
NORMA CUBANA

NC

ASTM B 49:2010
(Publicada por la ASTM en 2008)

**ESPECIFICACIONES DEL ALAMBRÓN DE COBRE
TREFILADO PARA PROPÓSITOS ELÉCTRICOS
(ASTM B 49:2008, IDT)**

Standard Specification for Copper Rod Drawing Stock for Electrical Purposes

ICS: 77.150.30

1. Edición Diciembre 2010
REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 Vedado, Ciudad de La Habana. Cuba. Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048; Correo electrónico: nc@ncnorma.cu; Sitio Web: www.nc.cubaindustria.cu



Cuban National Bureau of Standards

NC-ASTM B 49: 2010

Prefacio

La Oficina Nacional de Normalización (NC), es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba y representa al país ante las organizaciones internacionales y regionales de normalización.

La elaboración de las Normas Cubanas y otros documentos normativos relacionados se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. Su aprobación es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en las evidencias del consenso.

Esta Norma Cubana:

- Ha sido elaborada por el Comité Técnico de Normalización NC/CTN 72 de Conductores Eléctricos, integrado por representantes de las siguientes entidades:
 - Empresa Productora ELEKA del Ministerio de la Industria Sideromecánica (SIME)
 - Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias (MINFAR)
 - Ministerio del Turismo (MINTUR)
 - Ministerio de la Industria Básica (MINBAS)
 - Ministerio de la Construcción (MICONS)
 - Ministerio de Educación Superior (MES)
 - Ministerio de la Informática y las Comunicaciones (MIC)

- Es una adopción idéntica de la norma ASTM B-49: 2008 .Standard Specification for Copper Rod Drawing Stock for Electrical Purposes.

© NC, 2010

Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada en alguna forma o por medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias, fotografías y microfilmes, sin el permiso escrito previo de:

Oficina Nacional de Normalización (NC)

Calle E No. 261, Vedado, Ciudad de La Habana, Habana 4, Cuba.

Impreso en Cuba.

ESPECIFICACIÓN PARA TREFILADO DE ALAMBRÓN DE COBRE PARTA PROPÓSITOS ELÉCTRICOS

1 Objeto

1.1 Esta norma cumple los requisitos para alambres de cobre con diámetros de 6,4 mm a 35 mm ($\frac{1}{4}$ de pulgada a $1\frac{3}{8}$ pulgadas) hechos de cobre refinado electrolíticamente o cobres libres de oxígeno (tough pitch or oxygen free) y adecuados para la fabricación de conductores eléctricos.

1.2 Los valores establecidos en unidades libras, pulgadas o el sistema internacional, se deben considerar separadamente como normativos. Los valores en cada sistema no son exactamente equivalentes, por lo tanto cada sistema debe ser usado independientemente del otro. La combinación de los dos sistemas puede resultar en no conformidad con la especificación.

1.3 La siguiente advertencia de riesgo solamente se aplica al apartado 13. Esta norma no pretende considerar todos los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer los procedimientos de seguridad y salud ocupacional y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras ante de su uso.

2 Documentos de referencia

2.1 Los siguientes documentos de la edición vigente a la fecha de compra del material forman parte de esta norma en la medida en que se referencian aquí y define materiales adecuados para la fabricación del alambre

2.2 Normas ASTM

ASTM B 5: Standard Specification for High Conductivity Tough-Pitch Copper Refinery Shapes.

ASTM B 115: Standard Specification for Electrolytic Copper.

ASTM B 170: Standard Specification for Oxygen-Free Electrolytic Copper—Refinery Shapes.

ASTM B 193: Método de ensayo de la resistividad del material de los conductores eléctricos.

ASTM B 224: Standard Classification of Coppers.

ASTM B 577: 93(2004) e1 Standard Test Methods for Detection of Cuprous Oxide (Hydrogen Embrittlement Susceptibility) in Copper.

ASTM B 846: Standard Terminology for Copper and Copper Alloys.

ASTM E 8: Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.

ASTM E 18: Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials.

ASTM E 29: Standard Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications.

ASTM E 53: Standard Test Method for Determination of Copper in Unalloyed Copper by Gravimetric

ASTM E 478: Standard Test Methods for Chemical Analysis of Copper Alloys.

ASTM E 1606: Standard Practice for Electromagnetic (Eddy Current) Examination of Copper Redraw Rod for Electrical Purpose.

ASTM E 2575: Standard, Test Method for Determination of Oxygen in Copper and Copper Alloys.

2.3 Otros documentos

NBS – Hadbook 100 Coppers Wire Tables

3 Terminología

3.1 Para definiciones de términos generales relacionados con cobre y aleaciones de cobre, referirse a la terminología de la norma ASTM B – 846.

4 Información de los pedidos

4.1 Los pedidos del material cobijados en esta norma deben incluir la siguiente información.

4.1.1 Designación ASTM o NC y año de edición

4.1.2 Cantidad de cada calibre

4.1.3 El tipo y los requisitos del cobre (véanse los capítulos 5 al 10)

4.1.4 Acabado (véanse los capítulos 9 y 10)

4.1.5 Empaque con o sin uniones (véase apartado 9.2)

4.1.6 Diámetro del alambión (véase apartado 9.2)

4.1.7 Inspección (véase capítulo 15)

4.1.8 Tamaño del empaque según acuerdo entre el fabricante y el comprador (véase el capítulo 19)

4.2 Los siguientes requisitos son opcionales y pueden ser especificados en el contrato u orden de compra cuando sea requerido.

4.2.1 Certificación (véase el capítulo 17)

4.2.2 Reporte de ensayo (véase el capítulo 18)

5 Material y fabricación

5.1 El material debe ser cobre de calidad y pureza tal que el alambión terminado debe tener las propiedades y características presentes en esta norma.

NOTA 1 Las siguientes normas definen los materiales que se deben usar.

Normas ASTM B 5, ASTM B 115, ASTM B 170

5.2 Puede usarse también cobre de calidades, formas o tipos especiales según acuerdo entre fabricante y comprador y que cumpla los requisitos prescritos en esta norma.

5.3 Los rollos del alambión deben ser suministrados en tramos continuos con o sin uniones, de acuerdo a lo solicitado.

Tabla 1 — Composición química

Denominación Tipo de cobre	C11040 ETPa	C 10100 OFEc	C10200 OF	C11000 ETP
Cobre min.	99.90 %	99.99 %	99.95 %	99.90 %
			Incluyendo Plata	Incluyendo Plata
	ppm	ppm	ppm	ppm
Telurio , máx.	2	2	...	...
Selenio máx.	2	3	...	...
Bismuto, máx.	1.0	1.0	...	...
Grupo total max	3	...	...	...
Antimonio, max	4	4	...	...
Arsénico, max	5	5	...	...
Estaño, max	5	2	...	...
Plomo, max	5	5	...	...
Hierro ,max	10	10	...	...
Níquel max	10	10	...	...
Azufre,max	15	15	...	...
Plata ,max	25	25	...	...
Oxígeno	100-650	5 max	10 max	...
Maximo admisible	65a	...	...	...
Total				
Cadmio .max	...	1	...	...
Fosforo, max	...	3	...	...
Zinc, max	...	1	...	...
Manganeso, max	...	0.5	...	...

A ver 13.1.2

B desde B 115 grado 1 cobre o equivalente

C desde B 170 grado 1 cobre o equivalente

D desde B 170 Grade 2 cobre o equivalente

E por diferencia. Ver 13.1.2 y 13.1.3

F ver 13.1.1

G No incluye oxígeno.

6 Composición química

6.1 Cada tipo de alambraón debe cumplir los requisitos de composición química prescritos en la Tabla 1.

6.2 Por acuerdo entre fabricante y comprador, se considerará dentro de lo especificado la adición de plata hasta un promedio de 30 onzas troy por tonelada corta de cobre (0.10 %) con la plata incluida en el cobre en el análisis químico pero ningún análisis de plata individual puede exceder 35 onzas Troy por tonelada corta (0.12 %). Para cobres libres de oxígeno con contenido de plata, se usará la designación OFS (oxigen free, silver bearing) según lo indicado en la clasificación

ASTM B 224 e incluirá los números UNS (Sistema de numeración unificada de aleaciones) C-10400, C10500 y C10700 según lo defina el contenido de plata acordado.

6.3 El cobre con óxido cuproso y contenido de plata corresponde a la designación STP (Silver bearing Tough Pitch) según lo indicado en la clasificación ASTM B-224 y a cobre con números UNS C-11300, C11400, C11500, C11600.

6.4 Contenido de oxígeno.

El cobre libre de oxígeno aquí descrito está definido como cobre con un contenido de oxígeno que no excede 0.0010 % (10 ppm) y producido sin usar desoxidantes metálico u otros.

7 Requisitos de propiedades físicas

7.1 Resistividad volumétrica

La resistividad del cobre en condiciones de recocido (véase nota explicativa X 1.1.) no debe exceder los siguientes valores a 20 °C.

Tipo de Cobre	Resistividad Máxima a 20 °C Recocido Ωg/m ²
UNS C 10100 Únicamente	0.15176 (101.00 % IACS min.)
Todos los demás	0.15328 (100.00 % IACS min.)

8 Propiedades mecánicas

8.1 Ensayo de tensión

El alambroón acabado por laminación o por recocido tendrá una elongación a la tensión de mínimo 30 % en 250 mm (10 pulgadas) (Nota explicativa X 1.2) y métodos de ensayos ASTM E 8.

8.2 Ensayo de torsión:

Si se solicitan ensayos de torsión referirse a la nota explicativa X 1.3

8.3 Ensayo de fragilización (doblamiento)

8.3.1 El ensayo para revelar la tendencia a fragilización por hidrógeno debe hacer solamente a cobre libre de oxígeno.

8.3.2 La probeta debe ensayarse de acuerdo con el apartado 13.6 y la especificación ASTM B 170.

8.3.3 La probeta de cobre (UBS-C10100) OFE (electrónico libre de oxígeno) listado en la tabla 1 debe soportar sin romperse en dos piezas un mínimo de diez (10) dobleces contrario.

8.3.4 La probeta de cobre UNS- C 10200) OF (libre de oxígeno) listado en la tabla 1, preparado y ensayado, debe soportar sin romperse en dos piezas un mínimo de ocho (8) dobleces contrarios.

8.4 Recocibilidad

La recocibilidad no es un requisito de esta norma. Sin embargo, una información adicional se encontrará en las notas X 1.4 – X 1.6

9 Otros requisitos

9.1 Superficial

El espesor de la capa de óxido superficial se determina de acuerdo al apartado 13.5

9.1.1 El espesor total de la capa de óxido de cobre sobre alambraón de cobre decapado o sobre alambraón recocido pulido o sobre alambraón acabado en frío no debe exceder 750 A (10 -7 m).

9.1.2 El espesor de la capa residual de óxido sobre alambraón ya pulido no necesita especificarse.

9.1.3 No se necesita un requisito de óxido superficial para alambraón que no se pida limpio.

9.2 Diámetro

El diámetro del alambraón en cualquier punto no debe variar del especificado en más de las cantidades prescritas en la tabla 2

Tabla 2 — Variaciones permisibles

Diámetro Nominal mm (pulgadas)	Variaciones Permisibles mm(pulgadas)
6.4 (¼)	+0.51/-0.25 +(0.020/-0.010)
Mas de 6.4(¼) hasta 19 (¾) incluido	± 0.38 (± 0.015)
Mas de 19 (¾) hasta 25 (1.0) Incluido	± 0.51 (± 0.020)
Mas de 25 (1.0) hasta 35 (1 ¼) incluido	± 0.76 (± 0.030)

10 Fabricación, acabado y apariencia

10.1 El alambraón debe estar libre de defectos, son aceptables imperfecciones de una naturaleza tal que no interfieran con la aplicación destinada.

11 Plan de muestreo

11.1 Este procedimiento debe usarse en caso de disputa entre el fabricante y el comprador.

11.2 Se debe tomar una muestra de cada lote de 90 000 Kg. (200 000) para resistividad, elongación a la tensión, óxido superficial, ensayo de fragilización (doblamiento) y análisis químico

11.3 Cuando un lingote fundido de refinería, se ha analizado químicamente y se convierte en alambren sin refundirlo, no se requerirá análisis químico adicional.

12 Número de ensayos y reensayos

12.1 Ensayos químicos

La composición química debe ser determinada de acuerdo con la media de los resultados de los elementos a partir de mínimo 2 análisis de la muestra(s).

12.1.2 Otros ensayos

12.1.2.1 Resistividad, elongación y superficial.

Los resultados deben reportarse como el promedio obtenido de las dos últimas probetas, cada una tomada de una pieza de ensayos separada hasta donde sea posible.

12.1.2.2 Ensayo de fragilización por hidrógeno e inspección microscópica.

Todas las probetas ensayadas deben cumplir con los requisitos de la norma.

12.2 Reensayos

12.2.1 Cuando sea requerido por el fabricante o por el proveedor un reensayo, debe ser permitido cuando los resultados de los ensayos obtenidos por el comprador no cumplen con los requisitos de la especificación del producto.

12.2.2 El reensayo debe estar de acuerdo con la especificación del producto para el ensayo inicial con excepción del número de probetas de ensayo, las cuales deben ser dos veces al normalmente requerido para el ensayo especificado

12.2.3 Todas las probetas de ensayos deben cumplir con los requisitos de la especificación del producto de reensayo. El no cumplimiento deber ser causa de rechazo.

13 Método de ensayo

13.1 Análisis químico

13.1.1 En caso de conflicto determinar el contenido de cobre que no sean los UNS-C 10100 y UNS – C 11040 de la tabla 1 según el método de ensayo ASTB E 53.

13.1.2 El método analítico para determinar niveles de impurezas de los cobres mostrados en la tabla 1 deben estar de acuerdo con la norma ASTM B 115.

13.1.3 Calcular el contenido de cobre de los tipos UNS C 10 100 y UNS C 11040 restando del 100 % el total de la concentración de las impurezas determinadas.

El total de impurezas para UNS C-10100 se define como la suma de S, Ag, Pb, Sn, Bi, As, Sb, Fe, Ni, Zn, P, Se, Te, Mn, Cd, y O presentes en la muestra. El total de impurezas para UNS – C 11040 se define como la suma de S, Ag, Pb, Sn, Bi, As, Sb, Fe, Ni, Se, Te, y O presentes en la muestra.

13.1.4 Los métodos de ensayos anexos a la norma ASTM-B 170 pueden ser referenciados por los cobres libres de oxígeno. El método de ensayo de la norma ASTM: E-478 puede ser referenciado para la determinación de las aleaciones con contenido de plata permitida en esta norma.

13.1.5 El contenido de oxígeno se determina sobre muestras limpias de cobre usando aparatos de laboratorio adecuados o un instrumento comercial diseñado específicamente para ello. No se ha desarrollado un método ASTM.

13.2 Elongación

Se determina la elongación como el aumento permanente en longitud, causado por la rotura del alambren en tensión, medido entre marcas de referencia situadas originalmente a 250 mm (10 pulgadas) de distancia sobre la muestra (Nota explicativa X 1.2) La rotura debe ocurrir entre marcas y a no menos de 25 mm de cualquiera de ellas.

13.3 Resistividad eléctrica

13.3.1 A opción del fabricante la resistividad eléctrica podrá determinarse de acuerdo con los apartados 13.3.2

13.3.2 Hacer las medidas de resistencia (Nota explicativa X 1.3) sobre muestras del alambren después de limpiarlo y procesarlo hasta un diámetro aproximadamente 2.0 mm (0.08 pulgadas) y recocerlo a aproximadamente 500 °F (932 °C) durante 30 min. Pueden usarse otros métodos alternos equivalentes de recocido. Pueden usarse probetas de ensayos procesados a diámetros distintos a 2.0 mm (0.08 pulgadas) si ello se acuerda entre fabricante y comprador

13.3.3 Se pueden determinar medidas de resistencia sobre probetas de alambren después de limpieza pero sin posterior procesamiento y recocido. Sin embargo, en el caso de falla de una probeta de acuerdo con los criterios de 7.1 se permite un reensayo usando el procedimiento del apartado 13.3.2.

13.3.4 Determinar la resistividad eléctrica de acuerdo con el método de ensayo de la (ASTM B 193) excepto cuando se elige la opción de 13.3.3 para la sección transversal no debe aplicarse la tolerancia máxima y mínima según lo especificado en el método de ensayo (ASTM B 193)

Ver figura

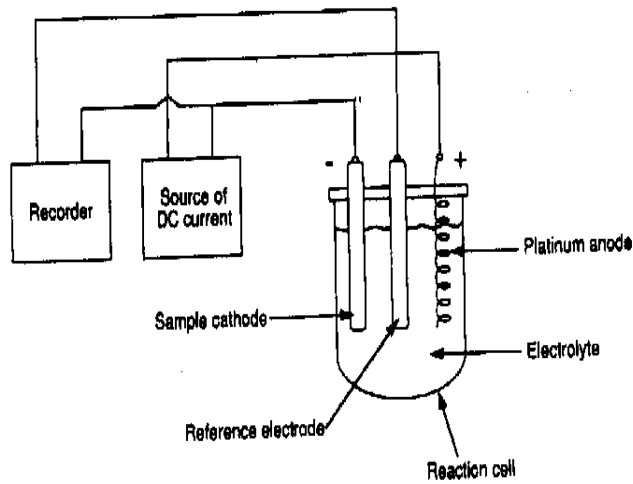


Figura 1 — Ilustración esquemática presentando reducción electrolítica. Método de ensayo

13.4 Diámetro

Mídase el diámetro del alambro con un aparato de medida adecuado, micrómetro calibrado u otro leyendo con aproximación de por lo menos 0.02 mm (0.001 pulgadas).

Ver figura

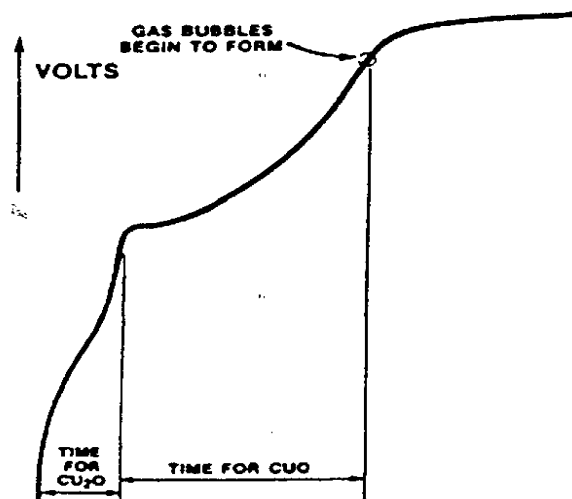


Figura 2 — Curva típica de voltaje – tiempo para la reducción de películas de óxido de cobre.

13.5 Superficial

13.5.1 Determinar el espesor y tipo de las películas de óxido no reducidas remanente en la superficie del alambren después de limpiarla mediante un método de reducción electrolítica.

Este ensayo se lleva a cabo reduciendo el (los) óxido(s) superficial (es) a cobre en una celda electrolítica, según muestra el diagrama esquemático de la figura 1, la probeta de ensayo se hace catódico respecto a un ánodo, el cual debe hacerse de alambre de platino o de un electrodo equivalente. Alimente la corriente de una fuente de C. D o un coulombímetro. Aunque un valor típico de corriente es diez miliamperímetros (10 mA) es mejor tener un equipo capaz de operar en el rango de 20 mA. El electrolito debe ser una solución de carbonato de sodio (0.1 M) y de cubrir al menos 101.6 mm (4 pulgadas) de la probeta de ensayo. Antes de probar, límpiense de grasa o aceite cada probeta de alambren usando acetona o un disolvente equivalente

13.5.2 Cada uno de los óxidos encontrados sobre el cobre, a saber cuproso y cúprico, se reducen secuencialmente a cobre a diferentes potenciales de reducción y deben registrarse los voltajes contra el tiempo durante todo el ensayo. Cuando las reacciones individuales entre los óxidos y los iones de hidrógeno gaseoso se completan, el hidrógeno gaseoso es emitido y pueden verse en la superficie de la probeta del alambren de cobre.

13.5.3 En la Figura 2 se muestra una curva típica de voltaje contra tiempo. Inicialmente se reduce el óxido cuproso. Cuando se completa esta reacción, la reducción del cúprico ocurre a un voltaje mayor.

13.5.4 Calcular el espesor de cada óxido presente en la siguiente forma:

$$T = \frac{IxtM}{SdxFn}$$

Donde:

T = espesor de, μm

I= corriente, A

t= tiempo de reacción

M= peso molecular de, g

S= Área de la superficie de la probeta cm^2

d= densidad del Cu_2O (6.90 g/cm^3) para el Cu_2O y 6.4 g/cm^3 para el CuO

F= constante de Faraday, 96 5006, y

n= equivalente de hidrógeno (2)

1- Para una descripción de un procedimiento normal. Sin embargo, alterno para determinar las películas de empañamiento de laminas expuestas a ensayos ambientales ver "Monitores de ensayos ambientales mediante la reducción coulométrica de muestras de controlo metálica. Journal of testig anda evaluation. 1989 pp, 357-369 ASTM. Referirse también a "El papel de superficial y su medición en la industria del Cobre "Wire Journal Marzo 1977, pp 50-57

13.6 Fragilización por hidrógeno

13.6.1 Estirar la muestra de alambre de cobre libre de oxígeno a alambre de 2.03 mm (0.080 pulgadas) de diámetro. Luego recocerla en una atmósfera que contenga no menos de 10 % de nitrógeno durante 30 min. A $850\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($560\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 45\text{ }^{\circ}\text{F}$) y enfriarla rápidamente en la misma atmósfera o, sin exposición indebida al aire, templarla entre agua. Asegurarse que a cada muestra se le haga el ensayo de doblamiento de acuerdo con el apartado 13.6.2

13.6.2 Sujetar ligeramente la muestra entre mordazas (véase el apartado 13.6.1) cuyos bordes tengan radio de 5.1 mm (0.200 pulgadas). Luego doblarla a mano sobre un borde de las mordazas hasta su ángulo de $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ y retornarla a su posición original. Esto constituye un segundo doblamiento. Hacer cada doblez sucesivo en dirección opuesta al anterior (véase método de ensayo ASTM B 577)

14 Importancia de los límites numéricos

14.1 Los valores calculados deben ser redondeados a la unidad más cercana del último dígito significativo a mano derecha empleando el valor límite de acuerdo con el método de redondeo de la práctica ASTM E 29.

15 Inspección

15.1 Todas las inspecciones y ensayos deben realizarse en el sitio de manufactura a menos que se acuerde lo contrario entre el comprador y el fabricante en el momento de la compra. El fabricante debe proporcionar al inspector que represente al comprador todas las facilidades razonables para que se cerciore de que el material que se está suministrando está de acuerdo con esta norma.

16 Rechazo y consideración**16.1 Rechazo**

16.1.1 El producto que no cumpla con los requisitos de la especificación del producto puede ser rechazado.

16.1.2 El rechazo debe ser reportado al fabricante o proveedor, prontamente y por escrito.

16.1.3 En caso de desacuerdo o insatisfacción con los resultados del ensayo bajo los cuales se baso el rechazo, el fabricante o proveedor puede recamar para su consideración.

16.2 Reconsideración

Como resultado del rechazo del producto, el fabricante o proveedor puede hacer la petición de los reensayos para que sean realizados por el fabricante o proveedor y el comprador. Muestras del producto rechazado deben tomarse de acuerdo con las especificaciones del producto y ensayarse por ambas partes según la especificación del producto o alternativamente bajo acuerdo de las partes, un laboratorio independiente puede ser seleccionado para la realización de los ensayos usando los métodos de ensayos previstos en la especificación del producto.

17 Certificación

17.1 Cuando sea especificado en el contrato u orden de compra, el fabricante debe suministrar una certificación de que las muestras representativas de cada lote han sido ensayadas o inspeccionadas como lo establece esta norma y que los requisitos han sido cumplidos.

18 Reporte de ensayos

18.1 Cuando sea especificado en el contrato u orden de compra, un reporte de los resultados de ensayos debe ser suministrado.

19 Empaque y rotulado

19.1 El tamaño de empaque debe acordarse entre el fabricante y el comprador y debe declararse en la orden de compra.

19.2 El alambón debe empacarse y protegerse contra daños del manejo y embarque normados consistentes en la buena practica comercial.

19.3 Los rollos individuales sin uniones y con peso (masa) superior a 1 400 kg. (3 000 lb.), deben marcarse o identificarse con lo siguiente:

19.3.1 Número de producción del rollo

19.3.2 Peso (masa) neto

19.3.3 Nombre, marca de fábrica, o marca registrada del fabricante

19.4 Una marcación de rollos diferente a la descrita en el apartado 19.3 debe acordarse entre el fabricante y el comprador.

Anexo A
(Información Obligatoria)

A.1 Plan de muestreo

A.1.1 Este procedimiento debe usarse en caso de disputa entre el fabricante y el comprador

A.1.2 Se debe tomar una muestra de cada lote de 90 000 Kg. (200 000 Lb.) para resistividad, elongación la tensión, óxido superficial, ensayo de fragilización (doblamiento) y análisis químico.

A.1.3 Cuando un lingote fundido de refinería se ha analizado químicamente y se convierte en alambre sin refundirlo, no debe requerirse análisis químico adicional.

Apéndice X

(Información Voluntaria)

X.1.1 – En la Tabla 3 se muestran algunas relaciones que pueden ser útiles en conexión con los valores de resistividad eléctrica predescritos en esta norma. Las unidades de resistividad están basadas en la norma internacional de cobre recocido (Internacional Annealed Copper Standard (IACS) adoptada por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en 1913, la cual es $1/58 \Omega/\text{mm}^2/\text{m}$ a 20°C para conductividad de 100 %. El valor de $0,017241 \Omega/\text{mm}^2/\text{m}$ y el valor $0.15328 \Omega\cdot\text{g}/\text{m}^2$ a 20°C son el equivalente internacional de resistividad volumétrica y de masa de cobre recocido respectivamente iguales (con 5 cifras significativas) a una conductividad del 100 %. El último termino significa que un alambre de cobre de 1 m de longitud y que pese 1 g tendrá una resistencia de $0,15328 \Omega$. Esto es equivalente a un valor de resistividad de 875.20Ω libra/milla², que significa la resistencia de 1 milla de largo con un peso de una libra. Es también equivalente por ejemplo a $1,7241 \mu\Omega/\text{cm}$ de longitud de una barra de cobre con sección circular de 1 cm^2 . El NBS Hadbook 100 contiene una discusión completa de este tema. El uso de 5 cifras significativas para expresar la resistividad no implica la necesidad de una exactitud de medida mayor de la especificada en el método de prueba ASTM B 193. El uso de 5 cifras significativas se requiera para una conversión razonablemente reversible de un cómputo de valores de resistividad al otro. Los valores equivalentes de resistividad de la tabla se derivaron del valor fundamental de IEC $1/58 \Omega/\text{mm}^2/\text{m}$ calculado a siete cifras significativas y luego redondeadas a 5 figuras.

Tabla 3 — Valores equivalentes de Resistividad

Conductividad a 20°C (100 % IACS)	100.00	101.00
$\Omega\cdot\text{lb}/\text{milla}^2$	875.20	866.53
$\Omega\cdot\text{g}/\text{m}^2$	0.15328	0.15176
$\Omega\cdot\text{cm}/\text{pie}$	10.371	10.268
$\Omega/\text{mm}^2/\text{m}$	0.0172410	0.01770
$\Omega\cdot\text{pulgada}$	0.67879	0.67207
Ω/cm	1.7241	1.7070

A. Los valores equivalentes de resistividad para 100 % IACS (cobre suave) fueron calculados del valor fundamental IEC $1/58 \Omega/\text{mm}^2/\text{m}$, usando factores de conversión con una precisión de al menos siete cifras significativas

X.1.2 En general los valores resultantes del ensayo de elongación a la tensión se reducen al aumentar la velocidad del cabezal móvil de la máquina de ensayo cuando se ensayan a la tensión alambres y alambrones de cobre. Sin embargo, en el caso de prueba sobre alambres de cobre blanco o recocido, los efectos de la velocidad de ensayo no son pronunciados. En ensayos de alambres blandos hechos a velocidad no mayores de 300 m/min. (12 pulgadas / min.) Los valores obtenidos para la elongación no se afectan en un grado práctico (véase método de ensayo ASTM E 8).

X.1.3 Los ensayos de torsión son usados por fabricantes. Debido a la incierta correlación con el desempeño y el aspecto subjetivo de su interpretación estos ensayos deben usarse solo como indicadores de control interno del proceso. Por consiguiente, no se recomienda un ensayo normalizado.

X.1.4 Recocibilidad mediante ensayo de dureza.

De cada extremo de un lote de rollos se debe cortar una muestra de longitud adecuada. La muestra tal como fue recibida, debe laminarse en frío a sección plana tal que el espesor sea el 30 % del diámetro del alambón original. No se requiere laminar los bordes. El cobre aplanado debe calentarse a $275\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ ($527\text{ °F} \pm 2\text{ °F}$) durante 15 min. en un baño de temperatura constante y se templará inmediatamente en agua a temperatura ambiente. Pueden usarse otras temperaturas y tiempo por acuerdo especial entre el fabricante y el comprador. Se debe medir la dureza a lo largo de la probeta recocida usando la escala Rockwell F, según el método de ensayo ASTM-E 18.

X.1.5 Recocibilidad mediante torsión (elongación espiral)

El ensayo de elongación espiral aquí descrito se usa solo para probar cobre de alta conductividad que se muestra en la etapa de alambón y no se dirige a la calidad del alambre de sobre seleccionado en posteriores etapas del procesamiento comercial. El alambre de cobre recibe inicialmente un recocido a baja temperatura en condiciones estrictamente controladas subsecuentemente envolviéndolo mientras se somete a carga tensora, en un espiral (configuración helicoidal) que luego se estira axialmente con un peso de masa especificado. El cambio de longitud media después de remover el peso, y la espiral se ha recuperado, se considera una medida de blandura.

Tratamiento del alambón. Se debe cortar una muestra de longitud apropiada del extremo de un lote de rollo y si fuere necesario, se reduce a un diámetro de $6.35\text{ mm} + 0.50\text{ mm} - 0.25\text{ mm}$ ($0.25\text{ pulgadas} + 0.20 - 0.010\text{ pulgadas}$) u $8.00\text{ mm} \pm 0.40\text{ mm}$ ($0.315\text{ pulgadas} \pm 0.015\text{ pulgadas}$) por trefilado en frío. Esta muestra debe recocerse o no de acuerdo a las siguientes circunstancias.

a) No se hará atamiento de recocido si el cobre se procesa de acuerdo a un programa específico de fabricación.

b) La muestra debe someterse a un tratamiento de recocido se deberá comparar muestras producidas mediante diferentes ventas de fabricación. En esta circunstancia la muestra de alambón debe recocerse en atmósfera normal durante 1 h a $700\text{ °C} \pm 20\text{ °C}$ (1256 °F a 1328 °C) y luego se templará en agua o en una solución diluida (10 % V/V) de ácido sulfúrico a temperatura ambiente. La escama de de cobre debe removerse n un baño de ácido sulfúrico 10 % V/V volumen por volumen y lavado completamente para remover escamas flojas o polvo de cobre adherido.

Preparación del alambre para la prueba de elongación en espiral. La muestra del alambón debe trefilarse a alambre de $2,0\text{ mm} \pm 0,25\text{ mm}$ ($0,080\text{ pulgadas} \pm 0,01\text{ pulgadas}$) de diámetro en una serie de pasos cada uno de los cuales reducirá en 20 % a 25 % la sección transversal del conductor.

Se debe tener particular cuidado para evitar excesivo calentamiento del cobre durante el trefilado. Por ejemplo se debe dejar enfriar el alambre durante 5 min. Entre pasos o templarlo a tempera

tura ambiente después de cada paso. Adicionalmente la velocidad de trefilado no debe exceder a 60 cm / min (200 pies x min) y el alambre trefilado debe envolverse en rollos con diámetros mínimos de 200 mm.

Después de trefilado con el alambre debe formarse una bobina espiral envolviéndolo sobre un mandril con diámetro mínimo de 200 mm (787 pulgadas).

Luego la espiral de cobre debe retirarse del mandril, se calentará durante 2 horas a $200\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($392\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{F}$) en baño de temperatura constante y se enfriará inmediatamente a temperatura ambiente.

La temperatura de cobre debe mantenerse uniforme y debe medirse muy exactamente. Puesto que un buen control de temperatura es extremadamente importante, se deben colocar termocupas en sitios estratégicos por todo el aparato de recocido. Se recomienda que con una falsa muestra de alambroón de 8 mm de diámetro, se forma un anillo de 200 mm de diámetro colocándolo en el baño de temperatura constante en la misma posición normalmente ocupado por el espiral del alambre de prueba. Usando una termocupla empotrada en el alambre a una profundidad igual al radio del alambroón, la temperatura debería llegar a la de recocido dentro de un período de 5 min.

Procedimiento de ensayo. De la bobina de alambre recocido se corta una probeta de 1400 mm de longitud. Usando una herramienta de marcación indeleble se marca una longitud de referencia de 1 000 mm en la zona central de la probeta de alambre de cobre. Un extremo de la probeta de ensayo se fija firmemente en el extremo de un mandril pulido, de eje horizontal y con diámetro de $20\text{ mm} \pm 0,01\text{ mm}$. Del extremo libre del alambre se suspende una carga de 2 240 kg induciendo así un esfuerzo de 7 Mpa ($1\text{ 000 lb. /pulgada}^2$). El alambre se enrolla sobre el mandril para formar un espiral rotando este último a una velocidad de aproximadamente 50 rev/minuto, cuidando especialmente que cada vuelta de la espiral toque la precedente, que las vueltas no queden forzadas en su sitio, y que la manipulación se mantenga al mínimo. El alambre se envolverá en la misma dirección en la cual se había envuelto previamente.

Aunque la longitud entre marcas sobre la espiral es de aproximadamente 28 mm se debe medir esta distancia con aproximación de 21 mm y registrarlo como valor " l_0 ".

Luego debe retirarse el mandril la espiral del alambre, asegurando cuidadosamente en un extremo y cargarlo axialmente en el otro (Inferior) con el peso de 2 240 Kg. que se usó en la antes mencionada operación de enrollarlo.

El peso debe soportar inicialmente con una plataforma y se cargará al espiral uniforme y suavemente por uno cualquiera de los dos métodos a saber.

- a) Bajando la plataforma que soporta el peso o
- b) Subiendo el extremo superior del espiral a una velocidad tal que el estiramiento de la espiral no se retire a una tasa que no exceda de 20 cm/s.

Después de 1 min. de suspensión libre, se retira manualmente el peso de forma muy cuidadosa y se deja relajar la espiral elongada colocándola sobre una mesa por un período adicional de 1 min. Debe notarse que la carga no se debe retirar subiendo la plataforma ni subiendo el extremo inferior de la espiral.

La longitud estirada de la espiral entre marcas debe medirse con una aproximación a 1 min. y se denominará " l_f ". El valor de elongación de la espiral en milímetros se calcula como la diferencia $l_f - l_0$.

Este mismo procedimiento debe repetirse sobre dos espirales adicionales del mismo rollo y el valor promedio obtenido de los tres espirales separado se denominará como el número de elongación espiral.

X.1.6 Recocibilidad (generalidades)

Aunque en la literatura se han reportado cinco tipos básicos distintos de métodos de prueba para medir la recocibilidad de lingotes para alambres o alambre, existen numerosas variaciones y perturbaciones. Para una descripción más minuciosa de estas ensayos, referirse al "Journal of Testing and Evaluation".

Como se usan frecuentemente pruebas de dureza y de torsión, las Notas explicativas X.1.4 y X.1.5 contienen procedimientos detallados. Los valores de ablandamiento para cobres recocidos a baja temperatura y para otros tipos de alambre de cobre si se solicitan, deben darse por acuerdo entre productor y usuario.