

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



**RECOCIDO CONTÍNUO PARA ALAMBRES DE COBRE EN LA
INDUSTRIA DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS**

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELÉCTRICISTA

PRESENTADO POR:

RENE QUISPE ATAUCURI

**PROMOCIÓN
1985- I**

**LIMA – PERÚ
2006**

**RECOCIDO CONTINUO PARA ALAMBRES DE COBRE EN LA
INDUSTRIA DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS**

A mi esposa e hijos

A la memoria de mi padre

A mi madre

A mis hermanos...

a cuenta de lo que soñamos

SUMARIO

La aplicación por excelencia del cobre es como material conductor en la industria de los conductores eléctricos, destinándose alrededor del 45 % del consumo anual de cobre. La conductividad eléctrica del cobre merece especial mención por ser adoptada por la Comisión Electrotécnica Internacional en 1913 como base de la norma IACS.

Además de la conductividad, el cobre posee características ventajosas de maleabilidad y ductilidad, lo que facilita la fabricación de los conductores en los procesos de trefilado, reunido y cableado.

El cobre usado es el cobre electrolítico y la materia prima original son los cátodos de cobre, estos deben ser fundidos y convertidos en alambrón.

Una de las características importantes del cobre es la concentración de oxígeno y el proceso que mejor controla esta concentración es el proceso de colada continua vertical (up cast).

En la Industria de los conductores, existen diversos diseños de recocedores continuos pero todos ellos usan el mismo principio del efecto Joule, para el calentamiento del hilo de cobre.

El recocido del cobre ha tomado mayor importancia porque permite mayores velocidades de producción y mejor calidad del producto final.

El presente trabajo muestra en detalle los pasos y cálculos eléctricos para el proceso de recocido de los alambres de cobre en la fabricación de conductores eléctricos.

INDICE

PROLOGO	1
CAPITULO I	
CARACTERÍSTICAS DEL COBRE EN LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS	
1.1.- Definiciones importantes.	3
1.2.- Características principales y normalización del cobre.	3
1.3.- Cobre ETP.	8
1.4.- Cobre libre de oxígeno.	8
1.5.- Colada continua vertical. (UP CAST)	9
1.5.1.- Sistemas de un solo horno para capacidades de hasta 600 TPA.	10
1.5.2.- Sistemas de dos hornos para capacidades mayores.	10
1.5.3.- Control de oxígeno.	10
1.5.4.- Alambres producidos con el sistema UP CAST.	11
CAPITULO II	
PROCESOS DE TREFILADO Y RECOCIDO CONTÍNUO	
2.1.- Pasos de trefilado continuo.	12
2.2.- Recocido del cobre.	13
2.2.1.- Hornos de recocido.	13
2.2.2.- Recocido continuo.	14
CAPITULO III	
CÁLCULOS DE RECOCIDO	
3.1.- Consideraciones asumidas.	15
3.2.- Diagrama de recocido.	16
3.3.- Cálculos para recocido continuo.	16
3.3.1.- Cálculos de tensión de recocido.	16
3.3.2.- Cálculos de temperaturas.	17
3.3.3.- Cálculos de Potencias.	18
3.4.- Cálculo de la relación entre Potencia y velocidad.	19

CAPITULO IV**MAQUINARIA PARA RECOCIDO CONTINUO**

4.1.-	Estructura	22
4.2.-	Circuito de recocido.	25
4.2.1.-	Circuito de vapor.	25
4.2.2.-	Circuito de enfriamiento.	26
4.2.3.-	Circuito de enfriamiento de poleas de recocido.	27
4.2.4.-	Secado de alambre.	27
4.2.5.-	Pista de recocido.	28
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	29
	ANEXOS	33
	BIBLIOGRAFÍA.	63

PROLOGO

El presente trabajo nos muestra una secuencia de los pasos iniciales en la fabricación de los conductores eléctricos.

En realidad, la fabricación de los conductores eléctricos, ha venido variando en el transcurso de los años. Los conductores tenían una designación de letras que servía para identificar las características mecánicas de su fabricación, por ejemplo un cable NKYY, significaba que era un cable de energía con conductores normalizados de cobre, con una cubierta de papel impregnado en aceite, con una manga de plomo y doble cubierta exterior termoplástica.

El avance exponencial en las formulaciones de polímeros ha reemplazado a las aplicaciones anteriores, tal es así que ya no se usa el papel impregnado en aceite, esto quiere decir que las máquinas encintadoras de papel se han tenido que desmontar de las plantas de los fabricantes de conductores eléctricos. Tampoco se usa el yute alquitranado, esto significa que los tanques de calentamiento y las maquinas para la aplicación del alquitrán han corrido la misma suerte, se han tenido que desmontar. Igual suerte han corrido las inmensas prensas de aplicación de mangas de plomo, aunque algunos fabricantes las mantengas instaladas por eventuales pedidos especiales.

En el primer capítulo se detallan los procedimientos para la obtención del alambón de cobre, en nuestro país, existen plantas de colada continua del tipo UPCAST y de Rueda de Colada, el alambón obtenido debe cumplir con las exigencias que estipulan las normas.

En el segundo capítulo se detallan los pasos de trefilado y recocido. El proceso de trefilado o adelgazamiento del diámetro del alambre se efectúan en las máquinas trefiladoras, las trefiladoras normalmente tenían capacidad para un hilo (alambre), en la actualidad existen trefiladoras con capacidad para 7 y hasta 14 hilos, estos hilos son trefilados simultáneamente y en paralelo y recocen simultáneamente todos los hilos estas máquinas por ejemplo una de 14 hilos reemplaza a 14 maquinas simples.

El recocido se hacía normalmente en unos hornos en los que se acomodaban los carretes metálicos que contenían el cobre, se cerraba herméticamente y se aplicaba una bomba de vacío para extraer el aire del horno y se inyectaba un gas inerte,

normalmente nitrógeno, luego se dejaba el cobre sometido a una temperatura de recocido, esto significaba grandes desperdicios de energía así como de tiempo ya que era una fase más en el proceso de producción.

El recocido continuo ha mejorado la velocidad de producción sin menoscabo de la calidad.

En el capítulo tres se realizan todos los cálculos del recocido y potencias. Los fabricantes utilizan un factor que depende de los parámetros constructivos, este factor considera todas las pérdidas.

En un recocedor continuo, normalmente tiene dos etapas de recocido, una de precalentamiento para que el choque térmico no sea muy brusco, pero algunos fabricantes por ejemplo la NIEHOFF considera en algunos modelos una etapa más post calentamiento (posterior al recocido). En realidad lo ideal sería que tuviera más etapas para que el cobre pase en forma gradual de una temperatura a otra, pero por efectos constructivos que complicaría el excesivo número de poleas de recocido, con la consiguiente dificultad de la llegada de corriente a cada polea y el enhebrado de los hilos.

En el cuarto capítulo se muestra el equipo recocedor con sus circuitos para completar la idea de los recocedores existentes en la Industria de los conductores.

CAPITULO I

CARACTERÍSTICAS DEL COBRE EN LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS

1.1.- Definiciones importantes.-

Rigidez dieléctrica.-

Se define como el máximo gradiente de potencial que el material puede resistir sin perforación.

Es una propiedad que varía con muchos factores tales como el espesor del material, forma o distribución del campo eléctrico, frecuencia y duración de la tensión, temperatura, humedad, etc.

Factor de pérdida ($\text{tg } \delta$).-

Cuando se somete un material aislante a una tensión alterna, este es recorrido por una corriente de “desplazamiento” que es proporcional a la capacidad electrostática, a la frecuencia y a la tensión aplicada.

La razón entre la potencia real (activa) y la potencia reactiva se denomina factor de pérdida del dieléctrico y viene dada por “tangente δ ”.

Cátodo de cobre.-

La producción de cobre comienza con la extracción del mineral. Esta puede realizarse a cielo abierto (explotación más común) ó en galerías subterráneas.

El mineral extraído por medios mecánicos, óxidos y sulfuros, se tritura obteniendo un polvo que contiene usualmente menos del 1 % de cobre. Este deberá ser enriquecido ó concentrado obteniendo una pasta con un 15 % de cobre.

Este mineral se traslada a un tanque de lixiviado en el que se filtra ácido sulfúrico diluido obteniendo una débil solución de sulfato de cobre de la que se obtiene el cátodo de cobre por electrólisis.

Conductor eléctrico aislado.

Un conductor eléctrico aislado usa como núcleo cobre ó aluminio y para el aislamiento dependiendo del rango de tensión, cloruro de polivinilo (PVC) ó polietileno (PE) que puede ser de alta densidad (PEAD) ó polietileno de baja densidad (PE BD) ó polietileno reticulado (XLPE).

Aislante.-

El material aislante usado debe cumplir las exigencias de la Norma Técnica Peruana NTP 370.050.

Es bastante común encontrar que los fabricantes de conductores manejen sus propias formulaciones basándose en las características que quieran obtener, partiendo siempre del cloruro de polivinilo (PVC) y polietileno (PE).

Las características de estos compuestos se dan en la citada norma siendo necesario resaltar algunas cualidades del PE y del XLPE.

El polietileno (PE).-

Posee una resistencia intrínseca a la ruptura a temperatura ambiente de 500 – 800 kv/mm.

El factor de pérdidas es bastante bajo a altas temperaturas a 80° C:

$\text{tg}\delta = 2 \times 10^{-5}$ a 10 kv/mm. y a 90 kv/mm es 42×10^{-5}

A temperatura ambiente la resistencia mecánica es 12 – 35 MN/m² es químicamente inerte, estable y altamente resistente a ácidos y alcalinos.

Tiene poco peso, 920 kg/m³

El polietileno reticulado (XLPE).-

El reticulado del PE se efectúa incorporando un catalizador adecuado y aplicando alta temperatura, aproximadamente 126° C después de la extrusión, para efectuar la vulcanización. Bajo estas condiciones los radicales libres de etileno (monomio base del PE) reacciona con el catalizador hasta formar la estructura reticulada del PE más consistente.

El XLPE tiene un número de propiedades que lo colocan en ventaja en comparación con diferentes polímeros; tiene muy buenas propiedades de envejecimiento, resistencia al ozono, desgaste, corte y resistencia a la ruptura.

La temperatura máxima del conductor aislado con XLPE es de 90° C, pudiendo resistir en emergencias temperaturas de hasta 130° C y en cortocircuitos hasta 250° C.

1.2.- Características principales y normalización del cobre.-

El material usado en los conductores eléctricos es el cobre electrolítico, el mismo que debe contener un rango menor de 500 p.p.m (partes por millón) de oxígeno.

El cobre es obtenido por colada continua dentro de los cuales existen tres procesos; el de colada continua horizontal, el de colada continua vertical (UP CAST) y el de rueda de colada.

En todos estos procesos se debe cuidar que el cobre no se contamine con el oxígeno del medio ambiente y tenga el rango mencionado de oxígeno.

La materia prima usada en estos procesos es el cobre electrolítico suministrado en cátodos.

El producto final es un alambro de 8mm., que en algunos casos puede trefilarse para entregar al cliente en 6.5mm.

El cobre usado en la fabricación de conductores eléctricos es el cobre suave y debe cumplir las exigencias de la Norma Técnica Peruana NTP 370.042.

Damos a continuación algunas características del cobre.-

Tabla N° 1.1 Características del Cobre

Alargamiento de rotura (%)	20 a 35
Conductibilidad (%)	100
Módulo de elasticidad (Kg/mm ²)	10,000
Punto de fusión (°C)	1,083
Densidad a 20° C (grs/cm ³)	8.89
Resistividad eléctrica a 20° C (ohm-mm/mt)	0.01724
Coefficiente térmico de resistencia a 20° C	0.00393
Coefficiente lineal de expansión a 20° C	17/1'000,000

El cobre como todos los metales y como todos los elementos químicos, está formado por átomos. Para muchos propósitos es útil y válido considerar los átomos como esferas rígidas. Así podemos hablar del tamaño de los diferentes elementos refiriéndonos a su radio atómico. Los tamaños de los átomos se miden en Angstrom (\AA), un Angstrom es igual a 10^{-8} cm, es decir, un centímetro contiene 100 millones de Angstroms.

En todos los metales en estado líquido, los átomos se encuentran en movimiento aleatorio, no guardan posiciones fijas. Cuando los metales solidifican al ser enfriados, el movimiento atómico cesa. En estado sólido los metales adquieren un ordenamiento definido tridimensional, en tal caso se dice que tienen una estructura cristalina. Forman cristales que son arreglos regulares, ordenados y repetitivos.

Los sólidos cristalinos pueden adoptar alguna o algunas de las 14 estructuras posibles conocidas como las redes de Bravais. Afortunadamente, salvo escasas excepciones los metales cristalizan en solo tres estructuras: la estructura cúbica centrada en el cuerpo "body centered cubic" (bcc), estructura cúbica centrada en las caras "Face centered cubic" (fcc) y la estructura exagonal compacta "hexagonal close packed" (hcp).

El cobre en particular tiene una estructura cristalina centrada en las caras (fcc).

Los átomos de cobre se encuentran colocados en los vértices del cubo así como en el centro de cada una de las caras, la longitud del lado del cubo es de 3.61 Angstrom.

Nótese que en esta estructura existen huecos que pueden ocuparse por átomos de tamaño más pequeño.

El arreglo de los materiales cristalino no es perfecto. Un lugar que debería estar ocupado por un átomo a veces está vacío, este defecto recibe el nombre de "vacancia". En un metal con elementos aleantes, un lugar que normalmente está ocupado por el metal huésped puede ser ocupado por otro átomo de radio atómico similar, este defecto se llama "átomo de impureza sustitucional", cuando los átomos de impureza son considerablemente más pequeños que los átomos del metal huésped, pueden alojarse en los huecos o intersticios de la red cristalina, este defecto se llama "átomo de impureza intersticial".

En una aleación los elementos aleantes pueden estar en solución sólida como intersticiales o sustitucionales o bien pueden estar presentes formando parte de compuestos.

De singular importancia en las propiedades de los metales son los defectos llamados dislocaciones. Estas son un defecto en el ordenamiento que se manifiestan como líneas.

Las dislocaciones son responsables de la ductilidad de los metales, la línea de las dislocaciones pueden deslizarse sobre planos cristalinos de la estructura cuando se aplica esfuerzo a los metales y esto produce una deformación plástica.

Las dislocaciones se generan desde el proceso de solidificación. En una muestra de un centímetro cúbico de metal recocido se tiene típicamente cerca de un millón de dislocaciones. Cuando el metal se lamina o se trefila, la cantidad de dislocaciones puede ser millones de veces más elevada. La deformación produce más dislocaciones.

Es sabido que un metal recocido es suave y de baja resistencia mecánica, esto es debido a la moderada cantidad de dislocaciones que contiene y que son relativamente libres de moverse bajo la acción de bajos esfuerzos.

Cuando el metal es deformado en frío su dureza y resistencia aumentan, esto es debido a que las dislocaciones experimentan gran dificultad para deslizarse y solo lo hacen en cantidad limitada y bajo esfuerzos muy elevados.

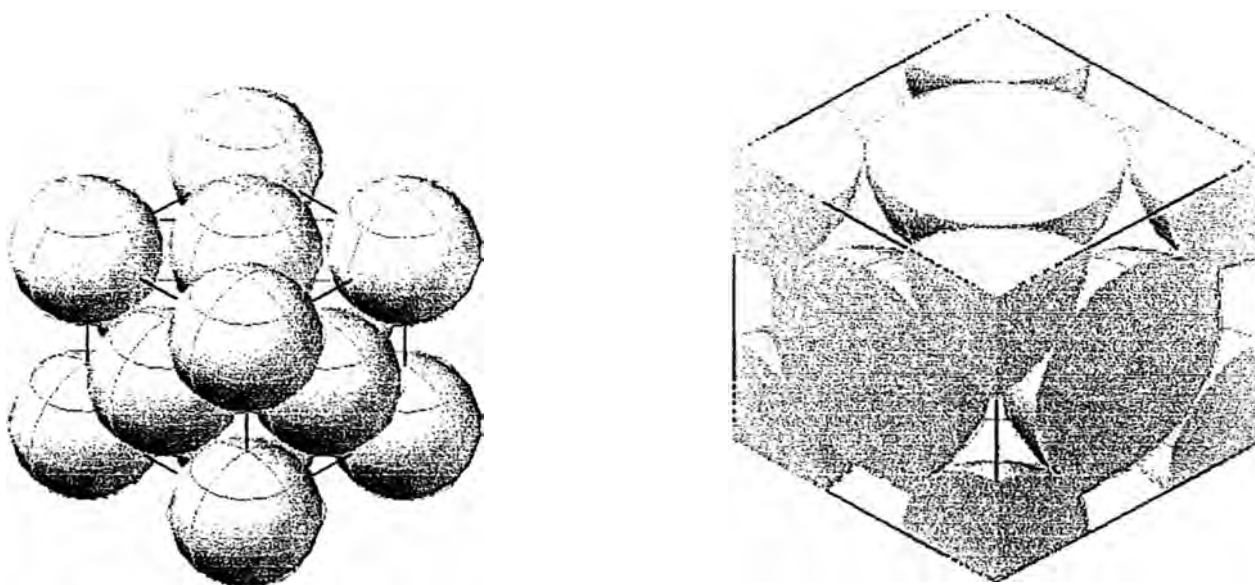


Fig. N° 1.1 Estructura cristalina del cobre
Cúbica centrada en las caras (fcc)

Normalización.-

La normalización del cobre recocido para uso eléctrico, se detalla en la Norma Técnica Peruana (NTP) 370.042 bajo la designación “Conductores de cobre recocido para uso eléctrico”, se adjuntan en los anexos esta norma (ANEXO 1).

En los puntos que no se encuentren especificados en esta norma, se aplicara la norma **ASTM B49 (2004)** “Electrolytic Tough Pitch copper” (cobre ETP), esta norma cubre los requerimientos necesarios que debe cumplir el alambre de cobre en un rango de diámetros desde $\frac{1}{4}$ ” hasta $1 \frac{3}{8}$ ”, libre de oxígeno y producido por laminación y destinado para conductores eléctricos.

Otras normas de apoyo son las siguientes:

ASTM B115 (2004), norma que establece los requerimientos que deben cumplir los cátodos de cobre electrolítico.

ASTM B68 (2004), norma que establece los requerimientos que debe cumplir el alambre de cobre libre de oxígeno destinado para uso electrónico.

NTP 370.250 (2005), norma que establece los requerimientos que deben cumplir los conductores para cables aislados que conducen energía eléctrica en instalaciones fijas y móviles.

NTP 370.252 (2006), norma que establece los requerimientos que deben cumplir los conductores de cobre recocido, rígidos ó flexibles aislados y cubiertos con PVC a ser usados en instalaciones fijas, móviles y dentro de aparatos.

NTP 370.253 (2003), norma que establece los requerimientos que deben cumplir los conductores de cobre recocido rígidos ó flexibles aislados y cubiertos con compuestos termoplásticos (PVC) ó termoestables (XLPE) a ser usados en instalaciones fijas y móviles.

NPT 370.255 -1 y 370.255 -2, norma que establece los requerimientos constructivos, dimensionales y de ensayos que deben cumplir los cables de energía con aislamiento extruido de tensiones nominales de 3 Kv para ser usados en instalaciones fijas tales como redes de distribución ó instalaciones industriales.

NPT 370.221, norma que determina las definiciones generales para conductores de uso eléctrico.

NPT 342.045, norma que establece el método de ensayo de torsión simple para el alambre de cobre de diámetro mayor ó igual que 0.5 mm, adjuntamos esta norma en los anexos (ANEXO 2).

NPT 342.039, norma que establece el método de ensayo de tracción para el alambre de cobre de diámetros mayores o iguales de 5 mm para determinar su elongación, adjuntamos dicha norma en los anexos (ANEXO 3).

1.3. - Cobre ETP (Electrolytic Tough Pitch).

Los cátodos de cobre de alta pureza, obtenidos por electrólisis, se funden en una planta de rueda de colada continua (continuous cast hot rolled), para producir alambrones de 8 mm de diámetro. El proceso comienza con la fusión de cátodos de alta calidad en el horno fusión. El metal fundido pasa a un horno de mantenimiento, y de allí el metal se cuele en un molde continuo consistente en una rueda y una banda de acero en el cual se produce la solidificación, mediante la refrigeración por agua en spray sobre la banda y la rueda de colada. La barra de metal sólido, a alta temperatura, con la forma trapezoidal de la canaleta del molde, se produce en forma continua, y alimenta directamente a la unidad de laminación en caliente. La superficie del alambrón, luego de pasar por los últimos rodillos laminadores, se limpia con un sistema de pulverización de una solución de alcohol. El alambrón bajo pedido se cubre entonces, con una delgada película de cera para protegerlo de la oxidación atmosférica normal. Finalmente, el alambrón se enrolla sobre pallets, de hasta 4.000 Kg. con espiras en forma de roseta.

1.4.- Cobre libre de oxígeno.

El alambre de cobre usado en la industria del cable es un alambre de 8 mm. de diámetro, con una conductividad de 101% IACS (Internacional Annealed cooper

stándar). Norma internacional donde al cobre recocido se le adjudica un índice de conductividad del 100%.

El alambroón de cobre libre de oxígeno con un porcentaje de oxígeno que debe ser inferior al 4% de ppm (partes por millón), producido por medio del proceso de colada continua UPCAST ha probado ser el de más alta calidad para muchos productores de alambres y cables en varias aplicaciones industriales.

1.5.- Colada continua vertical (UP CAST)

El proceso de colada continua vertical consta de una maquina de carga automática que alimenta con cátodos de cobre al horno de fundición. Una porción del metal fundido es transferida cada cierto tiempo, a través de un canal de transferencia, a un horno de mantenimiento, también de inducción del tipo canal. La máquina de colada propiamente dicha se encuentra sobre el horno de mantenimiento. La colada de alambroón se inicia con la inmersión del arreglo matriz-enfriador en el metal fundido hasta una profundidad de aproximadamente 10cm. Esto crea una presión metalostática que fuerza al cobre fundido a fluir al interior de la matriz de grafito. El cobre entonces se solidifica contra la superficie interna de dicha matriz. En un movimiento continuo de tipo "para y sigue", el alambroón es extraído hacia arriba, fuera de la máquina de colada, por medio de ejes de tracción accionados por servomotores, y es guiado hasta los bobinadores.

La energía requerida para el calentamiento y fundición de los cátodos y para el mantenimiento del metal fundido se obtiene a partir de inductores de canal. Un inductor es la manera más eficiente de transformar energía eléctrica en calor para fundir el cobre. Un inductor consiste en:

- Una carcasa refrigerada por aire o agua, que puede ser desconectada del cuerpo del horno;
- Un canal dentro del cual fluye el cobre fundido y actúa como una bobina secundaria;
- Cobertura refractaria del área del canal. Este material refractario está hecho usualmente a base de silicio. Una bobina primaria y su núcleo magnético, que al ser alimentada eléctricamente induce elevadas corrientes en el canal.

Un inductor de canal calienta directamente el cobre fundido del horno, sin barreras intermedias, siendo por lo tanto la manera más eficiente desde el punto de vista energético de fundir eléctricamente metales. Una regulación precisa de la temperatura es lograda de la misma manera. Ya que la fluctuación en la temperatura del baño (metal fundido) puede afectar la solidificación, el control de temperatura es muy importante, no solo por economía de la energía, sino también con respecto a la calidad del alambroón.

1.5.1.- Sistemas de un solo horno para capacidades de hasta 6000 TPA.

El sistema de un solo horno requiere un horno de precalentamiento para calentar los cátodos antes de ser cargados en el horno combinado de fundición/colada.

En sistemas de dos hornos, el horno de fundición se encarga de eliminar la posible humedad del cátodo y suprime las fluctuaciones de temperatura causadas por la carga de cátodos "fríos" en el baño. Aún cuando el horno combinado es grande en volumen (min. 5 toneladas), debe ser precedido por un horno de precalentamiento. Un cátodo calentado hasta 200°C se funde ligeramente más rápido, no contiene humedad superficial, y los posibles residuos de agua cristalizada son descompuestos. Los cátodos son fundidos en la cámara de fundición del horno, que está separada del lado de la de colada por una pared bajo la cual fluye el metal fundido. Debido a la gran masa de metal fundido y al calentamiento por inductores de canal, la fluctuación de la temperatura es mínima, aún en un horno combinado.

1.5.2.-Sistemas de dos hornos para capacidades mayores.

El sistema de dos hornos para capacidades mayores (>6000 TPA hasta más de 30000TPA) consta de un horno de fundición y un horno de mantenimiento. Ambos hornos están equipados con inductores para proveer la energía para fundir el cobre y mantenerlo fundido respectivamente.

Un canal de transferencia sellado, que no permite la entrada de aire, conecta los dos hornos. Un gas de protección (N₂ o CO) previene la oxidación atmosférica. La máquina de colada es operada por un sistema servomotor controlado por computadora, que dirige los movimientos del eje de tracción. Esto esencialmente le da al alambión el movimiento requerido para una solidificación adecuada contra la superficie de la matriz de grafito. La fundición y colada para capacidades superiores a las 6000 TPA se realiza en hornos diferentes, debido a requerimientos tanto de capacidad, como de calidad.

1.5.3.- Control de oxígeno.

Los cátodos cargados como materia prima en el horno de fundición (de los sistemas de dos hornos) o en la cámara de fundición del horno combinado de fundición/colada (en los sistemas de un solo horno) contienen una concentración de oxígeno en el rango de 10 a 50 ppm. Este oxígeno es reducido en el horno por una cobertura de carbón vegetal que se encuentra sobre el baño. Se requiere un tiempo largo de residencia del metal, ya que la remoción de oxígeno del baño por parte del carbón o escamas de grafito es un proceso químicamente complejo que involucra la transferencia de masa, la cual requiere tiempo. Una gran masa de cobre también minimiza las variaciones de temperatura durante la carga de cátodos y asegura un

baño más homogéneo. El tamaño de los hornos de fundición de los sistemas de dos hornos varía entre 7 y 24 toneladas de cobre fundido.

En los sistemas de dos hornos, el metal fundido es transferido desde el horno de fundición hasta el horno de mantenimiento a través de un canal de transferencia, en presencia de un gas de protección que evita que el oxígeno atmosférico contamine el metal. En el horno de mantenimiento el baño es cubierto con grafito en escamas, permitiendo un ajuste fino de la concentración de oxígeno. Ya que el oxígeno es casi totalmente reducido en el horno de fundición, y el cobre se deja homogeneizar antes de los periódicos trasvases al horno de mantenimiento, la calidad del baño es consistentemente elevada y la concentración de oxígeno baja. El alambón UPCAST contiene usualmente entre 1 y 2 ppm de oxígeno.

1.5.4.- Alambón producido con el sistema up cast.

El alambón UPCAST. Al ser un material libre de oxígeno no requiere de ningún cambio en la secuencia de dados de la trefiladora. No obstante, una estructura de colada deformada en frío requiere algo más de potencia de recocido que el alambón ETP, el cual es realmente alambón laminado en caliente. Esto se debe a que la recristalización se lleva a cabo en la vecindad de los límites de grano. En una estructura de colada, con granos más bien grandes (los granos pueden llegar a tener algunos milímetros), aún cuando se le trefile y deforme, hay relativamente pocos límites de granos. Por lo tanto, se requiere de más energía para iniciar la recristalización. Para un recocido exitoso, durante el primer recocido el alambre trefilado requiere entre un 10-15% más potencia que el cobre ETP, el cual está ya recristalizado en 8mm. En recocidos posteriores se requiere de solo 2-3% más potencia. Esto se debe a la ligeramente más alta temperatura de recristalización del cobre libre de oxígeno.

CAPITULO II

PROCESOS DE TREFILADO Y RECOCIDO CONTÍNUO

2.1.- Pasos de trefilado continuo.-

El cobre es suministrado en alambón de 8.0mm. y en rollos de 4 toneladas aproximadamente; este cobre es recocido, lo que permite ingresarlo sin problemas al proceso de trefilado.

El trefilado es el adelgazamiento del diámetro al forzar el alambón a través de una hilera, por acción de una fuerza de tiro.

El alargamiento (λ) está determinado por el diámetro de entrada y el de salida de cada paso y se expresa en tanto por ciento (%), un alargamiento del de 20 al 26 % es lo usual.

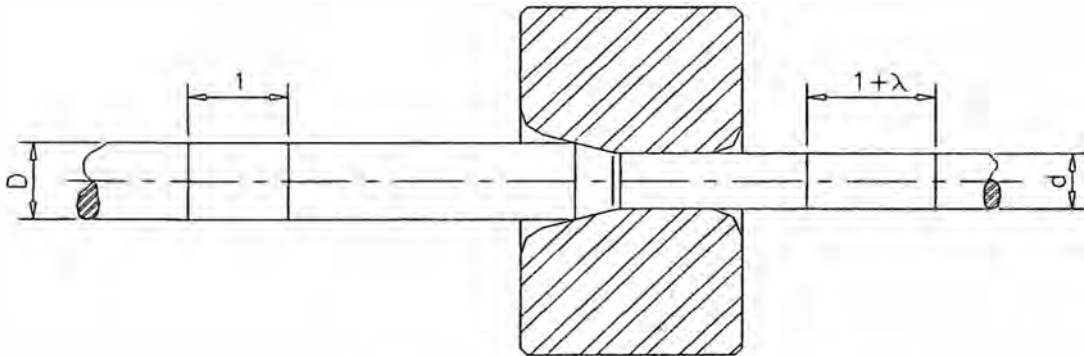


Fig. N° 2.1. Trefilado del alambre

Las hileras son dados cilíndricos de acero en cuyo centro tiene incrustado a presión un núcleo con el perfil adecuado para el trefilado y de un material que depende del diámetro de la hilera y el material a trefilar.

Para el caso del cobre se usa el siguiente criterio de clasificación: hileras de carburo de tungsteno, diamante policristalino y diamante natural.

La máquina que realiza este proceso recibe el nombre de trefiladora, estas máquinas son elegidas de acuerdo al rango de los diámetros y al número de pasos.

Tenemos así trefiladoras gruesas que aceptan alambro de hasta 8mm. y tienen hasta 13 reducciones ó hileras.

Existen trefiladoras intermedias y finas con las que se logran reducciones hasta conseguir diámetros hasta de 0.1m

Si se utiliza alambro de 8 mm., las reducciones serán las siguientes: 7.05 - 6.5 – 6.05 – 5.16 – 4.60 – 4.10 – 3.66 – 3.26 – 2.90 – 2.53.

Si se utiliza alambro de 6.5 mm., simplemente se elimina la primera reducción.

Es necesario que las hileras tengan un acabado pulido brillante y perfectamente cilíndrica. La última hilera de la trefiladora recibe el nombre de FINIDORA y debe tener un sistema giratorio para asegurar que el desgaste sea homogéneo y concéntrico ya que depende de esta hilera el aspecto final de nuestro alambre trefilado.

Con el fin de evacuar el calor generado por la fricción del alambre en las hileras, todo el conjunto esta refrigerado con un baño de lubricante, el mismo que además disminuye el coeficiente de fricción para minimizar el esfuerzo de trefilado y evitar la aparición de grietas o fisuras en el alambre.

El material lubricante es básicamente agua con grasa y aditivos antioxidantes.

Otro aspecto sumamente importante es que el material que lubrica el alambro en contacto con las hileras sea un lubricante limpio y filtrado, libre de partículas de cobre que normalmente se desprenden en el mismo proceso de trefilado. Cualquier partícula de cobre será suspendida en el proceso de extrusión y aparecen como una incrustación en el aislante que no es visible a simple vista.

Esto puede motivar la falla del aislamiento y perforación del mismo en las pruebas de descargas parciales (EFECTO CORONA).

2.2.- Recocido del cobre

Al pasar el cobre por las hileras y ser forzadas a pasar por diámetros cada vez más pequeños, el cobre modifica su estructura metalográfica, alterando sus características físicas y eléctricas. Aumenta su resistividad, aumenta considerablemente su dureza, su estructura es de grano irregular y alargado en el sentido del trefilado, haciendo muy difícil su manipulación.

Es necesario restituirle al cobre sus condiciones iniciales, este proceso lleva el nombre de recocido.

Este proceso se lleva a cabo de 02 maneras: mediante el uso de hornos de recocido y mediante el recocido continuo.

2.2.1.- Hornos de recocido

El cobre arrollado en carretes metálicos es ingresado a un horno hermético, el mismo que es conectado a una bomba de vacío para retirar todo el aire oxidante e inyectar un gas inerte como el hidrógeno. El horno bajo estas condiciones eleva su temperatura

hasta alcanzar los 500° C, temperatura a la que debe permanecer por espacio de 3 horas para poder asegurar el restablecimiento de la estructura metalográfica del cobre.

2.2.2.- Recocido continuo

Este proceso es el más usado y consiste en elevar la temperatura del cobre hasta un rango de 500 – 600 °C.

Para lograr el incremento de temperatura necesario, se hace pasar el alambre entre dos poleas cargadas con una diferencia de potencial eléctrico previamente calculado, y en una atmósfera con un gas inerte para evitar su oxidación.

De esta forma se consigue su calentamiento por efecto Joule.

El proceso de recocido se hace en dos partes, la primera parte es un precalentamiento y la segunda parte es el recocido (recocido en dos secciones), existe un recocido en tres secciones pero la tercera parte tiene una finalidad de secado del alambre para evitar que salga húmedo y pueda arrollarse sin dificultad para los procesos posteriores.

Hay que procurar que el cobre no se caliente demasiado tiempo, ni a temperatura superior a la debida, porque se quema, quedando con un color amarillento y con una estructura granular gruesa, extremadamente frágil. Al doblar ó arrollar el alambre parece como si este estuviera formado por un núcleo dúctil forrado con una capa frágil. El cobre quemado no sirve, hay que refinarlo.

El cobre bien refinado sin oxígeno de más ni de menos resulta tenaz, es decir que para partirlo hay que doblarlo muchas veces en sentido contrario; su color es rojo pálido, aplastado con un martillo, no deben formarse grietas en los bordes. Estas propiedades quedan alteradas cuando se da ó quita oxígeno al cobre refinado, siendo más importante la sustracción que la adición.

Al recocer el cobre hay que procurar que estando este caliente no se ponga en contacto con el aire (que le comunicaría oxígeno), ni con los gases reductores empleados en calentarlo (que le sustraen oxígeno), evidentemente el mejor medio consiste en tener el cobre mientras se calienta y enfría en una atmósfera que no pueda oxidar ni reducir el cobre, el mejor gas y el mas barato para este objeto es el vapor de agua, que excluye el aire y evita el acceso de los demás gases.

Cuando ha finalizado el proceso de recocido, en el que el cobre ha recuperado otra vez sus propiedades mecánicas, que son necesarias para su manipulación, en las fases siguientes del proceso de fabricación, hay que enfriarlo rápidamente para que sea posible el bobinado del mismo, por lo que se refrigera pasándolo por un lubricante a una temperatura de 35 °C aproximadamente

3.2.- Diagrama de recocido

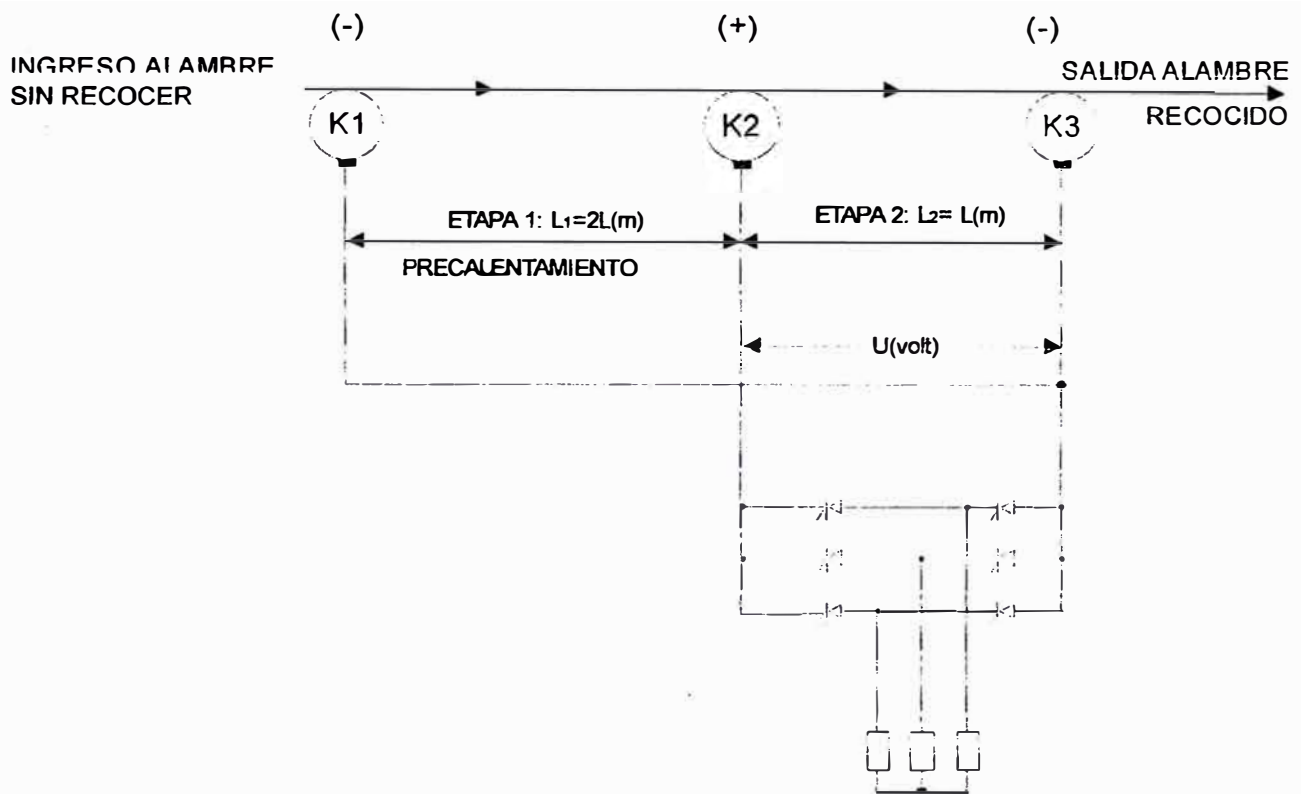


Fig. N° 3.1 Diagrama de Recocido

3.3.- Cálculos para recocido continuo

3.3.1.- Cálculos de la tensión de recocido

La energía calorífica ganada por el cobre es igual a la energía cedida por el circuito.

$$Q = m C_e \Delta T = \frac{U^2}{R} t . \quad (3.1)$$

Siendo:

$\Delta T =$ Salto de temperatura

$$\Delta T = T_R - T_0 \quad (^\circ C)$$

Ce para el cobre: 380 J/kg°k

Resistividad del cobre:

$$\rho = \frac{17.24 \Omega - mm^2}{km}$$

$$\rho = 1.7 \times 10^{-8} \Omega - m$$

Densidad del cobre.

$$\delta = 8.96 \text{ gr / cm}^3$$

$$\delta = 8.96 \times 10^3 \text{ kg / m}^3$$

Sección del Cobre: A (m²)

$$\delta = \frac{m}{LA} \Rightarrow \frac{m}{A} = \delta L = 8.96 \times 10^3 L \text{ kg / m}^3 \quad (3.2)$$

$$\text{De (1):} \quad M C_e \Delta T = \frac{U^2}{\frac{\rho L}{A}} t$$

$$U^2 = \rho m \frac{C_e \Delta T L}{A t}$$

$$\text{Velocidad de régimen} \quad \frac{L}{t} = v$$

$$U^2 = \rho C_e \Delta T \frac{m}{A} v \quad (3.3)$$

$$U^2 = 1.7 \times 10^{-8} \times 380 \times \Delta T \times 8.96 \times 10^3 L v \quad (\text{volt}^2)$$

Reemplazamos (2) en (3)

$$U^2 = 0.0578816 L \Delta T v$$

$$U^2 = k_0 L \Delta T v \quad (3.4)$$

Siendo ΔT y L parámetros fijos para cada máquina

Asumiendo L = 1.5 m y $\Delta T = 580 \text{ }^\circ\text{C}$

$$U^2 = 0.0578816 \times 580 v \times 1.5$$

$$U^2 = 50.356992 v$$

$$U = 7.096266 \sqrt{v}$$

$$U = k \sqrt{v} \quad (\text{volt}) \quad (3.5)$$

Como vemos la tensión no depende del diámetro del alambre.

3.3.2.- Cálculos de temperaturas

$$\text{Para la 1ra Etapa:} \quad U^2 = K_0 L_1 \Delta T_1 v$$

$$\text{Para la 2da Etapa:} \quad U^2 = K_0 L_2 \Delta T_2 v$$

Para efectos prácticos en la construcción de recocedores se considera:

$$L_1 = 2L \text{ y } L_2 = L$$

Siendo U y ν iguales en ambas etapas, tenemos:

$$K_0 L_1 \Delta T_1 \nu = K_0 L_2 \Delta T_2 \nu$$

$$\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = \frac{L_2}{L_1}; \text{ de donde } \Delta T_2 = 2 \Delta T_1$$

Además:
$$\Delta T = \Delta T_1 + \Delta T_2$$

De donde
$$\Delta T_1 = \frac{\Delta T}{3} \quad (3.6)$$

$$\Delta T_2 = \frac{2}{3} \Delta T \quad (3.7)$$

Para un caso típico:

$$T_R = 600^\circ\text{C}$$

$$T_0 = 20^\circ\text{C}$$

Luego para la 1ra Etapa:
$$\Delta T_1 = \frac{T_R - T_0}{3}$$

$$\Delta T_1 = \frac{580}{3} = 193^\circ\text{C}$$

En la 2da Etapa:
$$\Delta T_2 = \frac{2}{3} (580) = 387^\circ\text{C}$$

Es decir:

El salto de temperatura en la 1ra Etapa es de: $20^\circ\text{C} + 193^\circ\text{C} = 213^\circ\text{C}$.

El salto de temperatura en la 2da Etapa es de: $213^\circ\text{C} + 387^\circ\text{C} = 600^\circ\text{C}$

3.3.3.- Calculo de potencias (P)

Para la 1ra Etapa
$$P_1 = \frac{U^2}{R} = \frac{AU^2}{\rho L_1}$$

$$P_1 = \frac{AU^2}{\rho(2L)} \quad (3.8)$$

Para la 2da Etapa
$$P_2 = \frac{AU^2}{\rho L} \quad (3.9)$$

Potencia Total
$$P = P_1 + P_2 \text{ (watts)}$$

$$P = \frac{AU^2}{\rho(2L)} + \frac{AU^2}{\rho L}$$

$$P = \frac{3}{2} \frac{AU^2}{\rho L} \quad (3.10)$$

Para un alambre de diámetro $d=1\text{mm}$. y una longitud $L=1.5\text{ m}$.

$$P = \frac{3 \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) (50.35 \text{ v}) (\text{volt}^2)}{17.24 \Omega - \frac{\text{mm}^2}{\text{km}} \times L (\text{km})}$$

$$P = \frac{3 \left(\frac{\pi (1)}{4} \right) (50.35 \text{ v}) (\text{volt}^2)}{17.24 \Omega \times 1.5 \times 10^{-3}}$$

$$P = 57,315.4727 \text{ Watts} = 57.3 \text{ Kw.}$$

3.4.- Calculo de la relación entre potencia y velocidad.

Como los niveles de corriente necesarios para recocer el cobre a una velocidad de régimen v , normalmente se trabaja por encima de los 3,000 pies por minuto (FPM), dañarían ó destruirían el cobre a bajas velocidades, se optaba por esperar a que la trefiladora llegue a su velocidad de régimen y luego se conectaba el circuito del recocido continuo; esto ocasionaba el desperdicio de los tramos de cobre sin recocer que se obtenían al comienzo del carrete (puntas de cobre duro) y tenían que removerse con la consiguiente pérdida de tiempo y cobre que era destinado a la chatarra (scrapp).

Estas pérdidas se han eliminado al conseguir el control durante el periodo transitorio en que la trefiladora empieza a girar ($v = 0$) hasta la velocidad de régimen v .

Para el análisis de la variación de la potencia respecto a la velocidad (dado que se asume R constante) es similar a la variación de la tensión de recocido U respecto a la velocidad.

Los recocedores de alambre de cobre vienen equipados con módulos de control de tensión (es necesario un control fino de tensión). Al controlar la tensión se esta controlando la corriente que circula por el alambre y produce el calentamiento para el recocido, esto es posible dado que se asume R constante, lo que estrictamente no es correcto ya que al ser sometido el alambre a diferentes temperaturas hasta llegar a la temperatura de recocido, la resistencia varía con la temperatura.

Los módulos de control ya corrigen estas variaciones pero adicionalmente tenemos rangos que se pueden manejar. Como recordamos el parámetro mas importante a tener en cuenta en el recocido es básicamente la elongación y esta elongación debe permanecer entre límites máximos y mínimos.

De la expresión de Potencia:

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (3.11)$$

Se entiende U como la tensión aplicada entre poleas de recocido Y R la resistencia del alambre en este tramo.

De la expresión (3.5): $U = k\sqrt{v}$

Para una velocidad v_1 tenemos

$$U = k\sqrt{v_1} \quad (3.12)$$

reemplazando en la expresión 3.11 tenemos:

$$P_1 = \frac{(K\sqrt{v_1})^2}{R}$$

$$P_1 = \frac{k^2 v_1}{R} \quad (3.13)$$

Analicemos la potencia para una velocidad diferente.

Si duplicamos la velocidad $v_2 = 2v_1$, tenemos

$$P_2 = \frac{(K\sqrt{2v_1})^2}{R}$$

$$P_2 = 2\left(\frac{k^2 v_1}{R}\right) \quad (3.14)$$

De donde podemos concluir que:

$$P_2 = 2P_1 \quad (3.15)$$

Como podemos observar al duplicar la velocidad del alambre, se ha duplicado la potencia necesaria para su recocido.

Este análisis es importante porque nos da las condiciones necesarias para la realimentación de referencia al modulo de control de tensión de recocido.

Es decir la dependencia lineal de la potencia respecto de la velocidad se usa para coordinar y mediante un taco-generador colocado en una de las poleas de recocido,

enviar señales al módulo para que pueda gobernar el disparo de los tiristores y variar con esta referencia la tensión de recocido.

CAPITULO IV

MAQUINARIA PARA RECOCIDO CONTINUO

4.1.- Estructura

La estructura de la máquina es una caja metálica cuyas dimensiones van de acuerdo al rango de diámetros a recocer, para un alambre de 1mm. Las dimensiones aproximadas serán de:

0.8 mm. De ancho

0.5 m de profundidad

2.0 mm. De altura

Esta estructura lleva en la parte posterior toda la información que está sincronizada con el trefilador y en la parte frontal las poleas de recocido y la cabina donde se lleva a cabo el recocido.

En la parte inferior tiene una cuba que servirá para alojar el lubricante que servirá para enfriar el alambre después del recocido.

Para ilustrar, mostraremos 2 tipos de recocedores.

El primer plano muestra un recocedor para el alambre entre 1.6 y 0.5 mm. de diámetro, que va acoplado a un trefilador intermedio.

El segundo muestra un recogedor para 14 alambres de hasta 1 mm. de diámetro. (recocedor multihilos), que va acoplado a un trefilador multihilos.

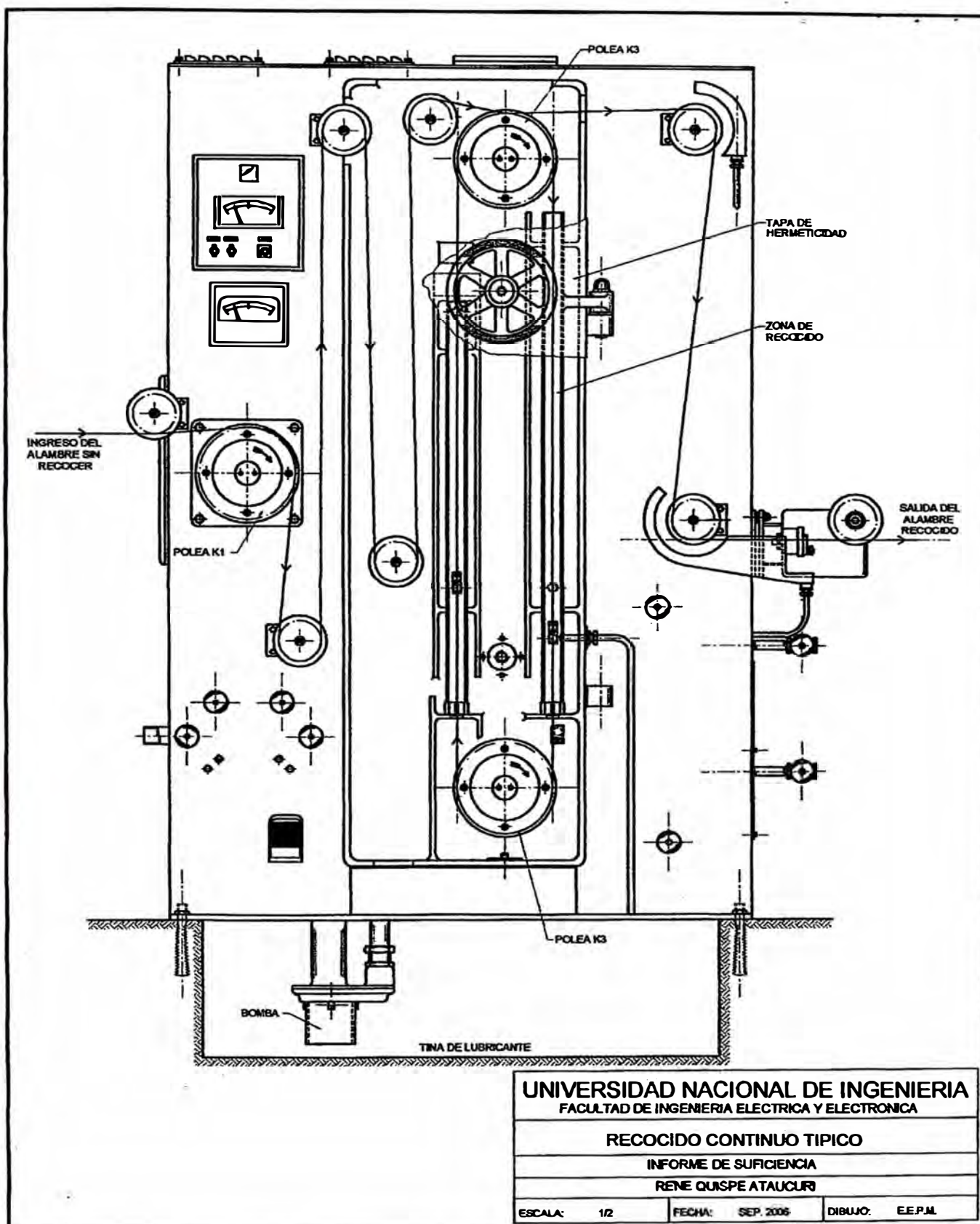


Fig. N° 4.1 Recocido Continuo Típico

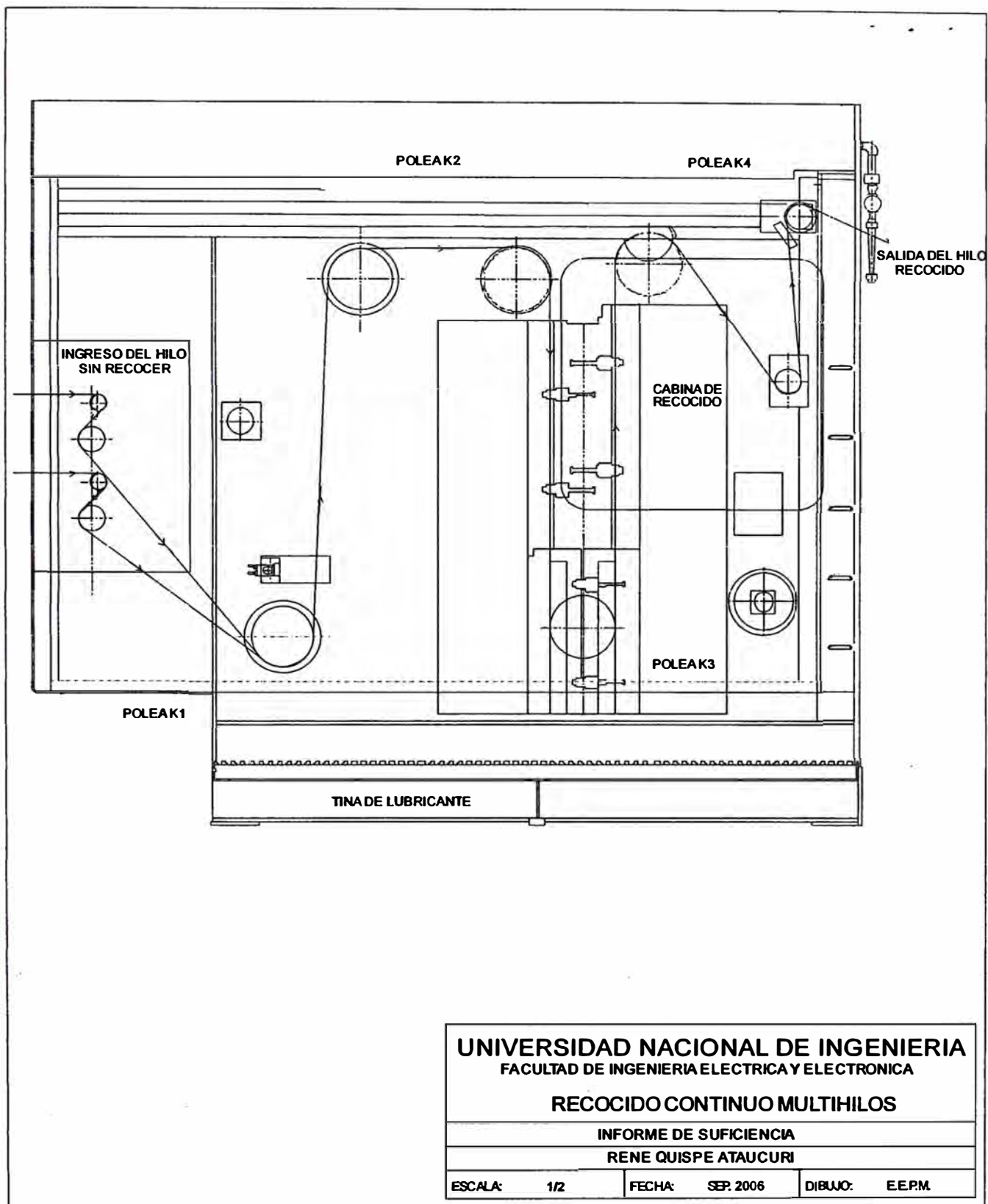


Fig. N° 4.2 Recocido Continuo Multihilos

4.2.- Circuito de recocido

El circuito de recocido consta de 2 partes: La primera parte es el recocido en un ambiente de vapor (ausencia de oxígeno) y una segunda parte inmerso en lubricante para enfriar el alambre recocido.

Debemos resaltar que el alambre sale a 500° C aproximadamente y debe ser enfriado para que pueda arrollarse fácilmente.

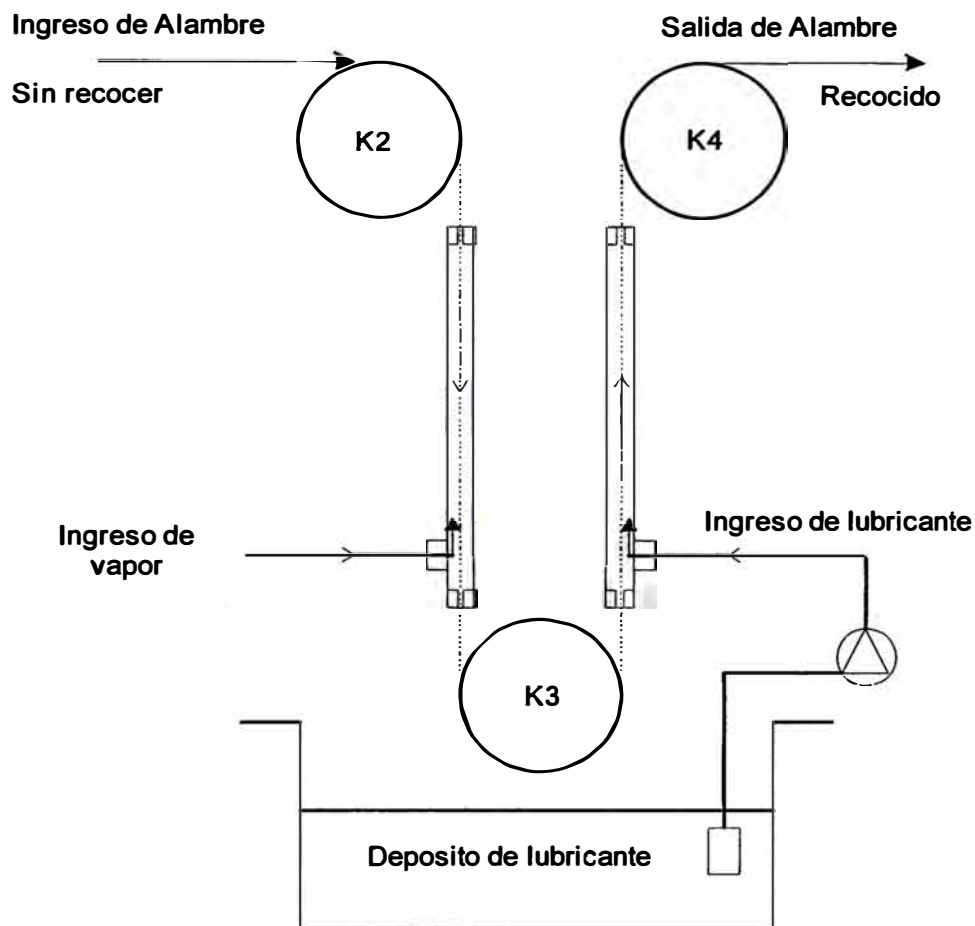


Fig. N° 4.3 Circuito de Recocido

4.2.1.- Circuito de vapor

La aplicación del vapor garantiza que el ambiente en el que se lleva a cabo el recocido, este libre de oxígeno.

El ajuste se realiza de tal manera que el vapor sale visiblemente en el extremo superior de la sección de recocido.

El consumo de vapor es de 6 -10 kg/hora.

La presión es de 0.2 – 0.4 bar.

4.2.2.- Circuito de enfriamiento

El alambre luego de ser recocido, debe ser enfriado, esto se hace a través de una inmersión del alambre en una emulsión de lubricante, a una temperatura de 40° C aproximadamente.

Este lubricante deberá ser permanentemente enfriado a través de intercambiador de calor, esto debido a que gana calor rápidamente al entrar en contacto con el alambre recocido.

El circuito de la emulsión es la siguiente:

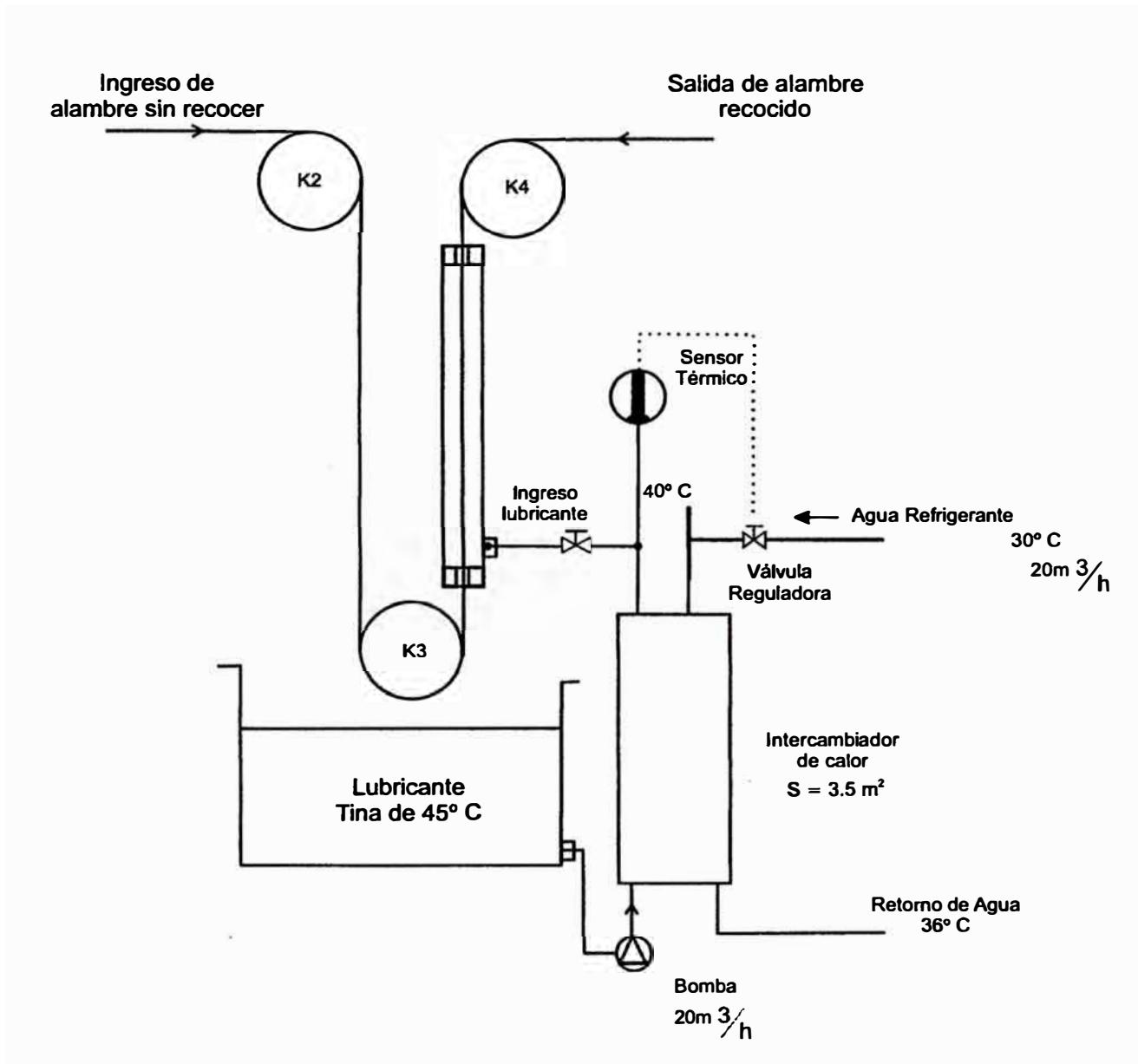


Fig. Nº 4.4 Circuito de Enfriamiento

4.2.3.- Circuito de enfriamiento de poleas de recocido

Las poleas de recocido al estar en contacto con el alambre sometido a una corriente que lleva a 600° C por efecto JOULE, se calientan y es necesario refrigerar dichas poleas K1, K2, K3, y K4.

Para refrigerar dichas poleas se usa agua desionizada, la misma que debe ser enfriada a través de un intercambiador de calor.

En los recocedores para hilos por debajo de 0.5 mm. las poleas no necesitan ser refrigeradas ya que el calor se disipa en el medio ambiente.

El circuito del agua desionizada es el siguiente:

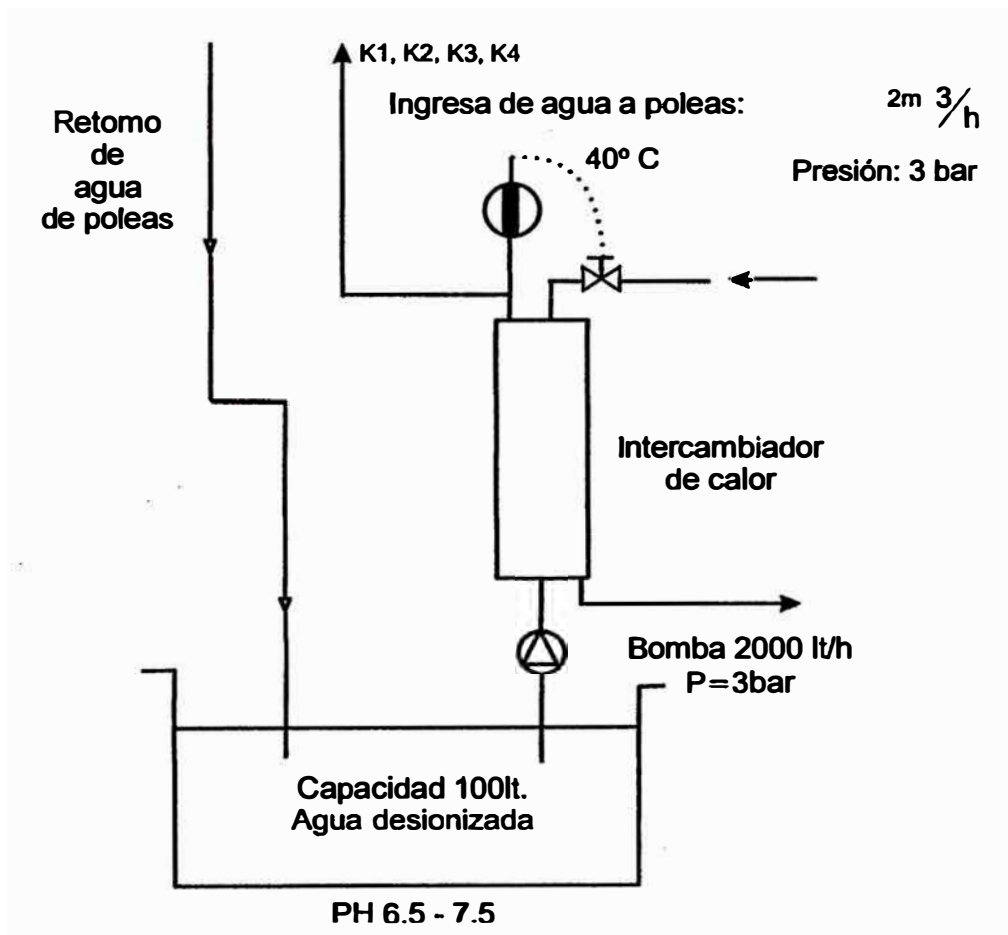


Fig. Nº 4.5 Circuito de Enfriamiento de Poleas de Recocido

4.2.4.- Secado del alambre

El alambre recocido arrastra lubricante al ser enfriado y esta humedad debe ser evacuada para que el alambre seco pueda ser arrollado en carretes sin dificultad posterior para las fases siguientes.

El secado se realiza con aire comprimido a través de unas boquillas de secado.

Consumo aproximado: 500 lt/min.

Presión adecuada: 5 bar

Las toberas de inyección de secado tienen el siguiente detalle:

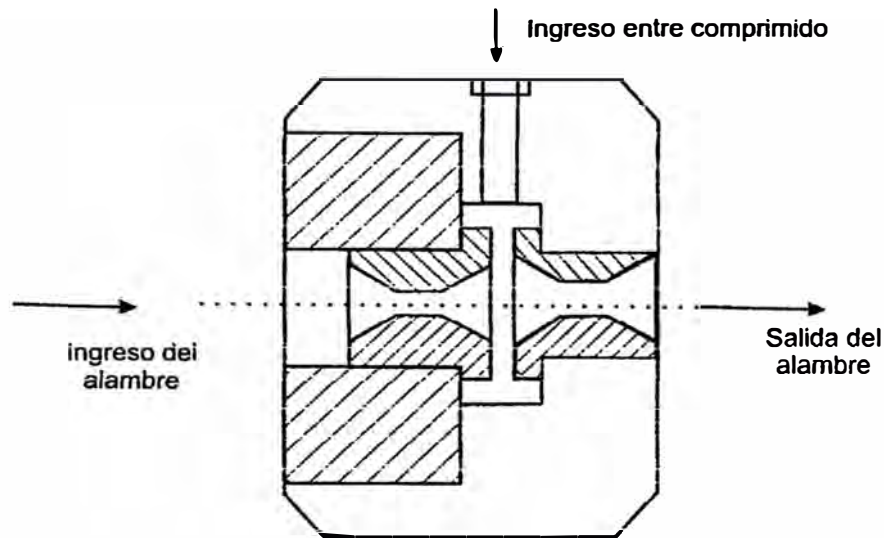


Fig. N° 4.6 Tobera de Secado

4.2.5.- Pistas de recocido

La corriente llega a las poleas de recocido mediante escobillas de carbón y esta polea de recocido tiene como contacto con el alambre una, pista a manera de cinta.

Esta pista es de una aleación especial de Ni – Cu que asegura una buena conductibilidad y una dureza para evitar el desgaste con la fricción del alambre.

Las poleas del recocido así como la carcasa del recocedor están aisladas.

Por efectos del rozamiento del alambre, se desprende polvo de abrasión de cobre que es necesario limpiar regularmente para evitar el fallo por aislamiento.

Mostramos una polea de recocido típica.

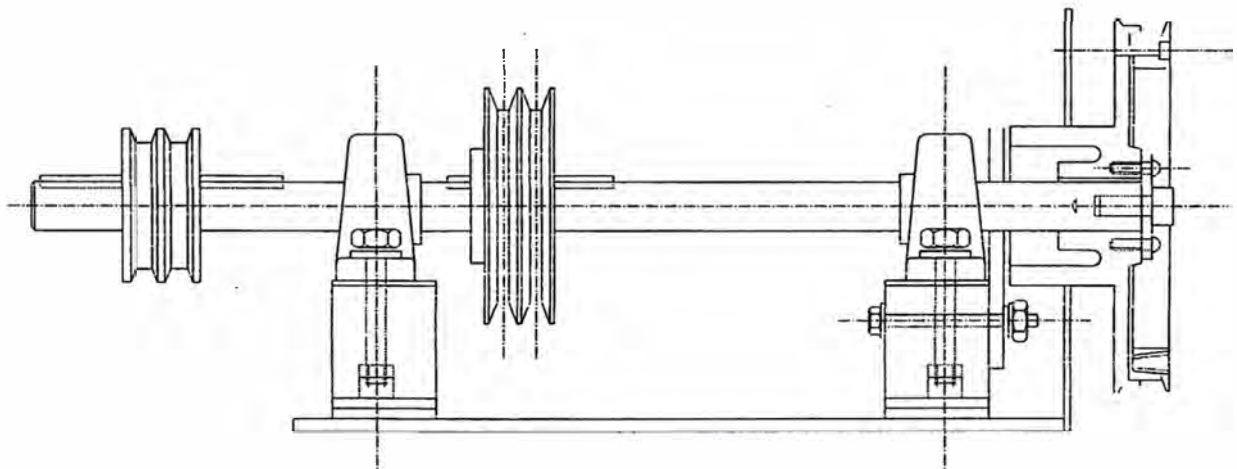


Fig. N° 4.7 Polea de Recocido

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones.

1. Una ventaja en trabajar con alambre de cobre recocido es que se puede manipular con facilidad, para arrollar en carretes y/o realizar otras operaciones físicas como reunido, torsionado, cableado, extruido. Pero no es solamente por las ventajas físicas que se recoce el alambre de cobre en la industria de los conductores, la razón más importante es la exigencia de los parámetros según la Norma Técnica Peruana 370.042.

Los parámetros que determinan esta exigencia son básicamente La resistencia eléctrica y el alargamiento mínimo.

Los fabricantes de conductores eléctricos realizan recocidos intermedios para llegar sin problemas a los diámetros pequeños. Por ejemplo si empiezan en 8 mm, a la salida de la primera secuencia de trefilado deberán recocer, esto ocurre a un diámetro de 2.5 - 3.0 mm y luego llevarlos a otra secuencia de trefilado para terminar hasta en 0.4 mm, recociendo el alambre final nuevamente, para restituirle sus características mecánicas y eléctricas que habíamos mencionado. Los fabricantes de alambre de cobre recocido estipulan una reducción en frío entre recocidos hasta del 90%.

Pero esto no significa que no se pueda llevar el alambre de un solo proceso de trefilado hasta los diámetros pequeños sin recocidos intermedios, pero siempre ocurren paradas por rompimiento del hilo, recordemos que el alambre duro (producto de las pasadas de trefilación) no tiene la capacidad de alargamiento y esto ocasiona a menudo algunas paradas que los fabricantes evitan recociendo el alambre en las fases intermedias de trefilado. Los fabricantes de alambre de cobre recocido estipulan una reducción en frío entre recocidos hasta del 90%.

2. En cuanto a los cálculos del recocido se ha contrastado con algunos fabricantes en cuanto a la elección del transformador y en cuanto a la regulación de la tensión de recocido.

Por ejemplo para un caso típico de un recocedor marca Syncro, para la elección de la tensión de recocido existen tabulaciones para las diferentes velocidades de producción, para una velocidad de 25 m/s la tensión de recocido es 40 voltios.

Según nuestros cálculos la tensión de recocido sería:

$$U = 7.096266\sqrt{25}$$

$$U = 35.48 \text{ voltios.}$$

Lo que resulta muy razonable teniendo en cuenta que nuestros cálculos se han hecho asumiendo condiciones ideales.

3. Para la tensión de recocido, según la NIEHOFF para un recocedor múltiple de 7 hilos (recordemos que la tensión de recocido no depende del diámetro del alambre, ni del grupo de alambres, sino de la velocidad de producción); la tensión de recocido es de $U = 8\sqrt{v}$

Y para un recocedor múltiple de 14 hilos. la tensión de recocido es de $U = 8.8\sqrt{v}$.

Estos resultados concuerdan perfectamente con lo demostrado en este trabajo.

4. Para el cálculo de las potencias.

Para un recocedor marca Syncro para diámetros de 1mm y velocidades de 25 m/s el transformador usado es de 75 KVA, mientras que en los cálculos tenemos 57.3 KW de potencia activa.

Recomendaciones.-

- 1.- Como se ha indicado, el enfriamiento del alambre de cobre es con una emulsión refrigerante, la misma que debe estar limpia y tener una concentración de grasa entre 0.5 y 1 %, de no ser así, el alambre a alta temperatura entraría en contacto con partículas extrañas generando manchas en la superficie del cobre ó el arrastre de trazas de carbón u otras partículas.
- 2.- La temperatura de la emulsión debe ser de 30° como máximo, como la emulsión tiende a ganar temperatura rápidamente debe colocarse sensores para regular el pase de agua en forma controlada hacia los intercambiadores y así controlar la temperatura de la emulsión.
- 3.- Debe cuidarse la presión del aire que ingresa a las toberas a fin de que se pueda secar el alambre en forma satisfactoria, de lo contrario arrastraría agua hacia el carrete de salida y esto dificulta las operaciones posteriores. E consumo de aire debe ser de 500 l/min con una presión de 5 bar, las toberas tienen un inserto que deben cambiarse cuando hay demasiado desgaste por el rozamiento del hilo.
- 4.- La emulsión debe ser filtrada con un filtro de banda de papel para atrapar las partículas que se desprenden del alambre de cobre y de las partículas de níquel que se desprenden de las poleas de recocido. Esto tiene gran importancia en el siguiente proceso de extrusión, ya que debido a la presión del polímero entran en suspensión en el aislamiento y esto puede producir la falla del aislamiento.
- 5.- El enfriamiento de las poleas de recocido debe ser con agua desionizada con anticorrosivos, para evitar la formación de sedimentaciones que merman la capacidad conductiva de las poleas de recocido y también porque se evitaren paradas para hacer mantenimiento a las poleas.
- 6.- Es común que en una rotura de hilo, queden atrapadas en la polea de recocido varias vueltas de hilo, necesariamente hay que retirarlas ya que con la velocidad se desprenden estos tramos y hacen corto circuito con la estructura produciendo roturas en los hilos.
- 7.- En el momento del recocido, el cobre queda blando y se afloja en las poleas de recocido, esto es motivo para que algunos fabricantes aumenten en 1% la velocidad en la polea final que recoge el alambre para compensar esta deficiencia.
- 8.- Las poleas de recocido se van gastando en la zona donde desliza el hilo que no es necesariamente el centro de la polea, cuando se nota desgaste en dichas poleas, es recomendable girar la polea 180° para que la superficie de contacto sea otra y los hilos pasen por el ara no desgastada.


9.- Los conductores que llevan la corriente hacia las poleas de recocido, deben estar protegida pero no con bandejas metálicas porque se generan corrientes parásitas en las bandejas.

10.- El recocedor, poleas de compensación de velocidad y el enrollador deben estar perfectamente alineados para que el alambre que viaja a altas velocidades no produzca ninguna vibración entre las poleas, las vibraciones hacen que se generen ondas en los hilos y el acercamiento peligroso del hilo hacia la estructura del recocedor produciendo una falla.

11.- Los carretes que enrollan el hilo de alambre recocido deben estar perfectamente balanceados ya que de lo contrario producen vibraciones indeseadas.

12.- Es importante regular el caudal de vapor para asegurar que el recocido se produzca en un ambiente sin presencia de oxígeno, como ya hemos explicado hay que cuidar mucho la contaminación con el oxígeno a altas temperaturas para que el hilo recocido salga con una superficie, color y suavidad deseada.

ANEXOS

PERU NORMA TÉCNICA NACIONAL	CONDUCTORES DE COBRE RECOCIDO PARA USO ELECTRICO	ITINTEC 370.042 Setiembre, 1983
		
1. NORMAS A CONSULTAR		
ITINTEC 370.221	Conductores y cables para uso eléctrico. Definiciones.	
ITINTEC 370.222	Materiales metálicos para uso eléctrico. Método de determinación de la resistividad volumétrica.	
ITINTEC 342.039-81	Cobre y sus aleaciones. Método de ensayo de tracción.	
2. OBJETO		
2.1	La presente Norma establece los requisitos que deben cumplir los conductores de cobre recocido definido en la Norma ITINTEC 370.221.	
3. CAMPO DE APLICACION		
3.1	La presente Norma se aplica a conductores de cobre recocido desnudos usados en conductores y cables de instalaciones fijas e instalaciones móviles.	
3.2	La presente Norma no se aplica a conductores de cobre recocido desnudo usados en cables telefónicos y en bobinados.	
4. DEFINICIONES		
4.1	Para propósitos de la presente Norma se aplican las definiciones dadas en la Norma ITINTEC 370.221.	
5. CLASIFICACION		
5.1	Los conductores de cobre recocido se clasificarán en 4 clases : 1, 2, 5 y 6.	
5.1.1	Las clases 1 y clase 2 se usarán en instalaciones fijas.	
5.1.1.1	Clase 1. Comprende los conductores sólidos (alambres)	
5.1.1.2	Clase 2. Comprende los conductores cableados.	
5.1.2	Las clases 5 y clase 6 se usarán en instalaciones móviles, siendo la clase 6 más flexible que la clase 5.	
R.D. N°316-83 ITINTEC DG/DN del 83-09-19		11 Páginas
C.D.U.: 621.315.5		TODA REPRODUCCION INDICAR EL ORIGEN

6. CONDICIONES GENERALES

6.1 Materiales

Los conductores serán de cobre electrolítico de 99,9% de pureza mínima según la Norma ITINTEC correspondiente. (Mientras no exista la Norma ITINTEC se usará la Norma ASTM B5-80 Electrolytic Tough-Pitch-Cooper Refinery Shapes.)

6.2 Recubrimiento.

Los conductores podrán consistir de :

6.2.1 Cobre recocido sin recubrimiento.

6.2.2 Cobre recocido con recubrimiento de un metal adecuado tal como estaño, o aleaciones de estaño.

6.3 Fabricación

En los conductores de cobre recocido se permitirán uniones por soldadura, antes y después del trefilado final, siempre que hayan sido efectuadas de acuerdo con la mejor práctica industrial.

6.4 Densidad

Para fines de cálculo, la densidad del cobre será considerada de $8,89 \text{ g/cm}^3$ a 20°C .

6.5 Resistividad volumétrica

El cobre ensayado según la Norma ITINTEC 370.222 deberá tener una resistividad volumétrica máxima de $0,017241 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$ a 20°C

6.6 Bases de compra

6.6.1 El comprador deberá indicar en su orden de compra los datos siguientes :

6.6.1.1 Código y fecha de la presente Norma.

6.6.1.2 La clase y material.

6.6.1.3 Longitud (m) o masa (kg)

6.6.1.4 Sección nominal (mm^2)

6.6.1.5 Toda indicación adicional que se considere necesario.

7. REQUISITOS

7.1 Aspecto superficial

Las superficies de los alambres usadas en las clases 1,2,5 y 6 no deberán presentar fisuras, asperezas, escamas, estrias, rebabas ni inclusiones. Además, deberán estar limpias y libre de toda traza de óxido, sulfuro y otras materias extrañas, particularmente, de los productos químicos empleados en el decapado y trefilado.

7.2 Conductores para instalaciones fijas

7.2.1 Clase 1, conductores sólidos. Estos conductores cumplirán con los siguientes requisitos:

7.2.1.1 Los conductores de cobre recocido con o sin recubrimiento metálico después de ser sometido al ensayo descrito en 8.1 cumplirá en lo establecido en el párrafo 7.1.

7.2.1.2 Los conductores deberán ser de sección transversal circular.

7.2.1.3 La resistencia eléctrica de cada conductor a 20°C después de ser sometido al ensayo descrito en 8.3, no deberá exceder el valor máximo dado en la Tabla 1.

TABLA 1. Clase 1, sólidos : para conductores y cables, unipolares y multipolares.

Sección nominal mm ²	Máxima resistencia del conductor a 20°C	
	Conductores circulares	
	Sin recubrimiento Ω/km	Con recubrimiento Ω/km
0,5	36,0	36,7
0,75	24,5	24,8
1	18,1	18,2
1,5	12,1	12,2
2,5	7,41	7,56
4	4,61	4,70
6	3,08	3,11
10	1,83	1,84
16	1,15	1,16
25	0,727 ¹⁾	--
35	0,524 ¹⁾	--
50	0,387 ¹⁾	--
70	0,268 ¹⁾	--
95	0,193 ¹⁾	--
120	0,153 ¹⁾	--
150	0,124 ¹⁾	--

1) Solo para conductores especiales.

7.2.1.4 Propiedades mecánicas.- El conductor sólido después de someterse al ensayo descrito en el párrafo 8.4 cumplirá con los valores dados en la Tabla 2.

TABLA 2 Propiedades mecánicas

Diámetro nominal (mm)	Alargamiento mínimo %
más de 0,020 hasta 0,040	5
mas de 0,040 hasta 0,080	10
más de 0,080 hasta 0,250	15
más de 0,250 hasta 0,500	20
más de 0,500 hasta 2,65	25
más de 2,65 hasta 7,35	30
más de 7,35 hasta 11,68	35

7.2.2 Clase 2, conductores cableados.

7.2.2.1 Conductores de sección circular no compactados. Estos conductores cumplirán con los siguientes requisitos :

7.2.2.1.1 Los conductores de cobre recocido con o sin recubrimiento metálico después de ser sometidos al ensayo descrito en 8.1 cumplirán con lo establecido en 7.1.

7.2.2.1.2 Los alambres que conforman el conductor deberán tener el mismo diámetro nominal.

7.2.2.1.3 El número de alambres en cada conductor, una vez sometido al ensayo descrito en 8.1, no será menor del número de alambres dado en la Tabla 3.

7.2.2.1.4 La resistencia eléctrica de cada conductor a 20°C después de ser sometido al ensayo descrito en 8.3, no deberá exceder el valor máximo dado en la Tabla 3.

ITINTEC 370.042

Pág. 5

TABLA 3 Clase 2, cableados: para conductores y cables, unipolares y multipolares.

Sección nominal mm ²	Mínimo número de alambres en el conductor			Máxima resistencia del conductor a 20°C	
	Conductor circular no compacto	Conductor circular compacto	Conductor sectorial compacto	Alambres sin recubrimiento Ω/km	Alambres con recubrimiento Ω/km
0,2	7	--	--	36,0	36,7
0,75	7	--	--	24,5	24,8
1	7	--	--	18,1	18,2
1,5	7	6	--	12,1	12,2
2,5	7	6	--	7,41	7,56
4	7	6	--	4,61	4,70
6	7	6	--	3,08	3,11
10	7	6	--	1,83	1,84
16	7	6	--	1,15	1,16
25	7	6	6	0,727	0,734
35	7	6	6	0,524	0,529
50	19	6	6	0,387	0,391
70	19	12	12	0,268	0,270
95	19	15	15	0,193	0,195
120	37	18	18	0,153	0,154
150	37	18	18	0,124	0,126
185	37	30	30	0,0991	0,100
240	61	34	34	0,0754	0,0762
300	61	34	34	0,0601	0,0607
400	61	53	53	0,0470	0,0475
500	61	53	53	0,0366	0,0369
630	61	53	53	0,0283	0,0286
800	61	53	--	0,0221	0,0224
1000	61	53	--	0,0176	0,0177

7.2.2.1.5 Propiedades mecánicas.- Los alambres individuales tomados del conductor cableado usados en conductores circulares no compactos después de someterse al ensayo descrito en el párrafo 8.4 cumplirán con los valores dados en la Tabla 4.

TABLA 4. Propiedades Mecánicas

Diámetro nominal (mm)	Alargamiento promedio mínimo %	Alargamiento mínimo %
Más de 0,080 hasta 0,250	10	5
Más de 0,250 hasta 0,500	15	5
Más de 0,500 hasta 2,65	20	10
Más de 2,65 hasta 7,35	25	15
Más de 7,35 hasta 11,68	30	20

ITINTEC 370.042
Pág. 6

7.2.2.2 Conductores circular compacto y sectorial compacto. Estos conductores cumplirán con los siguientes requisitos :

7.2.2.2.1 Los conductores de cobre recocido con o sin recubrimiento metálico después de ser sometido al ensayo descrito en 8.1 cumplirán con lo establecido en el párrafo 7.1.

7.2.2.2.2 El cociente de los diámetros de dos alambres cualesquiera del mismo conductor no deberá exceder de 2.

7.2.2.2.3 El número de alambres de cada conductor, una vez sometido al ensayo descrito en 8.1, no será menor del número de alambres dado en la Tabla 2.

7.2.2.2.4 La resistencia eléctrica de cada conductor a 20°C después de ser sometido al ensayo descrito en 8.3, no deberá exceder el valor máximo dado en la Tabla 3.

7.2.2.2.5 Propiedades mecánicas.- Los alambres componentes que formarán los conductores cableados compactos después de someterse al ensayo descrito en 8.4 cumplirán con los valores dados en la Tabla 2.

7.3 Conductores para instalaciones móviles.

Los conductores para instalaciones móviles (clase 5 y clase 6) cumplirán con los requisitos siguientes :

7.3.1 Los conductores de cobre recocido con o sin recubrimiento metálicos después de ser sometido al ensayo descrito en 8.1 cumplirá con lo establecido en el párrafo 7.1.

7.3.2 Los alambres en cada conductor deberán tener el mismo diámetro nominal.

7.3.3 El diámetro de los alambres, después de ser sometido el ensayo descrito en 8.2, no excederán los valores máximos dados en la Tabla 5 o Tabla 6.

7.3.4 La resistencia eléctrica de cada conductor a 20°C, después de ser sometido al ensayo descrito en 8.3, no deberá exceder el valor máximo dado en la Tabla 5 o Tabla 6.

ITINTEC 370.042

Pág. 7

TABLA 5. Clase 5, flexibles : para conductores y cables, unipolares y multipolares

Sección nominal mm ²	Diámetro máximo de los alambres del conductor mm	Máxima resistencia del conductor a 20°C	
		Sin recubrimiento Ω/km	Con recubrimiento Ω/km
0,5	0,21	39,0	40,1
0,75	0,21	26,0	26,7
1	0,21	19,5	20,0
1,5	0,26	13,3	13,7
2,5	0,26	7,98	8,21
4	0,31	4,95	5,09
6	0,31	3,30	3,39
10	0,41	1,91	1,95
16	0,41	1,21	1,24
25	0,41	0,780	0,795
35	0,41	0,554	0,565
50	0,41	0,386	0,393
70	0,51	0,272	
95	0,51	0,206	
120	0,51	0,161	0,164
150	0,51	0,120	0,132
185	0,51	0,106	0,108
240	0,51	0,0801	0,0817
300	0,51	0,0641	0,0654
400	0,51	0,0486	0,0495
500	0,61	0,0384	0,0391
630	0,61	0,0287	0,0292

7.3.5 Propiedades mecánicas.- Los alambres individuales tomados del conductor cableado usados en las clases 5 y 6 después de someterse al ensayo descrito en el párrafo 8.4 cumplirá con los valores dados en la Tabla 4.

ITINTEC 370.042

Pág. 8

TABLA 6. Clase 6, flexibles: para conductores y cables, unipolares y multipolares.

Sección nominal mm ²	Diámetro máximo de los alambres del conductor mm	Máxima resistencia del conductor a 20°C	
		Sin recubrimiento Ω/km	Con recubrimiento Ω/km
0,5	0,16	39,0	40,1
0,75	0,16	26,0	26,7
1	0,16	19,5	20,0
1,5	0,16	13,3	13,7
2,5	0,16	7,98	8,21
4	0,16	4,95	5,09
6	0,21	3,30	3,39
10	0,21	1,91	1,95
16	0,21	1,21	1,24
25	0,21	0,780	0,795
35	0,21	0,554	0,565
50	0,31	0,386	0,393
70	0,31	0,272	0,277
95	0,31	0,206	0,210
120	0,31	0,161	0,164
150	0,31	0,129	0,132
185	0,41	1,106	0,108
240	0,41	0,0801	0,0817
300	0,41	0,0641	0,0654

8. METODOS DE ENSAYO

8.1 Aspecto superficial y nº de alambre

Este ensayo se realiza mediante inspección visual.

8.2 Dimensiones

Este ensayo se realiza mediante instrumentos adecuados.

8.3 Resistencia eléctrica

8.3.1 Principio del método. Consiste en la medición de la resistencia eléctrica en una longitud determinada del conductor o cable utilizando instrumentos de medición adecuados.

8.3.2 Aparatos e instrumentos

8.3.2.1 Puente de resistencias con decadas adecuados para el rango de resistencia a medir.

ITINTEC 370.042
Pág. 9

8.3.2.2 Termómetro con precisión de 1°C.

8.3.3 Procedimiento

8.3.3.1 Verificar en una probeta que puede ser toda la longitud del conductor o cable o por lo menos un metro de longitud.

8.3.3.2 Durante la medición de la resistencia eléctrica se tiene en cuenta que el termómetro esté ubicado a una distancia no mayor a 1 m de la probeta.

8.3.4 Expresión de resultados

8.3.4.1 Valor de la resistencia de la probeta en ohm/km a una temperatura de 20°C.

8.3.4.2 Para la corrección a 20°C y 1 km de longitud, se debe aplicar la fórmula indicada en el Apéndice A.

8.4 Propiedades mecánicas

8.4.1 Se toma una probeta de longitud tal que, cuando se coloque en las mordazas de la máquina de ensayo, permita efectuar en la probeta dos marcas adecuadas que no la dañen y separadas entre sí 250 mm.

8.4.2 La velocidad de la mordaza móvil de la máquina de ensayo no debe sobrepasar los 250 mm/mín.

8.4.3 El alargamiento de los alambres de diámetro mayor a 0,5 mm debe ser medido entre las marcas de referencia de la probeta, distanciadas originalmente entre sí 250 mm.

8.4.4 El alargamiento de los alambres de diámetros de 0,5 mm o menores se determina de acuerdo con 8.4.3 ó por la medición entre las mordazas de la máquina de ensayo, debiendo ser la distancia original lo más próximo posible a 250 mm.

8.4.5 La rotura debe ocurrir entre las marcas de referencia a una distancia no menor de 25 mm de ellas, cuando se mida entre las mordazas la rotura no debe ocurrir a menos de 25 mm de las mismas.

9. ANTECEDENTES

9.1 IEC 228-19/6 Conductors of insulated cables.

APENDICE A

A.1 La corrección a 20°C y 1 km de longitud se hará mediante la fórmula siguiente:

$$R_{20} = R_t \times K_t \times \frac{1\,000}{L}$$

donde

- R_{20} = es la resistencia eléctrica a 20°C en ohm por kilómetro
- R_t = es la resistencia eléctrica medida en L (m) del conductor a t°C en ohm.
- K_t = es el factor de corrección para la resistencia eléctrica a la temperatura de t°C.
- L = es la longitud del conductor en metros
- t = es la temperatura del conductor en el momento del ensayo en grados centígrados.

A.2 La fórmula exacta para el factor de corrección de la temperatura para el cobre con o sin recubrimiento metálico es :

$$K_{tCu} = \frac{254,5}{234,5 + t} = \frac{1}{1 + 0,00393 (t - 20)}$$

TABLA 6. Factor de corrección K_t

Temperatura del conductor al momento del ensayo t °C	Factor de corrección K_t
5	1,063
6	1,058
7	1,054
8	1,049
9	1,045
10	1,041
11	1,037
12	1,032
13	1,028
14	1,024
15	1,020
16	1,016
17	1,012
18	1,008
19	1,004
20	1,000
21	0,996
22	0,992
23	0,988
24	0,984
25	0,981
26	0,977
27	0,973
28	0,969
29	0,965
30	0,962

PERU
NORMA TECNICA
NACIONAL

COPRE Y SUS ALEACIONES.
Método de ensayo de torsión simple

ITINTEC
342.045
Abril, 1982

1. NORMAS A CONSULTAR

1.1 Para la aplicación de la presente Norma Técnica, no es necesaria la consulta específica de ninguna otra.



2. OBJETO

2.1 La presente Norma establece el método de ensayo de torsión simple para alambres de cobre o de aleaciones de cobre de medida nominal igual o mayor de 0,5 mm.

3. PRINCIPIO DEL METODO

3.1 El ensayo consiste en retorcer una longitud determinada de una probeta de alambre de cobre o de aleación de cobre alrededor de su propio eje longitudinal hasta que el alambre se rompa o hasta que se alcance un número especificado de vueltas en la norma particular del producto.

3.2 Durante el ensayo el retorcido debe hacerse en un solo sentido.

4. SIMBOLOS

4.1 Los símbolos y las designaciones utilizados en este ensayo se indican en la Tabla 1 y Figura 1.

TABLA 1

Símbolo	Designación
d	Medida nominal
L	Longitud libre entre mordazas
N	Número de vueltas

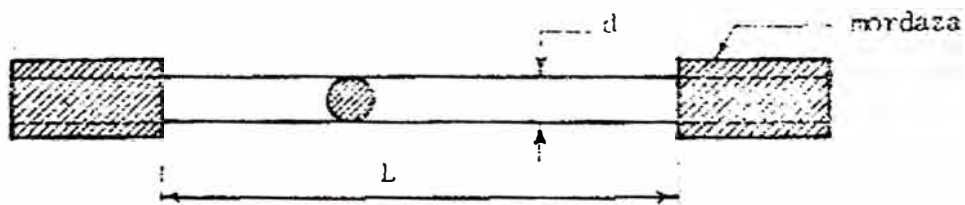


Figura 1.

5. APARATOS Y/O INSTRUMENTOS

5.1 Máquina de ensayo

5.1.1 La máquina de ensayo debe tener sus mordazas dispuestas de tal modo que durante el ensayo, permanezcan coaxiales para no introducir ningún esfuerzo de flexión a la probeta.

5.1.2 Las mordazas no deben sufrir un cambio de longitud entre ellas durante la realización del ensayo.

5.1.3 Una de las mordazas debe ser capaz de girar alrededor del eje de la probeta mientras que la otra no debe estar sujeta a ninguna deflexión angular, excepto la necesaria para la medición del momento de torsión aplicado.

6. PROBEIA

6.1 La probeta debe ser recta antes del ensayo. En caso que sea necesario enderezarla ello se hace a mano y si no es posible de esta manera puede usarse un martillo de madera.

6.2 La longitud libre entre mordazas de la máquina debe ser la indicada en la Tabla 2.

TABLA 2

Medida nominal, d mm		Longitud libre entre mordazas, L mm
Desde	Hasta menos de	
0,5	5	200 d
1	5	100 d (1)
5	30	50 d (2)
10	-	25 d (3)

- (1) Cuando la máquina no permite el uso de una longitud igual a 100 d; por acuerdo entre el productor y comprador, esta longitud puede ser igual a 50 d.
- (2) Cuando la máquina no permite el uso de una longitud igual a 50 d; por acuerdo entre el productor y comprador, esta longitud puede ser igual a 30 d.
- (3) Por acuerdo entre el productor y comprador la longitud puede ser 250 mm.

7. PROCEDIMIENTO

7.1 El ensayo se lleva a cabo a temperatura ambiente.

7.2 Se coloca la probeta en la máquina de tal manera que su eje longitudinal coincida con el eje de las mordazas y se mantenga recta durante el ensayo.

7.3 A menos que se especifique de otro modo puede asegurarse lo indicado en 7.2 aplicando un esfuerzo de tracción constante justo suficiente para mantener la probeta recta, pero que no exceda el 5% de la resistencia a la tracción nominal del alambre.

7.4 Después de colocada la probeta en la máquina, la mordaza móvil debe rotar a una velocidad razonablemente constante hasta que la probeta se rompa o hasta que se alcance el número especificado de vueltas. Se debe contar el número completo de vueltas que efectúa la mordaza móvil.

7.5 La velocidad de giro debe ser suficientemente lenta como para cortar una elevación de temperatura de la probeta que pueda afectar el resultado del ensayo. En ningún caso la velocidad debe exceder los valores indicados en la Tabla 3.

TABLA 3

Medida nominal d mm		Velocidad máxima de ensayo (vueltas/seg)
Desde	Hasta menos de	
	1	5
1	1,5	2
1,5	3	1,5
3	5	1 para $L = 100 d$ 0,5 para $L = 50 d$
5	10	0,5 para $L = 50 d$ 0,35 para $L = 30 d$
10		0,35

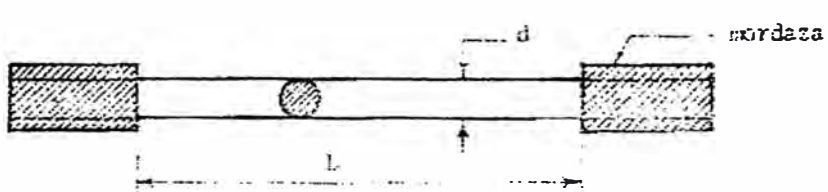
7.6 Si el número de vueltas alcanzadas es satisfactorio, se considera que la probeta ha pasado el ensayo, cualquiera que sea la posición de la rotura. Si el número de vueltas no alcanza el valor especificado y si la rotura se produce a una distancia de las mordazas menor de $2 d$, el ensayo se considera invalidado y debe repetirse.

7.7 Si la norma particular del material lo indica, debe examinarse tanto la superficie de la probeta como la rotura ocasionada. El método para realizar tales exámenes y la interpretación de la apariencia de la probeta se indica en la norma particular.

8. ANTECEDENTES

8.1 ISO 2827-1973 "Copper and copper alloys - Simple torsion testing of wire".

* * * * *

PERU NORMA TÉCNICA NACIONAL	COBRE Y SUS ALEACIONES Método de ensayo de torsión simple	ITINTEC 347.045 Abril, 1982								
1. NORMAS A CONSULTAR										
<p>1.1 Para la aplicación de la presente Norma Técnica, no es necesaria la consulta específica de ninguna otra.</p>										
2. OBJETO										
<p>2.1 La presente Norma establece el método de ensayo de torsión simple para alambres de cobre o de aleaciones de cobre de medida nominal igual o mayor de 0,5 mm.</p>										
3. PRINCIPIO DEL METODO										
<p>3.1 El ensayo consiste en retorcer una longitud determinada de una probeta de alambre de cobre o de aleación de cobre alrededor de su propio eje longitudinal hasta que el alambre se rompa o hasta que se alcance un número especificado de vueltas en la norma particular del producto.</p>										
<p>3.2 Durante el ensayo el retorcido debe hacerse en un solo sentido.</p>										
4. SÍMBOLOS										
<p>4.1 Los símbolos y las designaciones utilizados en este ensayo se indican en la Tabla 1 y Figura 1.</p>										
TABLA 1										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Símbolo</th> <th>Designación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>d</td> <td>Medida nominal</td> </tr> <tr> <td>L</td> <td>Longitud libre entre mordazas</td> </tr> <tr> <td>N_t</td> <td>Número de vueltas</td> </tr> </tbody> </table>			Símbolo	Designación	d	Medida nominal	L	Longitud libre entre mordazas	N _t	Número de vueltas
Símbolo	Designación									
d	Medida nominal									
L	Longitud libre entre mordazas									
N _t	Número de vueltas									
 <p>Figura 1.</p>										
R.D. Nº 081-82 ITINTEC DG/DN 82-04-07		3 páginas								
C.B.U. 669.35:670.15		APROBACIÓN PROMETIDA								

5. APARATOS Y/O INSTRUMENTOS

5.1 Máquina de ensayo

5.1.1 La máquina de ensayo debe tener sus mordazas dispuestas de tal modo que durante el ensayo, permanezcan coaxiales para no introducir ningún esfuerzo de flexión a la probeta.

5.1.2 Las mordazas no deben impedir un cambio de longitud entre ellas durante la realización del ensayo.

5.1.3 Una de las mordazas debe ser capaz de girar alrededor del eje de la probeta mientras que la otra no debe estar sujeta a ninguna deflexión angular, excepto la necesaria para la medición del momento de torsión aplicado.

6. PROBETA

6.1 La probeta debe ser recta antes del ensayo. En caso que sea necesario enderezarla ello se hace a mano y si no es posible de esta manera puede usarse un martillo de madera.

6.2 La longitud libre entre mordazas de la máquina debe ser la indicada en la Tabla 2.

TABLA 2

Medida nominal d mm		Longitud libre entre mordazas, L mm
Desde	Hasta menos de	
0,5	1	200 d
1	5	100 d (1)
5	10	50 d (2)
10	-	25 d (3)

- (1) Cuando la máquina no permite el uso de una longitud igual a 100 d ; por acuerdo entre el productor y comprador, esta longitud puede ser igual a 50 d .
- (2) Cuando la máquina no permite el uso de una longitud igual a 50 d ; por acuerdo entre el productor y comprador, esta longitud puede ser igual a 30 d .
- (3) Por acuerdo entre el productor y comprador la longitud puede ser 250 mm.

7. PROCEDIMIENTO

- 7.1 El ensayo se lleva a cabo a temperatura ambiente.
- 7.2 Se coloca la probeta en la máquina de tal manera que su eje longitudinal coincida con el eje de las mordazas y se mantenga recta durante el ensayo.
- 7.3 A menos que se especifique de otro modo puede asegurarse lo indicado en 7.2 aplicando un esfuerzo de tracción constante, justo suficiente para mantener la probeta recta, pero que no exceda el 5% de la resistencia a la tracción nominal del alambre.
- 7.4 Después de colocada la probeta en la máquina, la mordaza móvil debe rotar a una velocidad razonablemente constante hasta que la probeta se rompa • hasta que se alcance el número especificado de vueltas. Se debe contar el número completo de vueltas que efectúa la mordaza móvil.
- 7.5 La velocidad de giro debe ser suficientemente lenta como para cortar una elevación de temperatura de la probeta que pueda afectar el resultado del ensayo. En ningún caso la velocidad debe exceder los valores indicados en la Tabla 3.

TABLA 3

Medida nominal d mm		Velocidad máxima de ensayo (vueltas/seg)
Desde	Hasta menos de	
	1	5
1	1,5	2
1,5	3	1,5
3	5	1 para $L = 100 d$ 0,5 para $L = 50 d$
5	10	0,5 para $L = 50 d$ 0,35 para $L = 30 d$
10		0,35

7.6 Si el número de vueltas alcanzadas es satisfactorio, se considera que la probeta ha pasado el ensayo, cualquiera que sea la posición de la rotura. Si el número de vueltas no alcanza el valor especificado y si la rotura se produce a una distancia de las mordazas menor de $2 d$, el ensayo se considera invalidado y debe repetirse.

7.7 Si la norma particular del material lo indica, debe examinarse tanto la superficie de la probeta como la rotura ocasionada. El método para realizar tales exámenes y la interpretación de la apariencia de la probeta se indica en la norma particular.

8. ANTECEDENTES

8.1 ISO 2627-1973 "Copper and copper alloys - Simple torsion testing of wire".

* * * * *

PERU
NORMA TECNICA
NACIONAL.

COBRE Y SUS ALEACIONES
Método de ensayo de tracción.

ITINTEC
342.039
Noviembre 1981

1. NORMAS A CONSULTAR

1.1 Para la aplicación de la presente Norma no es necesaria la consulta específica de ninguna otra.

2. OBJETO

2.1 La presente Norma establece el método de ensayo de tracción de los productos de cobre y sus aleaciones de diámetro no menor de 5 mm o espesor no menor de 2,5 mm.

3. DEFINICIONES

3.1 Longitud calibrada (L_C) Parte de la probeta de sección constante dentro de la cual se indica la longitud entre marcas.

3.2 Longitud entre marcas. - longitud de referencia de la probeta ubicada dentro de la longitud calibrada, sobre la cual se determina el alargamiento de la probeta durante el ensayo. En particular se distinguen las siguientes:

3.2.1 Longitud inicial entre marcas (L_0). Longitud entre marcas de la probeta antes del ensayo.

3.2.2 Longitud final entre marcas (L_u). Longitud entre marcas, luego de la rotura de la probeta, determinado cuando las partes de la misma son cuidadosamente unidas y alineadas de manera que sus respectivos ejes sean colineales.

3.3 Longitud de referencia para extensómetro (L_e). Longitud usada para determinar el alargamiento de la probeta durante el ensayo por medio de un extensómetro. Esta longitud puede diferir de L_0 y tener un valor cualquiera mayor que el ancho de las probetas planas o el diámetro de la sección de las probetas cilíndricas.

3.4 Deformación. Variación unitaria que produce la aplicación de una carga sobre las dimensiones de un cuerpo, referida a sus dimensiones originales. La deformación es una cantidad adimensional, pero frecuentemente es expresada en milímetros/milímetro.

3.5 Alargamiento. Incremento de longitud por unidad de longitud, producido por la aplicación de un esfuerzo axial sobre las dimensiones originales:

$$\frac{(L_u - L_0)}{L_0}$$

L_0

3.6 Sección inicial (S_0) Área de la sección transversal de la zona calibrada de la probeta antes del ensayo.

3.7 Estricción (Z).- Relación entre la máxima reducción del área de la sección transversal de la probeta producida durante el ensayo, $S_0 - S_u$ y el área de la sección inicial S_0 expresada en por ciento (S_u es el área mínima de la sección de la probeta luego de su rotura).

3.8 Carga.- Fuerza aplicada a la probeta durante el ensayo.

3.9 Carga máxima (F_m).- Máximo valor de la carga que la probeta soporta durante el ensayo. Ver Figura 3.

3.10 Tensión.- Cociente entre la carga y el área de la sección inicial de la probeta, en cualquier instante durante el ensayo, Ver A.1.

3.11 Resistencia a la tracción (R_m).- Carga máxima dividida por el área inicial de la sección de la probeta, es decir, la tensión correspondiente a la carga máxima.

3.12 Límite de proporcionalidad (R_{prop}).- Máxima tensión que un material es capaz de soportar sin que las deformaciones dejen de ser proporcionales a los esfuerzos, es decir, sin apartarse de la ley de Hooke.

3.13 Límite de elasticidad (R_{elast}).- Máxima tensión que el material es capaz de soportar, sin que en la descarga se registren deformaciones permanentes

3.14 Tensión de fluencia convencional (R_p).- Tensión bajo la cual ocurre un alargamiento no proporcional prescrito igual a un porcentaje de la longitud inicial entre marcas. El símbolo utilizado para esta tensión es complementado por un subíndice que especifica el alargamiento no proporcional prescrito. Ver Figuras 5, 6 y 7.

3.15 Alargamiento permanente porcentual (A_p).- Incremento de la longitud entre marcas de una probeta sometida a una tensión prescrita y luego suprimida. Se expresa como un porcentaje de la longitud inicial entre marcas. Ver Figura 4.

3.16 Tensión correspondiente a un alargamiento permanente prescrito (R_r).- Tensión a la cual corresponde (después de la supresión de la carga) un alargamiento permanente prescrito, expresado como un porcentaje de la longitud inicial entre marcas. El símbolo utilizado para esta tensión es complementado por un subíndice que especifica el porcentaje de alargamiento permanente prescrito. Ver Figura 4.

3.17 Alargamiento porcentual de rotura (A).- Alargamiento permanente de longitud entre marcas, luego de la rotura de la probeta, $l_u - l_0$, expresado como por ciento de la longitud inicial entre marcas l_0 .

4. SÍMBOLOS

4.1 Los símbolos y designaciones usados en este ensayo se indican en la Tabla 1 y Figuras del 1 al 7.

TABLA 1. Símbolos (1) (2)

Símbolo	Designación
d	Diámetro de la sección circular de la probeta y en caso de ser otra la sección, diámetro del círculo mínimo circunscrito (Figura 1).
a	Espesor de las probetas planas (Figura 1)
b	Ancho de las probetas planas (Figura 1)
L ₀	Longitud inicial entre marcas (Figura 1)
L _c	Longitud calibrada (Figura 1)
L _e	Longitud de referencia para extensómetro.
L _t	Longitud total (Figura 1).
—	Extremo de amarre (Figura 1).
L _u	Longitud final entre marcas, luego de la rotura de la probeta (Figura 2).
L _u -L ₀	Alargamiento permanente luego de la rotura de la probeta (Figura 3).
A _p	Alargamiento permanente porcentual (Figura 4).
A	Alargamiento porcentual de rotura: $\frac{(L_u - L_0)}{L_0} \times 100$
S ₀	Área de la sección inicial de la zona calibrada de la probeta (Figura 1).
S _u	Área mínima de la sección de la probeta luego de la rotura (Figura 2).
R _{prop}	Límite de proporcionalidad.
R _{elast}	Límite de elasticidad.
R _r	Tensión correspondiente a un alargamiento permanente prescrito (Figura 4).
R _p	Tensión de fluencia convencional (Figura 5)
R _m	Resistencia a la tracción = $\frac{F_m}{S_0}$
F _m	Carga máxima (Figura 2)
Z	Estricción = $\frac{(S_0 - S_u)}{S_0} \times 100$

- (1) Siempre que no se produzcan errores de interpretación, los símbolos L₀ y R_m pueden reemplazarse por L y R respectivamente.
 (2) Algunos símbolos equivalentes se dan en A.2.

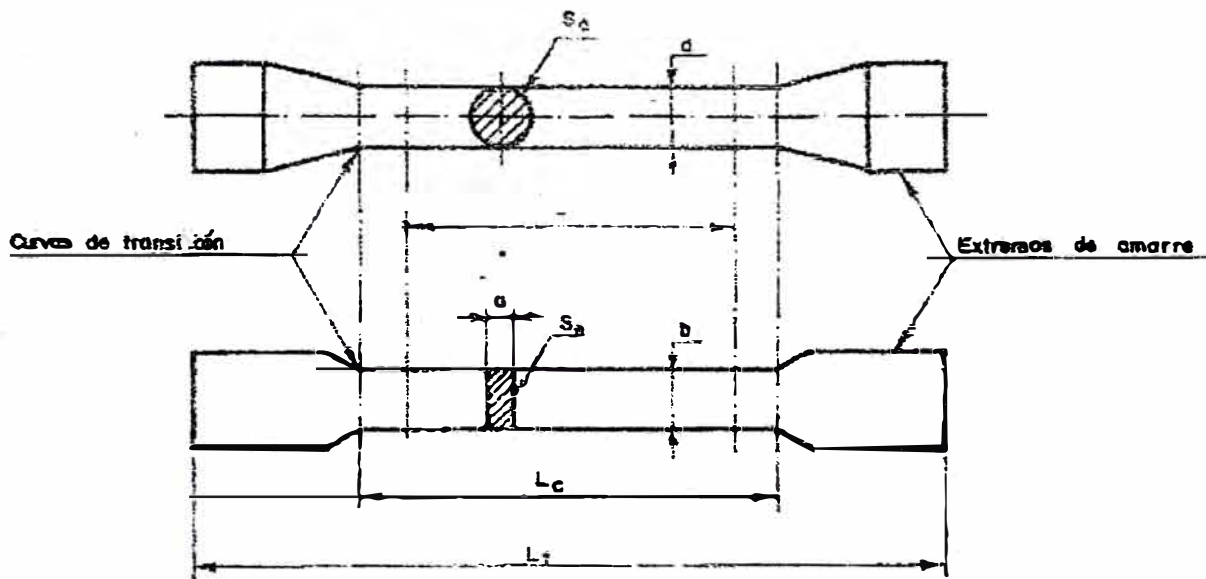


Fig. 1 - PROBETAS DE SECCIONES CIRCULARES Y RECTANGULARES

NOTA : La forma de los extremos de amarre de la probeta se da solamente a título indicativo.

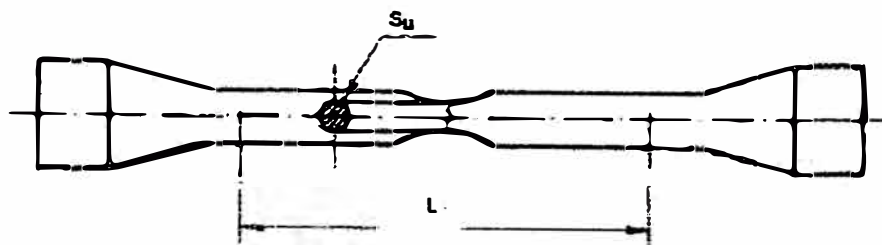
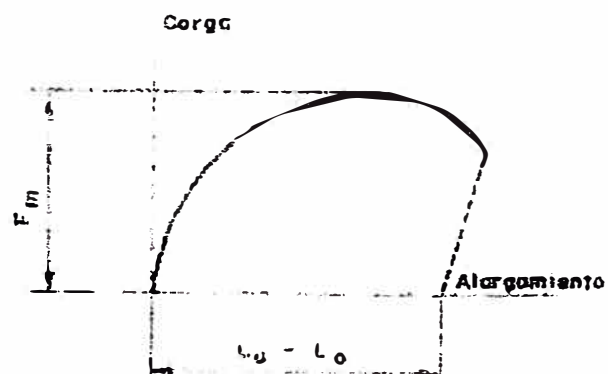


Fig. 2.- PROBETA DE SECCION CIRCULAR DESPUES DE LA ROTURA



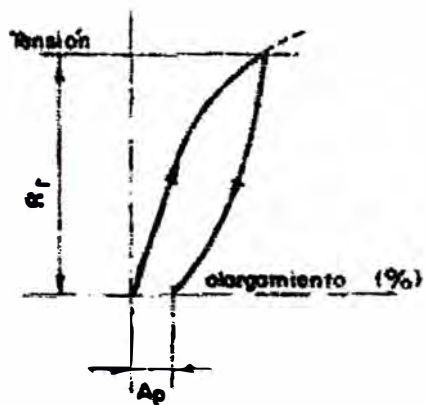


Fig. 4

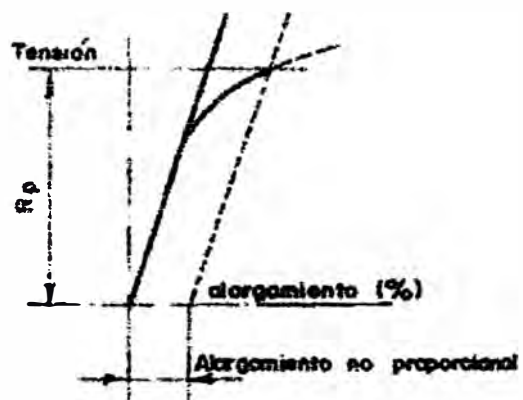


Fig. 5



Fig. 6

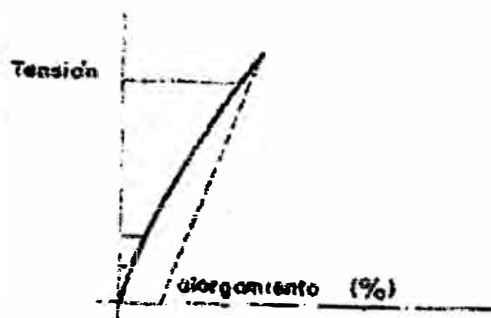


Fig. 7

5. PRINCIPIO DEL METODO

5.1 El ensayo consiste en aplicar a la probeta, en dirección axial, un esfuerzo de tracción creciente, generalmente hasta la rotura con el fin de determinar una o más de las características mecánicas que se mencionan en esta Norma. El ensayo se realiza normalmente a temperatura ambiente, salvo que se especifique otra temperatura.

6. APARATOS Y/O INSTRUMENTOS

6.1 Máquina de ensayo

6.1.1 La máquina para ejecutar el ensayo de tracción debe cumplir las siguientes condiciones :

6.1.1.1 Estar provista de dispositivos que aseguren la aplicación axial de los esfuerzos sobre la probeta.

6.1.1.2 Permitir la aplicación de los esfuerzos progresivamente, sin choque ni vibraciones.

6.1.1.3 Estar provista de dispositivos de regulación y comando que permitan cumplir las condiciones relativas a las velocidades de ensayo prescritas en 7.3.

6.1.1.4 La máquina de ensayo debe calibrarse periódicamente para asegurar en todo momento la exactitud especificada. En general, el máximo error permisible debe ser igual al 1% de la carga indicada en la máquina.

6.1.1.5 Extensómetro.- El error del extensómetro no debe exceder al 5% del valor del alargamiento que corresponde a la tensión especificada.

6.2 Probeta

6.2.1 Sección.- La sección transversal de la probeta puede ser circular, cuadrada, rectangular o, en casos especiales, de otras formas. En las probetas de sección rectangular se recomienda que la relación ancho/espesor no sea mayor de 4.

6.2.2 La zona calibrada de la probeta se une con una curva de transición suave y constante con los extremos de amarre de la misma. La medida mínima de esta curva de transición es importante y si no se especifica en la Norma particular del producto debe ser, para probetas de sección circular igual al diámetro de la misma o igual al doble del diámetro si es fundida y para probetas de sección rectangular, la establecida en la Tabla 2. Los extremos de amarre de la probeta, pueden tener cualquier forma adaptable a los dispositivos de fijación de la máquina de ensayo y las medidas pueden establecerse por convenio previo. Los perfiles, barras, alambrones, probetas fundidas, etc. pueden ensayarse sin ser mecanizados.

TABLA 2. Probetas de sección rectangular.

ANCHO DE LA PROBETA b (mm)	RADIO DE CURVATURA MÍNIMO (mm)
$3 \leq b < 6$	6
$6 \leq b < 10$	12
$10 \leq b < 30$	20
$30 \leq b < 50$	25

6.2.3 En general, el diámetro de la zona calibrada de las probetas de sección circular o el ancho de las de sección rectangular no debe ser menor de 5,0 mm.

6.2.4 La preparación de la probeta se realiza de manera que no se alteren las características del material.

6.2.5 Las caras y aristas de las probetas planas deben ser lisas.

6.2.6 El diámetro o el ancho de la parte calibrada no se debe apartar en más de 0,05 mm de su valor medio. El espesor comprendido entre caras no mecanizadas no se debe desviar en más de 0,25 mm de su valor medio.

6.2.7 Determinación del área de la sección transversal. - El área de la sección transversal se calcula midiendo las dimensiones con una exactitud de $\pm 0,5\%$. Cuando no sea posible obtener esta exactitud, el método de medición se establece en la Norma particular del producto.

6.2.8 Longitud de la parte calibrada

6.2.8.1 La longitud de la parte calibrada, L_c , debe estar comprendida entre $L_0 + \frac{d}{2}$ y $L_0 + 2d$.

6.2.8.2 La longitud $L_0 + 2d$ se utiliza siempre en caso de litigio, salvo cuando haya falta de material.

6.2.8.3 Si las probetas de sección rectangular se mecanizan de lotes de diferentes espesores, la longitud calibrada, debe estar comprendida entre $L_0 + d$ y $L_0 + 2d$, siendo L_0 y d los correspondientes a la probeta del lote que tenga la mayor sección.

6.2.9 Longitud inicial entre marcas

6.2.9.1 Por regla general, se usan para este ensayo probetas que cumplan con el requisito de $L_0 = K \sqrt{S_0}$, donde K puede ser igual a 4 - 4,5 - 5,65 - 8,16 ó 11,3, estas probetas se conocen como probetas normales.

6.2.9.2 Por regla general, se recomienda que el valor de K sea de 5,65 excepto para materiales de pequeña sección. Si la longitud inicial entre marcas L_0 calculado con $K = 5,65$ es menor de 25 mm, se usa normalmente $K = 11,3$. Los demás valores de K se utilizan sólo para cumplir especificaciones existentes.

ITINTEC 342.039

Pág. 8

6.2.9.3 El valor de L_0 , calculado de este modo, se redondea al múltiplo más cercano de 5 mm.

6.2.10 Probetas no normales.- En circunstancias especiales, pueden usarse - por convenio previo, probetas no normales. En este caso, se debe mencionar en el informe la distancia entre puntos utilizada y la sección de estas probetas.

6.2.11 Tolerancias.- Las tolerancias en las medidas de la probeta son las establecidas en las Tablas 3 y 4. Ver A.3 .

6.2.12 Marcado de la longitud inicial entre marcas

6.2.12.1 Los extremos de la longitud entre marcas pueden ser marcadas con una marca fina hecha sobre el material o con una línea escrita, un método alternativo es : primero pintar la probeta con una tinta de secado rápido y luego marcar la longitud entre marcas con una línea fina. No se recomiendan - marcas relativamente profundas en materiales sensibles a este efecto, pues - pueden producir roturas prematuras en dichas marcas.

TABLA 3. Tolerancias de las medidas de las probetas de sección circular.

	Medida Nominal (mm)	Tolerancia de Mecanizado* (j _s 12)	Tolerancia de Forma (I T 9)
Diámetro de las probetas de sección circular mecaniza - das (mm)	4 a 6	+ 0,06	+ 0,03
	mayor de 6 a 10	+ 0,075	+ 0,04
	mayor de 10 a 18	+ 0,09	+ 0,04
	mayor de 18 a 30	+ 0,105	+ 0,05

* Esta tolerancia se aplica cuando el cálculo del área de la sección de la probeta se realiza con las medidas nominales de la misma.

TABLA 4. Tolerancias de las medidas de las probetas de sección rectangular.

	Medida Nominal (mm)	Tolerancia de Mecanizado	Tolerancia de Forma (I T 13) (mm)
Espesor y ancho de las probetas de sección rectangular mecanizado en dos caras opuestas. (mm).	3 a 6		+ 0,18
	mayor de 6 a 10		+ 0,22
	mayor de 10 a 18		+ 0,27
	mayor de 18 a 30		+ 0,33
	mayor de 30 a 50		+ 0,39
Espesor y ancho de las probetas de sección rectangular mecanizadas en las cuatro caras.		Las mismas tolerancias que para los diámetros de las probetas sección circular.	
Las medidas de los extremos de la zona calibrada de la probeta no deben diferir en el ancho en mas de 0,1 mm.			

6.2.12.2 Resulta útil marcar sobre la superficie de la probeta una línea paralela al eje longitudinal de la misma. En probetas de lados planos, la línea y las marcas de referencia deben hacerse sobre el lado de mayor ancho.

7. PROCEDIMIENTO

7.1 Determinación de las características.- Las características a determinar se deben establecer en las normas particulares del producto con el procedimiento descrito en 7.3 a 7.9.

7.2 Diagrama carga-alargamiento o tensión-alargamiento.- En las figuras 3 a 7 se ilustran formas típicas de estos diagramas.

7.7.2 Se marca sobre la probeta la longitud entre marcas con una tolerancia de $\pm 0,2$ mm.

7.7.3 El valor real del alargamiento porcentual de rotura de la probeta no se obtiene a menos que la rotura se produzca en una sección situada dentro de las marcas de referencia.

7.7.4 Después de romper la probeta, los dos trozos de la misma se acoplan cuidadosamente, de manera que sus ejes queden en una misma línea recta.

7.7.5 El aumento de longitud entre marcas se mide con un error de $\pm 0,2$ mm.

7.7.6 Para evitar el rechazo de probetas cuya rotura se produce fuera de los límites establecidos en la presente Norma, se puede usar el método descrito en 5.3.

7.8 Determinación de la estricción.- La estricción se determina de acuerdo a lo definido en 3.7.

7.9 Ensayos de verificación

7.9.1 Para la determinación de la tensión correspondiente a un alargamiento permanente prescrito. La probeta se somete a la carga correspondiente al valor fijado para la tensión y alargamiento permanente, manteniendo esta carga durante 10 s ó 12 s. Después de suprimida la carga se comprueba, usando un extensómetro de precisión conveniente, que el alargamiento permanente no sea mayor al valor fijado.

7.9.2 Para la determinación de la tensión de fluencia convencional. Se sigue el método de los tres puntos, que consiste en lo siguiente : se aplican sucesivamente a la probeta, tres cargas respectivamente iguales al 5%, 25% y 100% del valor fijado para la tensión de fluencia convencional, midiendo se dichos alargamientos mediante un extensómetro de precisión conveniente. El aumento de alargamiento entre la primera y tercera carga aplicadas no debe ser mayor que el porcentaje del alargamiento no proporcional prescrito más 4.75 veces el aumento de alargamiento entre la primera y segunda carga aplicada Ver Figura 7.

APENDICE A

A.1 Para los fines de la Norma se expresa esfuerzo o tensión como lo mismo.

A.2 Símbolos equivalentes

$$\begin{aligned} L_u &= L_f \\ S_u &= S_f \\ A &= \delta \\ Z &= \psi \\ R_p 0.2 &= \sigma_{0.2} \\ R_m &= \sigma_B \end{aligned}$$

A.3 Ejemplo de aplicación de las tolerancias establecidas en las Tablas 3 y 4.

A.3.1 Tolerancia de mecanizado.- Para el valor específico js 12 le corresponde para un diámetro nominal de 13,80 mm, una tolerancia de + 0,09 mm y significa que si se desea calcular el área de la sección transversal de la probeta con el diámetro nominal de la misma, su diámetro exterior debe estar comprendido entre :

$$13,80 + 0,09 = 13,89 \text{ mm}$$

$$13,80 - 0,09 = 13,71 \text{ mm}$$

A.3.2 Tolerancia de forma. El valor especificado IT 9 significa que, para una probeta de diámetro nominal de 13,80 mm cumpliendo con la condición de mecanizado indicada en el párrafo anterior, la diferencia entre el diámetro menor y diámetro mayor tomado en la zona calibrada no debe ser mayor de IT = 0,04 mm. Por lo tanto, si el diámetro mínimo de la probeta es 13,79 mm, el diámetro máximo no debe ser mayor de :

$$13,79 + 0,04 = 13,83 \text{ mm}$$

A.4 Area de la sección transversal.- El área de la sección transversal inicial de la probeta con extremos ensanchados, puede determinarse también contando exactamente hacia afuera de las marcas de referencia después que la probeta ha sido fracturada, y dividiendo la masa de los dos trozos de la probeta por el producto de la longitud inicial entre marcas y la densidad del material.

A.5 Alargamiento porcentual de rotura

A.5.1 Para evitar el rechazo de probetas cuya rotura se produce fuera de los límites establecidos en 7.7.3 por convenio previo puede emplearse el método indicado en A.5.2 a A.5.4.

A.5.2 Antes del ensayo, se divide la longitud inicial entre marcas L_0 en N partes iguales.

A.5.3 Después del ensayo, se designa con A la marca de referencia del trozo más corto de la probeta y sobre el trozo más largo, se designa por B la división que dista de la rotura aproximadamente lo mismo que dista A.

A.5.4 Si n es el número de intervalos entre A y B, el alargamiento porcentual de rotura se determina en la forma siguiente :

ITINTEC 342.039

Pág. 13

Si $N-n$ es un número par (Figura i), se mide la distancia entre B y la división C que está a $\frac{N-n}{2}$ intervalos de B. El alargamiento porcentual de rotura (A) se calcula mediante la fórmula :

$$A = \frac{AB + 2 BC - L_0}{L_0} \times 100$$

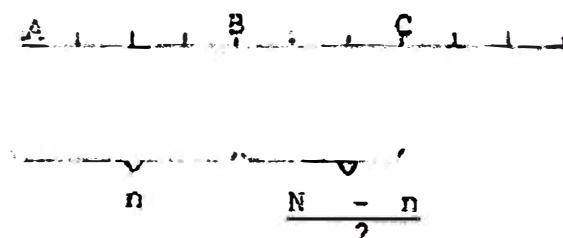
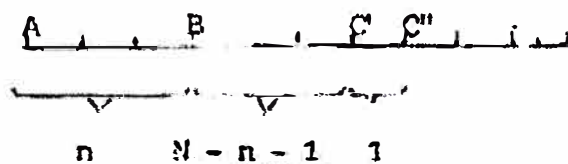


Figura i

Si $N-n$ es un número impar (Figura ii), se mide la distancia entre A y B y la distancia de B a las divisiones C' y C'' situadas respectivamente a : $\frac{N-n-1}{2}$ y $\frac{N-n+1}{2}$ intervalos de B.

alargamiento porcentual de rotura (A) se calcula mediante la fórmula :

$$A = \frac{AB + BC' + BC'' - L_0}{L_0} \times 100$$



BIBLIOGRAFIA.

1. **Xavier Guerrero, Carlos Guerrero y Moisés Hinojosa; "Análisis de superficie de alambre de cobre con microscopía de fuerza atómica"; 68 convención anual; "the wire association internacional"; Cleveland OH, Junio 1998.**
2. **M.P. Ariza y M. Ortiz; "Una teoría discreta de dislocaciones en redes cristalinas"; Universidad de Sevilla; España; Febrero 2005.**
3. **ASTM B 115-95; "Standard specification for Electrolytic cathode copper"; USA; 1995.**
4. **ASTM B49-92; "Standard specification for copper Redraw Rod for Electrical Purposes"; USA; 1992.**