docs/BEST/DataSheets/Cuponal_Bolted_Joints.pdf)



Tabla 4. Aplicación de la norma DIN 43673 para torque de ajuste y dimensión de la arandela según el tamaño de los pernos

Torque de ajuste según el tamaño del perno									
									
Tamaño perno	Torque N-m Norma DIN 43673	Arandela Plana Norma DIN 7349			Arandela Cóncava Norma DIN 6796				
		D mm	d mm	S mm	D mm	d mm	S mm	h mm	P kN
M5 (13/64 in)	3	15	5.3	2	11	5.3	1.2	1.45	5.5
M6 (15/64 in)	5.5	17	6.4	3	14	6.4	1.5	1.35	8.6
M8 (5/16 in)	15	21	8.4	4	18	8.4	2	2.42	14.9
M10 (25/64 in)	30	25	10.5	4	23	10.5	3.0	3	22.1
M12 (15/32 in)	60	30	13	6.0	29	13.0	3.5	3.69	34.1

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A		ESCALA: N/A
		UNIDAD DE MEDIDA: mm	PÁGINA: 26 de 34



La distancia “L” en la Tabla 5 está directamente asociada al solapamiento o superficie mínima de contacto que deberá dejarse entre ambas piezas.

En los casos donde se permita utilizar un solo perno para realizar la derivación desde una barra, como sucede cuando se deriva un cable a través de un terminal, el torque de ajuste de dicha unión debe ser realizado con un perno de tamaño no inferior a un M8 y su torque de ajuste no debe ser inferior a 15 N/mm<sup>2</sup> (2175 PSI- o 2175 lbs/in<sup>2</sup>).

Según las dimensiones de la barra, el número de perforaciones debe coincidir con el número de pernos utilizados en la instalación para garantizar un contacto eléctrico eficaz entre barras.

Tabla 5. Aplicación de la norma DIN 43673 para distribución de las perforaciones y tamaños de los pernos según el ancho de las barras en contacto

Perno según ancho de barra												
Ancho barra	Barra 1		Barra 2 & 2a				Barra 3				Tamaño perno	Diámetro agujero
	L	A	L	A	B	C	L	A	B	C		
12	12	6									M5 (13/64 in)	5.5
15	15	7.5									M6 (15/64 in)	6.6
20	20	10									M8 (5/16 in)	9
25	25	12.5	55	12.5	30						M10 (25/64 in)	11
30	30	15	60	15	30						M10 (25/64 in)	11
40	40	20	80	20	40						M12 (15/32 in)	13.5
50	50	25	80	20	40						M12 (15/32 in)	13.5
60			80	20	40						M12 (15/32 in)	13.5
60			60	17	26	26					M12 (15/32 in)	13.5
80							80	20	40	40	M12 (15/32 in)	13.5
100							80	20	40	50	M12 (15/32 in)	13.5
120							80	20	40	60	M12 (15/32 in)	13.5
<b>Dimensiones en milímetros</b>												



<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A		ESCALA: N/A
		UNIDAD DE MEDIDA: mm	PÁGINA: 27 de 34

## 6.6. Prohibiciones

- No se admiten cables o alambres de aleación de aluminio de la serie 1350 en instalaciones de uso final.
- No se deben conectar conductores de nomenclaturas AWG con conectores especificados en mm<sup>2</sup> o viceversa.
- No se deben instalar dos o más conectores o terminales en la misma bornera o al mismo tornillo.
- Los tornillos empleados en las uniones pernadas no deben ser de un material blando o propenso a la cendencia gradual, como el cinc o el aluminio.
- El aluminio y la aleación cobre-aluminio no son materiales adecuados para los conectores utilizados para los electrodos de puesta a tierra, estos elementos deben cumplir lo indicado en la Norma RA7-018.
- No está permitido el uso de conectores bimetálicos donde la transición se realice en la parte plana de la pala, tal y como se ilustra en la Figura 11, con el fin de evitar la ocurrencia del par galvánico en la unión pernada, dado que es muy posible que al realizar la unión por medio de un perno, el aluminio y el cobre hagan contacto eléctrico, presentándose el par-galvánico. La parte plana de la pala debe ser de un solo material.

Figura 11. Esquema ilustrativo de un conector bimetálico con la transición Aluminio-Cobre realizada en la parte plana de la pala del conector.



ENERGÍA	NORMA TÉCNICA	RA8-035		REV. 0
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E	APROBÓ: GERENCIA CET
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A		ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm
FECHA: 2015/12/21	PÁGINA: 28 de 34			

## 7. PRUEBAS Y ENSAYOS

Se deben satisfacer como mínimo los siguientes ensayos y los demás que sean exigibles por el fabricante según el conector y la norma con cual se quiere certificar.

Certificación bajo la norma NTC 2244. Los conectores se deben instalar y someter a ensayo de circulación de corriente y funcionamiento mecánico como se menciona a continuación y en el Anexo A:

- a. Ensayos eléctricos:  
Calentamiento cíclico y estático.
- b. Ensayos mecánicos:  
Extracción del conductor en carga sostenida y máxima.

Certificación bajo la norma UL 486 A-B. Los conectores se deben someter a los ensayos descritos en el Anexo B.



## 8. ROTULADO

Un conector debe estar marcado claramente con:

- a. El nombre del fabricante, marca de fábrica o cualquier otra marca con la cual pueda identificarse el responsable del producto.
- b. El calibre del conductor o rango de calibres.
- c. El material del conector.
- d. La información de los numerales donde se exija el marcado ya sea en el conector, en el empaque de la unidad o en una hoja incluida en la unidad de empaque.

La información de rotulado no se debe dividir entre un contenedor de unidades y una hoja de información.

La hoja de información se debe marcar con el nombre del fabricante, un número de identificación, el número de catálogo del conector al que pertenece o equivalente y con toda la información necesaria especificada anteriormente.

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A	 ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm
			PÁGINA: 29 de 34



## 9. CRITERIOS DE ACEPTACIÓN Y RECHAZO

- a. En redes de uso general sujetas a compra por EPM, los conectores a utilizar deben ser bimetálicos cuando la instalación así lo requiera y se debe hacer uso de la lámina CUPAL tal como se indica en la presente norma.
- b. En el sistema de distribución de EPM se podrán instalar conectores, terminales, empalmes, uniones pernadas o transiciones aluminio-cobre, siempre y cuando estén certificados bajo RETIE por un Organismo de Certificación de Productos acreditado, además que cumplan las especificaciones técnicas aquí contempladas.
- c. Los conectores debe contar con certificación NTC 2244 (ANSI C 119.4) para una clase eléctrica A y una clase mecánica 2, o mediante las normas UL 486 A-B, ASTM B542 y/o NTC 2050.
- d. La instalación se debe llevar a cabo por personal calificado para asegurar que se cumplan los requisitos mínimos de instalación requeridos.

## 10. DOCUMENTO TÉCNICOS SOLICITADOS

A continuación se listan los documentos técnicos que pueden ser solicitados por EPM al instalador:

- a. Certificado de conformidad de producto de acuerdo con el RETIE.
- b. Certificado de conformidad de producto con norma técnica.

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A	 ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm
			PÁGINA: 30 de 34

## ANEXO A. ENSAYOS SEGÚN LA NORMA NTC 2244.

Tabla 6. Clasificación de la Clase eléctrica para conectores

Clase	Tensión	Número de ciclos para el ensayo
<b>Clase AA</b>	Trabajo extrapesado	500
<b>Clase A</b>	Trabajo pesado	500
<b>Clase B</b>	Trabajo medio	250
<b>Clase C</b>	Trabajo liviano	125

Tabla 7. Clases de resistencia mecánica para conectores

Clase	Tensión	Fuerza aplicada
<b>Clase 1</b>	Tensión plena	$\geq 95\%$ de la resistencia del conductor
<b>Clase 2</b>	Tensión parcial	$\geq 40\%$ de la resistencia del conductor
<b>Clase 3</b>	Tensión mínima	$\geq 5\%$ de la resistencia del conductor, pero no menor a los valores especificados en la Tabla 9.



<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A		ESCALA: N/A
		UNIDAD DE MEDIDA: mm	PÁGINA: 31 de 34

Tabla 8. Corrientes para ensayo de calentamiento estático

Calibre	mm <sup>2</sup>	Cobre		Aluminio	
		1	2	1	2
18	0,82	—	17	—	—
16	1,3	—	18	—	—
14	2,1	15	20	—	—
12	3,3	20	25	15	20
10	5,3	30	40	25	30
8	8,4	45	65	40	55
6	13,3	65	95	50	75
4	21,2	85	125	65	100
3	26,7	100	145	75	115
2	33,6	115	170	90	135
1	42,4	130	195	100	155
1/0	53,5	150	230	120	180
2/0	67,4	175	265	135	210
3/0	85,0	200	310	155	240
4/0	107	230	360	180	240
250	127	255	405	205	315
300	152	285	445	230	250
350	177	310	505	250	395
400	336	335	545	270	425
500	253	380	620	310	485
600	304	420	690	340	545
700	354	460	755	375	595
750	380	475	785	385	620
800	406	490	815	395	645
900	456	520	870	425	700
1000	508	545	935	445	750
1250	635	590	1065	485	855
1500	759	625	1175	520	950
1750	886	650	1280	545	1050
2000	1010	665	1385	560	1150

- 1) Corriente máxima asignada a)  
 2) Calentamiento estático b)  
 a) Valores para conectores de 75°C, no más de 3 conductores por ducto  
 b) Valores para conectores de 75°C, conductor sencillo al aire libre.





<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A		ESCALA: N/A
		UNIDAD DE MEDIDA: mm	PÁGINA: 32 de 34



Tabla 9. Carga de tensión

Calibre del conductor  (AWG)	Tensión de halado					
	Cobre		Aluminio		ACSR	
	lbf	N*	lbf	N*	lbf	N*
16	30	133*	15	67*	—	—
14	50	222*	25	111*	—	—
12	70	311*	35	156*	—	—
10	80	356*	40	178*	—	—
8	90	400*	45	200*	100	445*
6	100	445*	50	222*	100	445*
4	140	623*	70	311*	150	667*
3	160	712*	80	356*	150	667*
2	180	801*	90	400*	200	890*
1	200	890*	100	445*	200	890*
* Únicamente como referencia.						

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A	 ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm
			PÁGINA: 33 de 34



## ANEXO B. ENSAYOS SEGÚN LA NORMA UL 486 A-B.

Tabla 10. Secuencias de ensayos para todos los conectores

<b>Secuencia</b>			
<b>1</b>	<b>2<sup>a</sup></b>	<b>3<sup>b</sup></b>	<b>4<sup>c</sup></b>
Calentamiento cíclico	Calentamiento estático. Fijación Calentamiento estático (repetido) Extracción	Fijación Extracción	Corrosión bajo tensión
<p>Nota: La Tabla 10 aplica para los conectores que no están destinados a ser usados en conexiones paralelas. Sin embargo, algunos conectores pueden tener funcionalidad dual, tanto paralelo y no paralela, en cuyo caso la Tabla 10 y la Tabla 11 son aplicables.</p> <p>a. Esta serie de ensayo se conoce como la secuencia de calentamiento estático.</p> <p>b. Esta serie de ensayo se conoce como la secuencia mecánica.</p> <p>c. La prueba de corrosión bajo tensión, ya sea amoniaco húmedo o nitrato de mercurio, sólo es necesario realizarla para las piezas de aleación de cobre que contienen más de 15% de Cinc y para aleaciones que contienen menos del 80% de cobre.</p>			

Tabla 11. Secuencias de ensayos para todos los conectores destinados a conductores paralelos

<b>Secuencia</b>			
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3<sup>a</sup></b>	<b>4<sup>b</sup></b>
Calentamiento cíclico	Calentamiento estático.	Fijación Extracción	Corrosión bajo tensión
<p>Nota: La Tabla 11 aplica para los conectores que son destinados a ser usados en conexiones paralelas. Sin embargo, algunos conectores pueden tener funcionalidad dual, tanto paralelo y no paralela, en cuyo caso la Tabla 10 y la Tabla 11 son aplicables.</p> <p>a. Esta serie de ensayo se conoce como la secuencia mecánica.</p> <p>b. La prueba de corrosión bajo tensión, ya sea amoniaco húmedo o nitrato de mercurio, sólo es necesario realizarla para las piezas de aleación de cobre que contienen más de 15% de Cinc y para aleaciones que contienen menos del 80% de cobre.</p>			

<b>ENERGÍA</b>	<b>NORMA TÉCNICA</b>	<b>RA8-035</b>	REV. <b>0</b>
	<b>TRANSICIONES ALUMINIO-COBRE Y UNIONES PERNADAS</b>	ELABORÓ: UNIDAD N&E	REVISÓ: UNIDAD N&E
		APROBÓ: GERENCIA CET	FECHA: 2015/12/21
CENTROS DE EXCELENCIA TÉCNICA UNIDAD NORMALIZACIÓN Y ESPECIFICACIONES	ANSI A	 ESCALA: N/A	UNIDAD DE MEDIDA: mm
			PÁGINA: 34 de 34