

2 Ej. No. 64



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

ANALISIS Y SOLUCIONES A PROBLEMAS  
QUE SE PRESENTAN EN LA  
OBTENCION DE ALAMBRES DE COBRE ESTAÑADO  
POR EL PROCESO DE INMERSION EN LA  
FABRICACION DE CONDUCTORES ELECTRICOS

# Tesis

Que para obtener el Título de:  
INGENIERO QUIMICO

Presenta:  
JORGE ORLANDO MARTINEZ ESCALANTE



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## I N D I C E

I. INTRODUCCION	1
II. GENERALIDADES	6
2.1 Características principales del cobre	6
2.1.1 Metalurgia del cobre	8
2.1.2 Propiedades y aplicaciones	12
2.2 Características principales del estaño	17
2.2.1 Metalurgia del estaño	17
2.2.2 Propiedades y aplicaciones	19
2.3 Aleaciones del Cobre-Estaño y sus efectos en las cubiertas	21
2.3.1 Naturaleza de la cubierta	23
2.3.2 Disolución del cobre en el estaño fundido	24
2.3.3 Efecto del cobre en las cubiertas de estaño	26
2.3.3.1 Baño de estaño puro	26
2.3.3.2 Baño de estaño con porcentaje menor al punto eutéctico	26

2.3.3.3	Baño de estaño con porcentaje de cobre ligeramente mayor al punto eutéctico	27
2.3.3.4	Baño de estaño con porcentaje de cobre mayor al punto eutéctico	28
2.4	Proceso de fabricación de conductores eléctricos	30
2.4.1	Laminación	30
2.4.2	Etapa de estirado	33
2.4.2.1	Sistema de la American Wire Gage para la medición de alambres (AWG)	36
2.4.3	Recocido	38
2.4.4	Cableado	40
2.4.5	Extrusión	42
2.5	Conductores de cobre estañado	49
2.5.1	Factores que influyen para obtener un buen estañado	50
2.5.1.1	Efecto de la superficie acabada	51
2.5.1.2	Efecto del tiempo y de la temperatura	54
2.5.1.3	Efecto del cobre disuelto en el baño de estaño	55

2.6	Normas y métodos de prueba para alambres de cobre estañado	57
2.6.1	Descripción de la Norma 8-33-81	58
2.6.1.1	Prueba de elongación	58
2.6.1.2	Prueba de resistividad eléctrica	59
2.6.1.3	Dimensiones y variaciones permitidas en los diámetros	59
2.6.1.4	Continuidad de la cubierta	62
2.6.1.5	Adherencia de la cubierta	64
2.6.1.6	Soldadura	65
2.6.1.7	Apariencia	66

### III. ANALISIS DEL PROCESO Y DESCRIPCION 68

3.1	Descripción del proceso de estañado	68
3.1.1	Tratamiento previo del alambre	68
3.1.2	Operación del estañado del alambre	70
3.1.3	Tratamiento final del alambre	73
3.2	Descripción de la máquina para estañar alambres por inmersión	75
3.2.1	Equipo desenrollador de alambre	75
3.2.2	Tina de limpieza con solución ácida y enjuague	76

3.2.3	Tina de estañado	77
3.2.4	Tina de enfriamiento	78
3.2.5	Equipo enrollador	79
3.3	Método de operación	82
IV.	ANÁLISIS DE PROBLEMAS, DEFICIENCIAS Y SOLUCIONES PROPUESTAS EN EL AREA DE ESTAÑADO	84
4.1	Falta de adherencia del estaño al cobre	84
4.1.1	Limpieza del alambre	86
4.1.2	Longitud de inmersión	88
4.1.3	Velocidad de paso del alambre	88
4.2	Reducido margen de elongación del material	91
4.2.1	Desenrollador	91
4.2.2	Tinas de decapado y enjuague	92
4.2.3	Tina de estañado	92
4.2.4	Embobinado	93
4.3	Aspereza en el acabado del material	95
V.	EVALUACION ECONOMICA	98
VI.	CONCLUSIONES	109
VII.	APENDICE	113
VIII.	BIBLIOGRAFIA	

## I. INTRODUCTION

## I. INTRODUCCION

El crecimiento de la población en nuestros días da como resultado que se requiera día a día del abastecimiento de volúmenes considerables de bienes y servicios para satisfacer sus necesidades, entre estos los cables, que son utilizados para llevar la corriente a todos los lugares que así lo requieran para su desarrollo y con estos satisfacer sus necesidades de: Iluminación, Energía para mover equipo industrial y electrodoméstico, Comunicación, etc.

Los cables conforme ha ido pasando el tiempo se han sofisticado para satisfacer diversos requerimientos, pero en esencia consisten de un conductor a través del cual circula la corriente eléctrica y un aislamiento que permite confinar la energía eléctrica en el conductor y contener el campo eléctrico dentro de su masa.

Para que el país hoy en día satisfaga sus necesidades de conductores eléctricos cuenta con diferentes firmas que los producen - como: Conductores Monterrey, Latinoamericana de Conductores --- (LATICANSA), Industrias Unidas (IUSA), Conductores Eléctricos - (CONELEC), Conductores Mexicanos (CONDUMEX) y otros.

La fabricación de los cables, cordones y cables flexibles con aislamiento elastomérico y PVC, entre otros de múltiples aplicaciones como: en el sistema de alumbrado público, en el sistema de -



transporte colectivo, en la industria de la construcción, en la industria minera, en la industria automotriz, en la industria metal mecánica, etc., requieren además de la fabricación del alambre de cobre de un proceso adicional integrado de cuatro etapas básicas, a saber:

- 1) Estañado del conductor
- 2) Aplicación del semiconductor y aislamiento
- 3) Reunido y Cubierta Interna
- 4) Cubierta de producto terminado

En relación a estas etapas Condumex se ha impuesto mejorar la primera, es decir, la relativa al procedimiento para aplicar la cubierta de estaño a los hilos que forman el conductor.

Este documento pretende presentar los problemas que se tienen en esta área de la compañía y proponer las soluciones que se crean pertinentes.

## PROBLEMA

Esta decisión se toma en atención a la observación efectuada en los reportes de producción, en el sentido de que el 20% del producto —Alambre Estañado— no cumple con los estándares establecidos.

Aún cuando resulta obvio, no está demás señalar que esta desviación en la calidad del producto ocasiona: costos crecientes de producción debido al rechazo, a la merma de materiales y a los retrazos en la entrega de productos.

Conforme a los reportes efectuados por el Departamento de Control de Calidad, los principales motivos de rechazo son:

- Falta de adherencia del estaño al cobre
- Reducido margen de elongación del material
- Aspereza en el acabado del mismo

## HIPOTESIS DE INVESTIGACION

Dado que estos problemas y otros que se detecten afectan tanto a la calidad del producto como a la productividad del mismo se establece la necesidad de determinar las causas y con esto las soluciones que eliminen los motivos de rechazo.

Teóricamente alcanzar el nivel de calidad del producto que definen

los estándares implica, por un lado, anular las deficiencias observadas y por el otro, fomentar aquellas que lo mejoren.

## OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

- Describir las características principales del cobre y del esta  
ño.
- Conocer que aleaciones se forman entre el cobre y el estaño en las cubiertas.
- Describir el proceso de fabricación de los conductores eléctricos.
- Conocer que factores influyen para obtener un buen estañado.
- Determinar que normas debe satisfacer el alambre de cobre esta  
ñado.
- Describir y analizar el proceso de estañado, de alambres de co  
bre por inmersión.
- Establecer que problemas se tienen en el proceso de estañado.
- Proponer sugerencias de solución a los problemas del proceso.

## METODOLOGIA

### Pasos fundamentales

- Recopilación de información para determinar por un lado la situación actual y por el otro lado la situación deseada.
- Aplicación de técnicas para la obtención de datos, y análisis

de la información obtenida.

- Determinación de necesidades y costeo de los requerimientos para satisfacer la situación deseada.

#### TECNICAS DE INVESTIGACION

Para llevar a cabo lo anterior se seleccionaran las fuentes de información y se optará por las técnicas adecuadas que consistirán:

- Revisión bibliográfica y de estudios relacionados con los aspectos básicos de este planteamiento como, planos de equipo, materiales (estaño y cobre) e información técnica.
- Entrevistas con la gente que interviene directa o indirectamente en el proceso.
- Pruebas a nivel laboratorio y a nivel de campo
- Análisis de la información recopilada

## CONTENIDO

En el análisis y soluciones propuestas a problemas que se presentan en la obtención de alambre de cobre estañado por el proceso de inmersión en la fabricación de conductores eléctricos, se analizan los elementos que participan en el proceso y su relación entre éstos.

Los resultados del análisis se describen y contienen en cinco capítulos. En el primero, trata sobre generalidades tanto del cobre como del estaño, las aleaciones que se forman entre ambos, naturaleza de la cubierta de estaño e influencia del cobre disuelto en el baño de estaño para obtener una buena cubierta; así como la fabricación del alambre de cobre estañado y, sus normas y métodos de prueba.

En la segunda parte, se detalla el proceso de estañado por inmersión y el método de operación. En la tercera parte, se analizan los problemas, deficiencias del área y se plantean las posibles soluciones. En la cuarta parte, se presenta la Evaluación Económica en la que se determina el monto de la inversión y el tiempo de recuperación. En la quinta y última parte, se dan las conclusiones a que se llegaron en el presente trabajo.

## I I. G E N E R A L I D A D E S

## II. GENERALIDADES

### 2.1 CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL COBRE

El cobre es uno de los principales metales empleados por el hombre. Esto es fácil explicarlo por encontrarse frecuentemente en estado libre, no requiriendo ningún tratamiento metalúrgico para obtenerlo.

El cobre fue usado desde el año 4 500 a.c. como un componente del bronce. Esta aleación no se preparó por mezcla de sus ingredientes (cobre-estaño) sino que provenía de un mineral natural que contenía los dos metales.

Se cree que los Egipcios desde el año 2 600 a.c. , obtuvieron cobre practicamente puro de minas que explotaron en Nubia y Etiopía, pero fueron más tarde los Romanos quienes obteniendolo de la isla de Chipre le dieron el nombre latino Cuprum.

Este elemento se encuentra libre y combinado, los minerales más comunes son: calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), calcita ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ), cuprita ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ) malaquita ( $\text{CuCO}_3 \cdot (\text{CuOH})_2$ ) y azurita  $2\text{CuCO}_3 \cdot (\text{CuOH})_2$  .

México está considerado dentro del contexto mundial como el decimo primer país productor del mineral de cobre y el decimo noveno lugar como refinador del mismo (Tabla 1). Las regiones mineras -

Tabla 1. PAISES PRODUCTORES Y REFINADORES DE COBRE

Producción de Cobre Refinado		Producción de Mineral de Cobre	
PAISES	%	PAISES	%
Estados Unidos	17.64	Chile	15.09
U.R.S.S.	15.94	U.R.S.S.	14.36
Japón	11.27	Estados Unidos	13.87
Chile	8.94	Canadá	7.38
Zambia	6.16	Zambia	6.44
Bélgica	4.8	Zaire	6.12
Rep. Fed. Alem.	4.13	Polonia	4.57
Polonia	3.65	Perú	4.33
China	3.34	Filipinas	3.57
Canadá	3.28	Australia	2.98
Perú	2.36	México	2.91
Australia	1.92	Sudafrica	2.52
Zaire	1.84	China	2.27
España	1.80	Nueva Guinea	2.07
Sudafrica	1.49	Mongolia	1.16
Inglaterra	1.41	Otros	10.36
Yugoslavia	1.33		
Cores del Sur	1.21		
México	0.74		
Suecia	0.65		
Otros	6.75		



más ricas se encuentran en Canenas y Nacozari en Sonora y en Palo Boleo y Santa Rosalia en Baja California, en donde abundan minerales sulfurados.

### 2.1.1 Metalurgia del Cobre

La industria del cobre, se define como el conjunto de empresas que explotan y transforman el mineral de cobre en productos manufacturados, mediante procesos de fundición, refinación, laminación, extrusión y estiraje del cobre y sus aleaciones.

La extracción del cobre de la mena sulfurada implica varias operaciones laboriosas ya que muchas calcopiritas contienen gran cantidad del sulfuro de hierro que debe ser separado.

Pasos a seguir en el proceso de extracción del cobre:

#### - Primera Etapa.

Esta consiste en obtener y triturar el mineral en partículas finas para ser mezclado con agua y una pequeña cantidad de aceite, como puede ser el aceite de pino y un producto espumante formando una suspensión. El aceite moja los minerales sulfurados, y el agua los silicatos de la ganga. Entonces se hace burbujear una corriente de aire a través de la suspensión con el fin de que la ganga quede en el agua y la mena ascienda

a la superficie en forma de espuma. La concentración del mineral se efectúa separando la espuma.

La operación anterior se conoce como flotación y en esta, la mena se concentra de un 4% a un 20% o 30% en el contenido de cobre.

- Segunda Etapa.

El producto de flotación se tuesta a una temperatura determinada y una cantidad de aire que se inyecta, con el fin de regular la cantidad de azufre que haya de eliminarse, obteniendo así sulfuros y óxidos de fierro y cobre, además de productos sin valor llamados ganga.

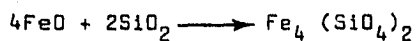
Posteriormente se mezcla el mineral tostado con el mineral sin tostar y coke, los cuales son cargados en un horno de reverbero agregando una parte de sílice para balancear la carga. El horno se opera de modo que una parte de fierro se convierta en óxido y que al combinarse con la sílice se produzca la escoria.

El cobre forma sulfuro cuproso ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ) que se encuentra mezclado con sulfuro ferroso ( $\text{FeS}$ ), además de oro y plata, llamándose mata a esta mezcla que puede tener un 45% en contenido de cobre.

- Tercera Etapa

A la meta se le agrega arena, la cual se vacía en un convertidor basculante análogo al Bessemer y, a través de la masa fundida se insufla corriente de aire que convierte el sulfuro ferroso en óxido. El óxido ferroso se combina con la sílice obteniéndose la escoria conocida como silicato de fierro.

El concepto anterior se representa por la siguiente ecuación:



El sulfuro ferroso al entrar en contacto con la corriente de aire lo convierte en cobre metálico, como se observa en la siguiente reacción:



El metal fundido se vacía en moldes que al ir solidificando - desprenden dióxido de azufre ( $\text{S O}_2$ ) produciéndose ampollas, - por lo que a este metal se le conoce como cobre blister (ampollado) con un contenido de cobre del 98%.

- Cuarta Etapa.

En las plantas refinadoras este lingote se funde nuevamente y se agita con madera verde. Los gases que se desprenden de la madera calentada (Hidrocarburos), al burbujear a través del metal fundido reducen al máximo el óxido de cobre que pudiera haberse formado en la operación anterior. El cobre así tratado se vierte en moldes para formar ánodos y las únicas impurezas que aún contiene son los metales preciosos, como el oro y la plata.

El ánodo lo constituye el cobre que se desea refinar y el cátodo está formado por láminas de cobre puro. Los ánodos y los cátodos se colocan alternados dentro de la cuba electrolítica, que contiene además una solución de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ). Cuando pasa la corriente eléctrica se va depositando en el cátodo en forma de cobre metálico los iones de cobre de la solución, los que simultáneamente van siendo reemplazados por los iones de cobre del ánodo.

A medida que desaparece el ánodo, al entrar a formar parte de la solución las impurezas que contiene se van asentando en el fondo como lama, de las que posteriormente se recuperarán el oro y la plata.

Los cátodos así formados, nuevamente se funden y se refinan -

con leña verde para ser vaciados en moldes y, de esta forma ob tener lingotes de cobre electrolítico que suelen poseer un gra do de pureza que fluctúa entre un 99.92 y un 99.96%. (Gráfica 1).

### 2.1.2 Propiedades y Aplicaciones

El cobre es un metal brillante aunque en películas delgadas pa rece verde. A temperaturas cercanas a su punto de fusión el cobre es tan frágil que puede pulverizarse.

Es un metal sumamente dúctil y maleable y uno de los mejores - conductores de la electricidad y del calor, después del oro y la plata. (Tabla 2)

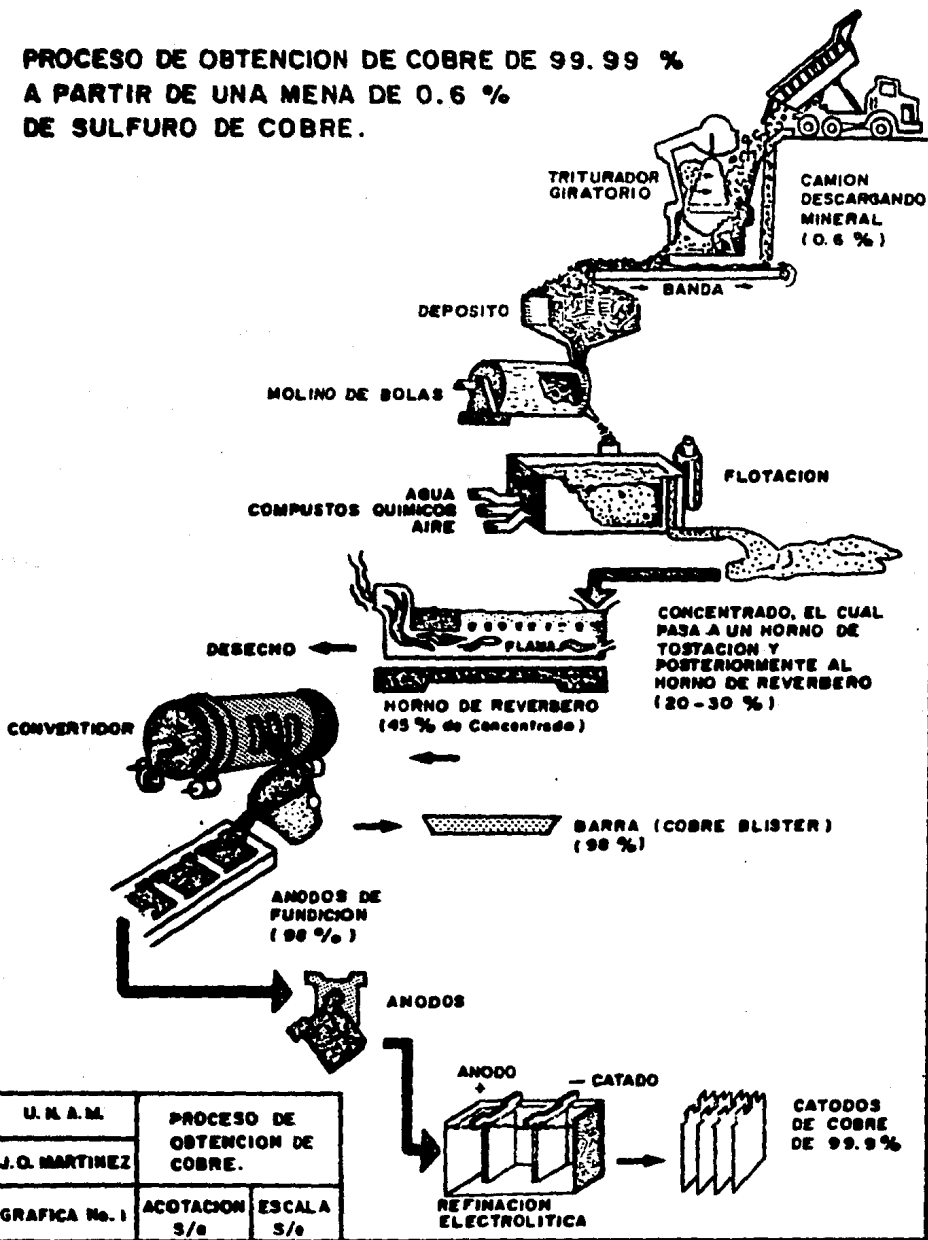
En aire seco no se altera, pero en presencia de la humedad - atmosférica se forma una capa de carbonato básico de color - verde.

El ácido sulfúrico caliente reacciona con el cobre formando - sulfato de cobre y dióxido de azúfre.

Por sus propiedades es usado de distintas maneras:

Por su resistencia a la corrosión se usa en la construcción de aparatos para la industria química, monedas, etc. Por su conduc tividad se utiliza en la fabricación de alambres, conductores

**PROCESO DE OBTENCION DE COBRE DE 99.99 %  
A PARTIR DE UNA MENA DE 0.6 %  
DE SULFURO DE COBRE.**



U. N. A. M.	PROCESO DE OBTENCION DE COBRE.	
J. O. MARTINEZ		
GRAFICA No. 1	ACOTACION 5/e	ESCALA 5/e

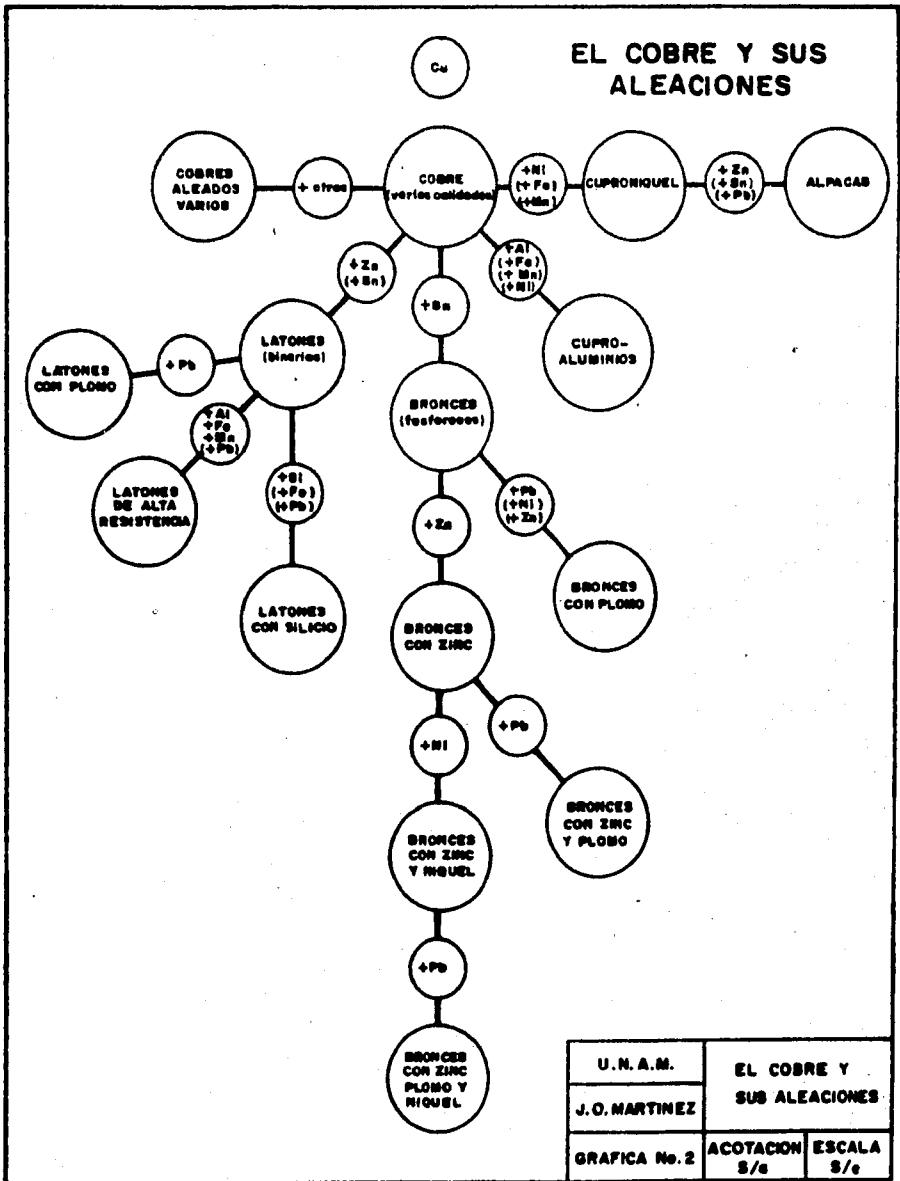
y cables eléctricos. Alado con el cinc forma el latón y -  
unido con diferentes elementos, como el estaño, el níquel --  
(Constanten) y el aluminio, constituye los bronce (Gráfica 2)

**Tabla 2. PROPIEDADES FISICAS DEL COBRE PURO Y SUAVE**

PROPIEDAD	T <sup>o</sup> C		UNIDADES
Peso Atómico		63.57	
Número Atómico		29	
Conductividad eléctrica	20	100	1 ACS
Resistividad	20	1.724	Microhm-cm <sup>2</sup> /cm
Densidad	20	8.89	g/cm <sup>3</sup>
Calor Específico	25	0.092	Cal/g °C
Temp. de Fusión	1 083		°C
Temp. de Ebullición	2 310		°C
Calor latente de Fusión		43.3	Cal/g
Conductividad Térmica		0.93	Cal/seg cm <sup>2</sup> °C/cm



# EL COBRE Y SUS ALEACIONES



U. N. A. M.	EL COBRE Y SUB ALEACIONES	
J. O. MARTINEZ		
GRAFICA No. 2	ACOTACION S/e	ESCALA S/e

## 2.2 CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL ESTAÑO

El descubrimiento del estaño en las tumbas Egipcias demuestra que el metal fue conocido en épocas remotas.

Los Romanos pudieron distinguir el plomo (Plumbum nigrum) del estaño (Plumbum candidum) que posteriormente llamaron Stannum, palabra de la que se deriva el símbolo actual (Sn). El principal mineral del estaño es la casiterita ( $\text{SnO}_2$ ) que se encuentra en: - Cornwallles, Málaga, Bolivia, China, Australia y Checoslovaquia.

### 2.2.1 Metalurgia del Estaño

La extracción del estaño de la mena sulfurada, implica varias operaciones laboriosas, ya que la casiterita contiene sulfuro de fierro y cobre que debe separarse.

Pasos a seguir en el proceso de extracción de estaño:

#### - Primera Etapa.

Este consiste en obtener y pulverizar el mineral. El mineral en bruto se extiende en capas y se lava con una corriente de agua que separará las gangas ligeras de la casiterita más densa.

El producto de lavado se tuesta, esta operación consiste en -

calentar las partículas finamente divididas a una temperatura y cantidad de aire determinada que se inyecta al horno. Esto se hace para eliminar por oxidación los sulfuros de hierro y cobre, y con esto obtener los sulfatos correspondientes.

- Segunda Etapa.

La mena debe ser lavada nuevamente con objeto de eliminar el sulfato de cobre formado en la tostación, y así purificada se introduce a un horno de reverbero, en donde se reduce con carbono. El concepto anterior se representa con la siguiente ecuación:



El metal fundido se deposita en moldes para obtener lingotes.

- Tercera Etapa.

Los lingotes se funden a temperaturas moderadas, depositándose en el fondo de las tinas todos los compuestos del hierro y arsénico.

El estaño así tratado se vacía en moldes para formar los ánodos de rectificación final del estaño; el cátodo está formado por láminas de estaño puro.

La purificación se lleva a cabo en un baño de ácido fluorosilf-

cio con ánodos y cátodos que se colocan alternados dentro de la cuba electrolítica, obteniéndose así una calidad del 99.9% de estaño.

### 2.2.2 Propiedades y Aplicaciones

El estaño es un metal blanco argentino de gran maleabilidad, a  $100^{\circ}\text{C}$  es muy dúctil y puede ser fácilmente laminado en hojas - muy delgadas conocidas como "papel estaño". A  $200^{\circ}\text{C}$  se vuelve muy quebradizo y puede pulverizarse; funde a  $232^{\circ}\text{C}$  y hierve a  $2270^{\circ}\text{C}$ . Cristaliza al enfriar, por esto al doblar una barra - de estaño se desprende un ruido de los cristales que se rompen por flexión el cual se conoce como grito de estaño. (Tabla 3). Con casi todos los no metales se combina, y con los metales - forma aleaciones de gran aplicación industrial.

Por sus propiedades es usado de distintas maneras:

Como cubierta protectora de láminas de hierro (hojalata), en - objetos de cobre de uso común y de alambres para uso eléctrico.

Las principales aleaciones del estaño son:

Bronce (Sn-Cu), Soldadura (50% Sn - 50% Pb), Peltre (75% Pb -- 25% Sn) y con antimonio para producir metal antifricción.

Tabla 3. PROPIEDADES FISICAS DEL ESTAÑO PURO

PROPIEDAD	T <sup>o</sup> C		UNIDADES
Peso Atómico		118.70	
Número Atómico		50	
Conductividad eléctrica	20	15.6	Relativa al cobre 1 ACS
Densidad	20	7.31	g/cm <sup>3</sup>
Calor Específico	20	0.0534	Cal/g <sup>o</sup> C
Temp. de Fusión	231.9		<sup>o</sup> C
Temp. de Ebullición	2 270		<sup>o</sup> C
Calor latente de <u>Fu</u> sión		14.4	Cal/g
Conductividad		0.0157	Cal/seg cm <sup>2</sup> * <sup>o</sup> C/cm

### 2.3 ALEACIONES DE COBRE-ESTAÑO Y SUS EFECTOS EN LAS CUBIERTAS

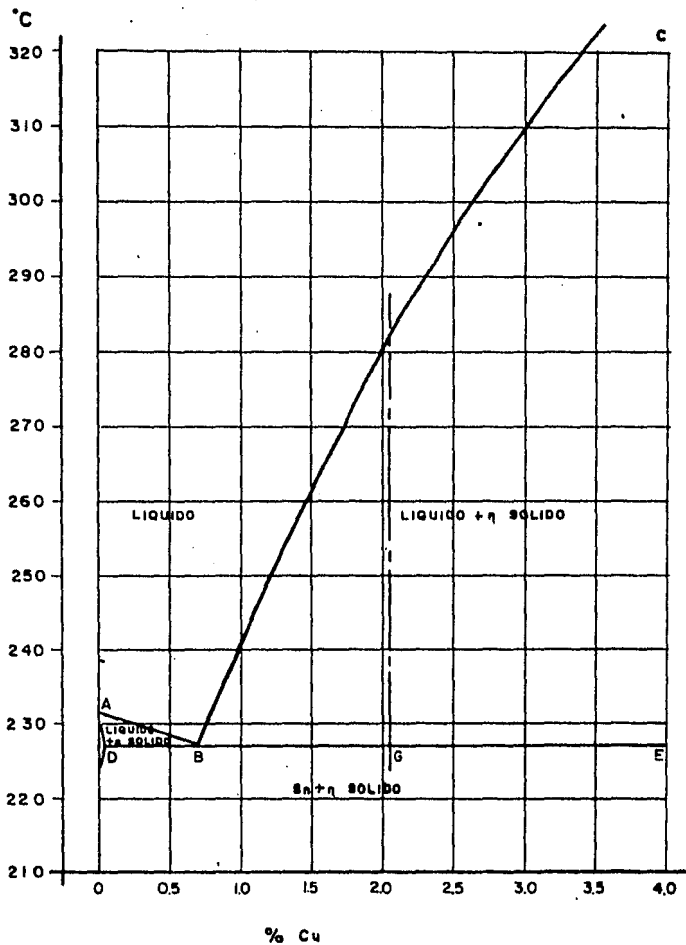
El cobre y el estaño se disuelven en cualquier proporción siendo la temperatura de la mezcla, un factor preponderante para acelerar la disolución.

En la Gráfica 3 se tiene un diagrama de equilibrio Cu-Sn en donde se indica la formación de los compuestos que se pueden dar en el sistema. Las ordenadas nos indican la temperatura de la mezcla y las abscisas la proporción del cobre en la disolución hasta un 4%, que es el rango de operación para el estañado de alambre de cobre.

La línea ABFG es la línea de líquidos, arriba de esta se encuentra la aleación en estado líquido; si disminuimos la temperatura, al rebasar esta línea se iniciará la formación de cristales  $Cu_6Sn_5$  - conocidos como  $\eta$  - los cuales se encontrarán en suspensión en el estaño líquido.

La línea DBGE es la línea de sólidos la cual nos marca la solidificación completa de la aleación, que se considera en la práctica de  $227^{\circ}C$ . Durante el enfriamiento parte del cobre se ha convertido en cristales  $\eta$ , al llegar a la temperatura de  $227^{\circ}C$  (temperatura de solidificación) la aleación tiene una proporción de cobre de 0.7% que es la eutéctica.

Una aleación conteniendo 1.5% de cobre, depositará cerca de 4% de



U. N. A. M.	DIAGRAMA DE EQUILIBRIO DEL SISTEMA Cu-Sn	
J. O. MARTINEZ	ACOTACION	ESCALA
GRAFICA No. 3	S/a	S/e

cristales  $\eta$  durante el enfriamiento y solidificación. Sin embargo, si un baño ha trabajado a  $320^{\circ}\text{C}$  y llega a saturarse de cobre, esto significa que depositará 8.6% de cristales  $\eta$ , dando como resultado un acabado superficial rugoso.

El estañado de alambre de cobre se ha llevado a cabo por muchos años en la industria eléctrica, con dos objetivos principales: El primero, para prevención de interacciones químicas entre el cobre y el hule en los cables que llevan dicha cubierta y; el segundo, para preservar la buena soldabilidad de un alambre de cobre.

El proceso de estañado por inmersión en caliente es el más usado en la industria y los conocimientos acerca de este método han sido empíricos, por esta razón Daniels (1936), se dedicó a estudiar el proceso logrando explicar alguno de los fenómenos ocurridos durante la operación, como la formación de las capas entre el cobre y el estaño, el grado de contaminación y los efectos en la aleación.

### 2.3.1 Naturaleza de la Cubierta

Con el objeto de conocer las características del compuesto formado en la cubierta de un material de cobre estañado por inmersión en caliente, se prepararon varias muestras de cobre limpias y pulidas, a las cuales se les había aplicado fundente en toda su superficie.



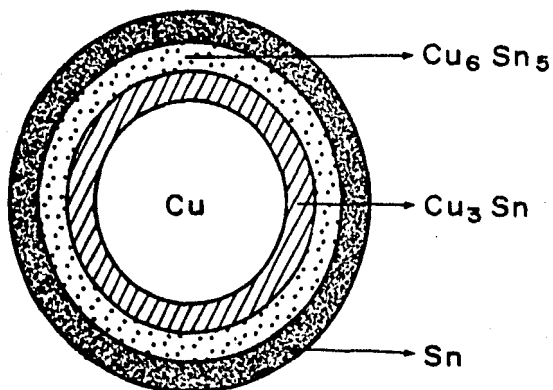
Dichas muestras fueron sumergidas en un baño de estaño puro de 5 a 8 segundos, la temperatura del baño se varió de  $250^{\circ}\text{C}$  a  $-450^{\circ}\text{C}$  con intervalos de  $25^{\circ}\text{C}$ .

En todas las muestras se encontró aunque en diferentes proporciones tres diferentes capas, a saber:

Adyacente al cobre se forma una capa o banda de aleación gris continua constituida de  $\text{Cu}_3\text{Sn}$ ; a continuación de esta, se encuentra una capa de aleación blanca  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$  y finalmente, se encuentra la capa de estaño puro. (Figura 1)

### 2.3.2 Disolución de Cobre en el Estaño Fundido

Posteriormente Daniels (1936) experimentó sobre la influencia del tiempo y la temperatura. Para tal fin introdujo en el baño de estaño fundido una barra de cobre de  $1/2$  pulgada de diámetro por 2 de largo, durante 36 minutos; al final del período tomó una muestra de 50 gramos y la vertió entre dos placas redondas de acero, las cuales fueron sumergidas en agua obteniendo un disco de estaño el cual analizó, encontrando que a una mayor temperatura existe una mayor disolución de cobre en menor tiempo.



$Cu_3 Sn$  ALEACION GRIS  
 $Cu_6 Sn_5$  ALEACION BLANCA  
 Sn ESTAÑO

U.N.A.M.	NATURALEZA DE LA CUBIERTA DEL ALAMRE ESTAÑADQ.	
J. O. MARTINEZ		
FIGURA 1	ACOTACION S/o	ESCALA S/e

### 2.3.3 Efecto del Cobre en las Cubiertas de Estaño

Se realizaron pruebas que nos muestran la influencia de diferentes proporciones de cobre en los baños de estaño, y los efectos producidos en las cubiertas, las cuales son:

#### 2.3.3.1 Baño de Estaño Puro

En el inicio de un proceso de estañado por inmersión el baño se encuentra formado en su mayor parte por estaño electrolítico con una pureza de 99.9%.

Se llevó a cabo un gran número de pruebas de inmersión en caliente en un baño de estaño fundido puro y se encontró que el depósito de estaño era irregular, con la superficie ondulada y en algunos casos se había logrado fijar pequeñas manchas de estaño.

El análisis mostró estaño puro en la superficie e interiormente algunos cristales del punto eutéctico.

#### 2.3.3.2 Baño de Estaño con Porcentaje Menor al Punto Eutéctico.

De igual forma que la descrita anteriormente pero en un baño cuya proporción de cobre era alrededor de 0.05%, se obtu

vieron muestras con la misma irregularidad en el depósito - pero con tendencias a mejorar.

El análisis mostró una mayor cantidad de cristales del punto eutéctico en la capa cercana al cobre y, estaño en la capa externa.

#### 2.3.3.3 Baño de Estaño con Porcentajes de Cobre ligeramente mayores al Punto Eutéctico.

Las muestras que se obtuvieron de esta forma fueron de un - estañado brillante, uniforme y compacto; en general con una buena calidad de cubierta.

El contenido de cobre suficientemente grande como para producir una cierta cantidad adicional Cu-Sn sobre la superficie de la muestra, formando con esto, una base o grano de - arena que al solidificar el estaño se fija a el obteniéndose buenas características.

Dado que el tener en el baño de estaño fundido una cierta - cantidad de cobre disuelto, permite obtener los beneficios explicados anteriormente, se ve la necesidad de agregar deliberadamente algo de cobre en los baños de estaño puros, - hasta obtener la proporción indicada.

#### 2.3.3.4 Baño de Estaño con Porcentajes de Cobre Mayores al Punto Eutéctico.

Las muestras se llevaron a cabo de igual forma a las descritas previamente, pero con cobre disuelto en el baño en una porción de 3 a 4%.

Las muestras obtenidas tuvieron buena adición, pero con una superficie granosa y opaca, pudiendo definirse como "defectuosa". El resultado de lo anterior se debe a que hay exceso de cobre en la solución, lo cual permite que los cristales que son insolubles se agrupen, aumentando en esa forma su tamaño. Al producirse el depósito de estaño, el estaño fundido los arrastra produciendo los efectos mencionados.

Como conclusiones de estos experimentos, podemos decir:

- Debe mantenerse la temperatura del baño lo más baja que sea posible, pues de lo contrario dará como resultado un aumento constante de la proporción de cobre en la tina del baño y, una operación inconsistente y deficiente.
- La proporción de cobre en la tina debe mantenerse de 1 a 2.5% para obtener cubiertas de buena calidad.

- Cuando la proporción de cobre rebasa estos límites es indispensable efectuar una limpieza; para tal fin se baja la temperatura hasta el punto de solidificación y, con esto eliminar la mayor cantidad posible del compuesto  $\text{Cu}_6\text{Sn}_5$ .

Si la limpieza se realiza a  $300^\circ\text{C}$  de acuerdo con el diagrama de fase, aún quedarían disueltos 2.3% de Cu mientras que a  $250^\circ\text{C}$  solo queda 1.1% de cobre. Teóricamente podría reducirse el contenido de cobre hasta 0.7% si la temperatura del baño fuera de  $227^\circ\text{C}$  (correspondiente al punto eutéctico).

Por otro lado, es factible reducir aún más el porcentaje hasta 0.4% si se incorpora al baño de estaño azúfre en flor.

## 2.4 PROCESO DE FABRICACION DE CONDUCTORES ELECTRICOS

Para la fabricación de conductores eléctricos se requiere que la barra de cobre sea sometida a diversas etapas o pasos de fabricación los cuales son:

### 2.4.1 Laminación

Es el proceso a través del cual se reduce la sección transversal de la barra, por medio de reducciones sucesivas.

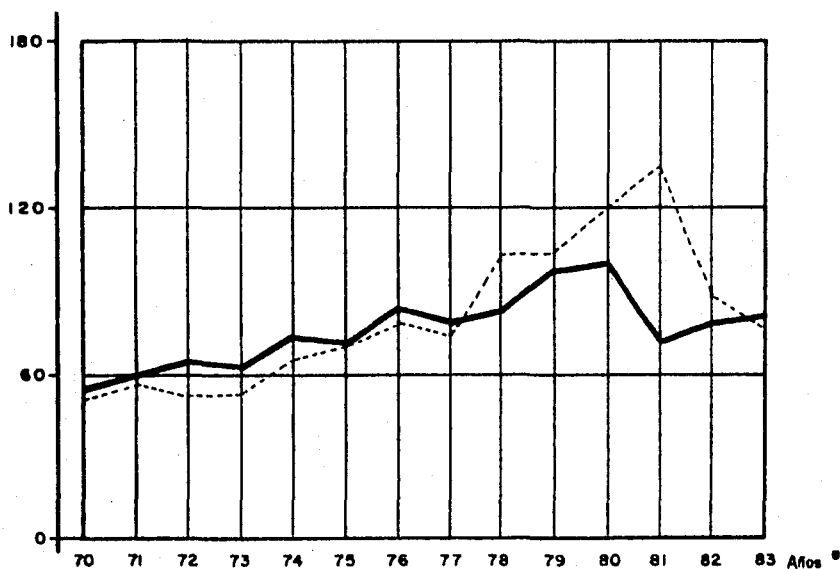
Cobre de México es la única planta refinadora en México que produce barras de cobre electrolítico con un peso de 110 Kg. y unas medidas de 12x15x120 cms. aproximadamente.

Las características de cada colada deberán ser controladas para que cumpla las especificaciones bajo las cuales se va a aprobar. De cada colada se obtienen de 80 a 120 barras.

En México el único que puede importar barras es Cobre de México ya que la industria nacional fue capaz de abastecer el mercado de cobre electrolítico hasta 1977. De este año en adelante se presentó un déficit que fue cubierto con importaciones por alrededor de 14 000 toneladas en promedio anual.

Dicha importación provino de Chile, Canadá, Japón, Bélgica y Argentina. En el año de 1983 se observa que la industria nacional es capaz de abastecer el mercado nacional, lo que da como resultado que exista un superavit (Gráfica 4)

**BALANCE DEL MERCADO DE COBRE ELECTROLITICO  
( MILES DE TONELADAS )**



— PRODUCCION  
 - - - CONSUMO  
 \* DATOS PRELIMINARES

FUENTE ASOCIACION MEXICANA DEL COBRE,  
 A. C. COBRE DE MEXICO, S. A.

U. N. A. M.	BALANCE DEL MERCADO DE COBRE ELECTROLITICO	
J. O. MARTINEZ	ACOTACION S/e	ESCALA S/e
GRAFICA No 4		



El proceso de laminación comienza por calentar un horno de proceso continuo en tal forma que las barras alcancen una temperatura de  $910^{\circ}\text{C}$ , en una atmósfera ligeramente oxidante, pues tanto el hidrógeno como el monóxido de carbono, reducen el oxígeno que se deja intencionalmente en el cobre para mejorar su maleabilidad.

Una vez que la barra alcanza la temperatura deseada, se extrae la barra y se lleva a los rodillos de laminación, donde sufre reducciones sucesivas en su sección transversal hasta alcanzar las medidas finales requeridas para los siguientes pasos del proceso. Estas medidas son:

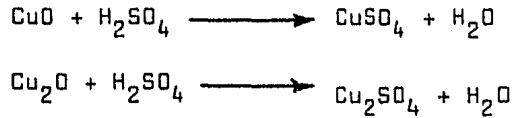
5/8", 1/2", 3/8" y 5/16", con una longitud aproximada de 62.5 m, 90.14 m, 173.0 m y 250.0 m respectivamente. La temperatura de salida del alambón es de  $700^{\circ}\text{C}$ .

Las chumaceras de la laminadora lo mismo que las ranuras de los rodillos por donde pasa la barra, son enfriados con agua, haciendo con esto una atmósfera húmeda que facilita la oxidación superficial del cobre que se encuentra a alta temperatura.

Los rollos de alambón negro que se obtienen están oxidados en la superficie. Estos son sometidos a un proceso llamado decapado, el cual consiste en sumergir los rollos en tinas que contienen ácido sulfúrico diluido a una temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$  y un

cierto tiempo de residencia.

La reacción es la siguiente:



Posteriormente son lavados con agua a presión y se sumergen en tinas que contienen una solución de bitartrato de potasio, obteniendo así un alambrrn limpio y neutro y protegido de oxidaciones posteriores.

Es indispensable llevar a cabo estas dos últimas operaciones, puesto que si quedan residuos de ácido sulfúrico en la superficie del alambrrn, en el siguiente paso del proceso (estirado) contaminará al lubricante y provocará corrosión en las máquinas de estirado.

#### 2.4.2 Etapa de Estirado

Una vez que el alambrrn ha sido decapado (libre de óxido), se estira en frío; lo cual consiste en hacer pasar el material (alambrrn de cobre o aluminio) a través de orificios de menor diámetro conocidos como dados. Con estas reducciones -

sucesivas en su sección transversal, se obtiene consecuentemente un aumento en la longitud del material.

La tracción del alambron se hace por medio de poleas, las cuales requieren absorber el incremento en la longitud del material; esto se logra aumentando la velocidad tangencial en forma proporcional a las reducciones en el área. La velocidad se puede variar con poleas de diferentes diámetros o en su defecto con poleas de iguales dimensiones, pero con transmisión mecánica que aumente la velocidad requerida.

Por lo tanto, las máquinas estiradoras consisten básicamente de: soportes para dados y poleas de tracción. En el mercado de máquinas estiradoras se encuentran aquellas que dan de una a veinte reducciones consecutivas.

Los dados usados en calibres gruesos e intermedios son de carburo de tungsteno y en calibres finos se emplea de diamante.

Las máquinas estiradoras americanas se diseñan de manera que efectúen reducciones sucesivas de aproximadamente 20.5% en su sección transversal, que equivale a una unidad en el sistema de la American Wire Gage (AWG) .

Al pasar el cobre por los dados, se genera una gran cantidad -

de calor debido a la fricción que presenta el material al paso. Para contrarrestar esto se emplea una solución de estirado compuesta de agua y grasa soluble (emulsión), a temperatura constante; dicha solución circula dentro de la máquina estiradora y la función de ésta es servir como lubricante y sistema de enfriamiento de los dados.

El alambrón que se obtiene en el proceso de laminación se considera suave y es el material de alimentación de las estiradoras gruesas, éstas en su trabajo de reducción de área y tracción van dándole al cobre un endurecimiento, de tal manera que el producto obtenido después de pasarlo por siete o más dados, es un alambre duro y tiene las características de este en su carga de ruptura, por ciento de elongación y conductividad.

De lo anterior se deduce que es posible obtener tres temple diferentes en las estiradoras de grueso y son:

- Duro: Solo se estira el cobre y se obtiene este temple.
- Semiduro: Se pasa el alambre por un juego de poleas formando un ocho después de ser estirado, y el calentamiento que se genera al pasar por éstas permite obtener un material más suave.

- Suave: El alambre se somete a un tratamiento térmico después de haber sido estirado. A este tratamiento se le conoce como recocido.

Con los dos últimos temples se continua por lo regular, el proceso de estirado a calibres más finos.

#### 2.4.2.1 Sistema de la American Wire Gage para la Medición de Alambres. (AWG).

Es un sistema de medición de alambres muy utilizado en Estados Unidos, Inglaterra y también se utiliza en México en forma oficial por la Dirección General de Normas. Fue ideada por el Sr. J. R. Bron en 1857, razón por la cual anteriormente era conocida como la Bron and Sharpe Gage (B&S).

La escala se formó fijando dos diámetros extremos asignando, calibre 36 AWG a 0.0050" de diámetro y 0000(4/0) AWG a 0.4600" de diámetro.

Los diámetros intermedios están formados por una progresión geométrica, en donde cada diámetro está dado por el producto de una constante y el diámetro inmediato inferior.

Por ejemplo:

Calibre 35 AWG

$$d_{35} = K \cdot d_{36}$$

Calibre 16 AWG

$$d_{16} = K^4 \cdot d_{20}$$

Cálculo de la Constante:

$$d_{40} = K^{39} \cdot d_{36}$$

$$K^{39} = \frac{d_{40}}{d_{36}}$$

$$K^{39} = \frac{0.4600''}{0.0050''} = 92$$

$$K = \sqrt[39]{92} = 1.12293$$

Aunque el sistema originalmente comprendía de 36 AWG a 4/0 AWG, las necesidades industriales han obligado a la extensión de ambos extremos del sistema primitivo y actualmente es usual trabajar con calibres 44 AWG en diámetros pequeños. Para calibres superiores no se designa con ceros, sino con milésimas circulares de la sección transversal.

Milésima Circular es la unidad que representa el área de un círculo cuyo diámetro es 0.001", tal círculo tiene área de 0.705 milésimas cuadradas.

Para grandes secciones suele emplearse la unidad práctica -

designada como KCM que equivale a mil milésimas circulares.

El sistema AWG tiene la gran ventaja de que sus dimensiones representan los pasos sucesivos en el proceso de estirado de alambre.

Hay una serie de reglas aproximadas de gran utilidad, aplicables a la escala de calibres AWG, es la siguiente:

1. El incremento de tres números en el calibre (del 36 al 33 AWG) duplicará el área y el peso, además de reducir la resistencia eléctrica a la mitad.
2. El incremento de seis números en el calibre (del 36 al 30 AWG) duplicará el diámetro.
3. El incremento de diez números en el calibre (del 36 al 26 AWG) multiplica el área y el peso por diez y, divide entre diez la resistencia.

#### 2.4.3 Recocido

En el proceso de estirado el cobre en cada reducción va adquiriendo una mayor dureza, ésta se debe a la orientación que va adquiriendo la estructura cristalina en el sentido de estirado,

por lo que es conveniente recristalizar la estructura molecular. Dicha recristalización se hace por medio de un tratamiento térmico llamado Recocido.

Se llama Recocido a la acción de caldear los metales para adquirir de nuevo la ductilidad o temple que suele perder al trabajarlo.

Para el recocido de cobre puro se requiere temperaturas que varían de  $250^{\circ}\text{C}$  a  $450^{\circ}\text{C}$ , pero la temperatura exacta depende de varios factores como:

El tiempo de proceso, la dureza del material por recocer y el calibre del alambre.

El cobre expuesto a las condiciones atmosféricas normales se oxida ligeramente en su superficie, pero esta película de óxido evita que se lleve a cabo una oxidación progresiva.

A temperaturas superiores a  $1000^{\circ}\text{C}$  el cobre se oxida aún en atmósfera seca, por esta razón al recocer el cobre es necesario preservarlo de una atmósfera libre de oxígeno.

El recocido es una parte importante en la industria del cobre, y se han desarrollado técnicas diversas para dar el tratamiento técnico adecuado al metal.

A continuación se mencionan los equipos de recocido más usuales:



1. Horno de Vacío. Constituido de una campana hermética con vacío en su interior y un sistema de calentamiento a través de resistencias eléctricas.
2. Horno de Gas Inherte. Campana hermética con inyección de gas inherte y un sistema de calentamiento a través de resistencias eléctricas.
3. Recocedor Electroresistivo. Consiste en hacer pasar el alambre duro que sale de las estiradoras a través de un juego de poleas con diferente potencial, uniéndolas eléctricamente; la energía eléctrica que pasa a través del alambre es convertida en calor y con este es recocido el alambre. El cobre deberá protegerse de la oxidación, para esto, se rodea de una atmósfera de vapor de agua.

Todos los recocedores enumerados producen alambres suaves que cumplen con los requisitos impuestos por las normas. Pero cada sistema tiene ventaja que lo hace que aún se mantenga en uso.

#### 2.4.4 Cableado

Una vez obtenido los alambres estos son cableados para formar la cuerda del conductor.

Se conoce como cableado a la unión de varios hilos de cobre - desnudo.

Cuando se requiere conductores de diámetros grandes y con cierta flexibilidad, sería incomodo y poco apropiado utilizar una pieza compacta de cobre por su poca flexibilidad y manejo, por lo cual, cuando se requiere de un conductor flexible, este se forma de alambres delgados que juntos integran el área del conductor deseado.

Por lo tanto, definiremos:

- Alambre: A un filamento sólido y redondo, cuya longitud es muy grande en comparación a su diámetro.
- Cable: A la reunión de tres o más alambres que son sometidos a una torsión con un paso determinado.

El tipo más sencillo es el cable en haz, cuyos alambres van reunidos al azar, es decir son asimétricos y se emplea cuando el cable lleva un gran número de alambres de diámetro pequeño, además de requerir gran flexibilidad.

Cuando los alambres son de mayor diámetro la torsión de los mismos se efectúa generalmente en capas concéntricas alrededor

de un núcleo pudiendo ser este de uno o más alambres; a la cuerda así obtenida se le conoce como conductor simétrico.

La cableadora es la máquina utilizada para la fabricación del conductor eléctrico concéntrico y puede ser de tres tipos: Tubular, Planetaria y Rígida.

Todas ellas básicamente colocan alrededor de un núcleo capas helicoidales, formando con esto coronas de alambres cuyo número de hilos será múltiplo de seis (Tabla y Anexo 4)

Los cables concéntricos así fabricados pueden ser duros, semi-duros o suaves, dependiendo del temple del alambres que los componga y de la construcción del mismo.

#### 2.4.5 Extrusión

Para emplear los alambres y cables generalmente se requiere que se encuentren aislados, esto es con alguna protección eléctrica o mecánica.

Para dicha protección se ha desarrollado una gran cantidad de materiales, entre estos podemos citar a los plásticos, polietilenos y hules, cada uno con características particulares que lo hacen más apropiado en aplicaciones específicas por sus pro

Tabla 4. NUMERO DE HILOS ALREDEDOR DE UN NUCLEO  
PARA FORMAR UN CONDUCTOR SIMETRICO

Capas	# de Alambres Múltiplos de 6	Cable Formado Por
0 Capa	1 Alambre	1 Alambres
1a Capa	6 Alambres	7 Alambres
2a Capa	12 Alambres	19 Alambres
3a Capa	18 Alambres	37 Alambres
4a Capa	24 Alambres	61 Alambres
5a Capa	30 Alambres	91 Alambres

CONDUCTOR SOLIDO

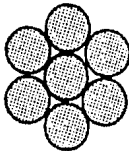


CABLE DE 37 HILOS



1-6-12-18

CABLE DE 7 HILOS



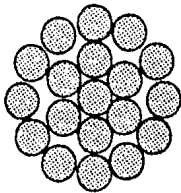
1-6

CABLE DE 61 HILOS



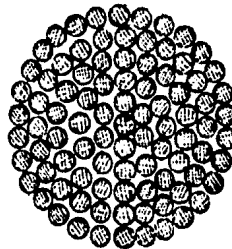
1-6-12-18-24

CABLE DE 19 HILOS



1-6-12

CABLE DE 91 HILOS



1-6-12-18-24-30

U. N. A. M.	NUMERO DE HILOS AL REDEDOR DE UN NUCLEO	
J. O. MARTINEZ		
ANEXO TABLA 4	ACOTACION S/a	ESCALA S/e

propiedades dieléctricas, mecánicas, químicas, térmicas y económicas.

Estos materiales se aplican en forma de chaqueta continua por medio de extrusoras o tubuladoras; dichas máquinas varían lógicamente, por su capacidad y por el material que aplican, pero el principio de operación es igual en todas ellas y consiste en:

Una tolva, cuya descarga esté colocada al principio del tornillo sinfin con movimiento de rotación uniforme (regulable); un envolvente de acero debidamente ajustado y calentado por resistencias eléctricas; una cabeza que se encuentra situada en el otro extremo del envolvente, la cual es desmontable, y en su interior se hayan dispuestas una guía y un dado.

El material aislante viene en forma de pellet o cinta y se alimenta a través de la tolva, el tornillo sinfin transporta el material hacia el otro extremo; en la trayectoria el material se comprime con las características propias de la hélice del tornillo, recibiendo el calor suministrado por las resistencias además del trabajo mecánico que sufre el material. Debido a estas condiciones el material adquiere un estado plástico.

El conductor se hace pasar por la cabeza a través de la guía y

el dado a una velocidad constante, el compuesto en estado plástico fluye y se va aplicando alrededor del conductor, siendo el dado el que proporciona la forma de la cubierta.

El espesor de la cubierta varía en función de la velocidad de rotación del tornillo, de la velocidad del conductor y de las dimensiones del dado.

Para el plástico y el polietileno se encuentra adelante de la cabeza, un canal que contiene agua en circulación, con el objeto de enfriar el material y con ello adquiera una forma estable.

Para los hules y compuestos vulcanizables se encuentra adelante de la cabeza, un tubo de acero inoxidable que tiene la forma de la catenaria del conductor aislado, el cual contiene vapor a presión.

Una vez extruído el aislamiento sobre el conductor, este pasa a través del tubo de vulcanización donde el material es vulcanizado.

Al terminar el canal o el tubo de vulcanización, se encuentra un probador de chispa con el que se somete a la cubierta aislante a una prueba dieléctrica.

A continuación se encuentra una polea de tracción que jala a -  
velocidad uniforme el conductor aislado y entrega al enrollador  
donde se encuentra el carrete de recibo. (Gráfica 5).



**PROCESO DE FABRICACION DE CONDUCTORES ELECTRICOS**

LAMINADO	RESTRIRADO	CABLEADO	ISLAMIENTO	ESMALTADO	APLICACION DE PANTALLA	REUNIDO	APLICACION DE RELLENO	APLICACION DE SEPARADOR ARMADURA	FORRADO FINAL	MEDICION Y EMPAQUE
 LINGOTE		 DURO	 TUBULADO PVC			 CONTROL			 TUBULADO NYLON	 MEDICION
 (800 g)	 GRUESO		 TUBULADO POLIETILENO						 TUBULADO PVC	 EMPAQUE
 LAMINADO	 FLEXIBLE	 FLEXIBLE	 FORRADO PAPEL ALCOBON			 POTENCIA	 TUBULADO PVC	 MYLAR AEREO	 TUBULADO POLIETILENO	 CARRETE
 DECAPADO	 FINO		 FORRADO PAPEL ALCOBON	 VERTICAL	 ALAMBRE O DINTA DE COBRE				 PLOMO	 PESA
 RASURADO		 SUPER FLEXIBLE		 HORIZONTAL MAGNETO	 ALAMBRE O DINTA DE COBRE	 TELEFONICO				 CARRETE
<b>PRODUCTOS TERMINADOS ●</b>										
ALAMBRON	ALAMBRE DESNUDO	CABLE DESNUDO	ALAMBRES Y CABLES FORRADOS	ALAMBRE MAGNETO	VULCANEL XLP-DRS VULCANEL	CABLES TRIPLEX CABLES TELEFONICOS Cordon Distribuidor	CABLES PARA MINAS Armados	CABLES ALTA TENSION CABLES BAJA TENSION Cable Telefonico Trifasico Electronico		
U. N. A. M	PROCESO DE FABRICACION DE CONDUCTORES ELECTRICOS									
J. O. MARTINEZ	ACOTACION	ESCALA								
GRAFICA No. 5	S/s	S/s								

## 2.5 CONDUCTORES DE COBRE ESTAÑADO

La fabricación de conductores de cobre estañado se puede llevar a cabo de dos formas a saber:

- Inmersión en Estaño Fundido
- Depositación Electrolítica

En la planta de Condumex, el proceso que se lleva a cabo es el de estañado por inmersión, razón por la cual nos enfocaremos a este.

El proceso basicamente consiste en pasar el alambre de cobre a través de una tina que contiene estaño fundido, pero el producto tan solo así obtenido, no cumple con los requerimientos que solicita la industria.

El estañado de los conductores eléctricos obedece por un lado, a la necesidad de preservar al conductor de cobre del posible ataque del azúfre; dicho ataque se debe al contenido de azúfre en los hules, con que se aisle al conductor, necesario éste para su vulcanización.

En el proceso se desprende ácido sulfhídrico, que al entrar en contacto con el cobre forma sulfuros. El ataque continuo de este ácido al conductor hace que sus propiedades mecánicas y eléctri -

cas se vean mermadas, llegando a causar fallas en la operación del cable.

Por otro lado, es necesario tener alambre de cobre estañado debido a que las industrias consumidoras de conductores eléctricos requieren que se les facilite al máximo el proceso de soldadura; ya que la mayoría cuenta con el método de soldadura por simple inmersión, en el cual se aplica la soldadura fundida.

El proceso de estañado de cobre es el acopio de técnicas que se han desarrollado a lo largo del tiempo; es preciso, que el alambre satisfaga exigencias severas como:

Aspecto brillante, espesor de capa uniforme en todos sus puntos, exento de porosidades, resistencia mecánica apropiada y buena soldabilidad.

#### 2.5.1 Factores que Influyen para Obtener un buen Estañado.

Uno de los estudios más completos sobre el tema es el que llevó a cabo Chalmers (1936), quién dió a conocer los factores predominantes para un buen estañado, estos son:

- Acabado de la Superficie
- Efecto del Tiempo y Temperatura en el Proceso
- Presencia de Cobre en el Baño

Antes de explicar cada uno de estos factores se debe tomar en cuenta el grado de humectación.

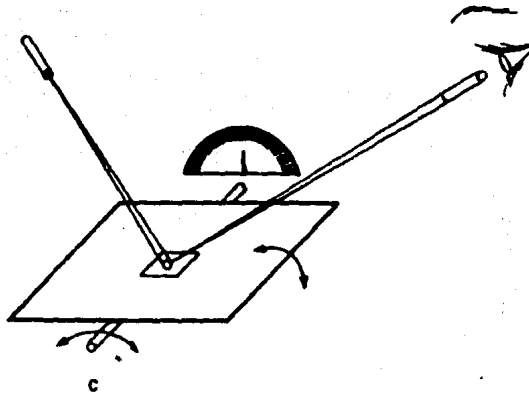
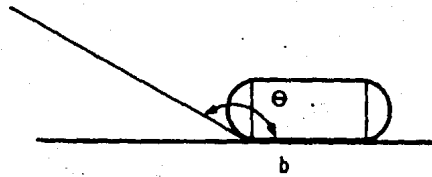
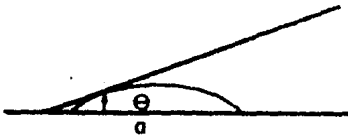
El grado de humectación es una manifestación de las fuerzas de tensión superficial. El grado que moja un líquido la superficie de un sólido (humectación), está dado por el ángulo de contacto ( $\theta$ ) entre ellos. Si el ángulo de contacto  $\theta$  (Figura 2) es cero, el líquido se extiende sobre la superficie del sólido pero si el ángulo es  $180^\circ$ , el líquido se contrae hasta formar una gota. De lo anterior se puede decir, que el ángulo de contacto relaciona el grado de humectación de un líquido.

#### 2.5.1.1 Efecto de la Superficie Acabada

Con el objeto de investigar la influencia de la superficie acabada se prepararon varias muestras desengrasándolas con sosa cáustica en caliente, posteriormente fueron sumergidas por un tiempo determinado que fue creciendo para cada una de ellas en una solución de ácido clorhídrico.

Una vez listas fueron sumergidas en el baño de estaño por un tiempo determinado, las cuales se sacaron y se dejaron enfriar. A cada muestra se le midió el ángulo de contacto del estaño sobre el cobre, obteniéndose los resultados que se muestran en la Gráfica 6.

## ANGULO DE CONTACTO FORMADA ENTRE DOS SUPERFICIES

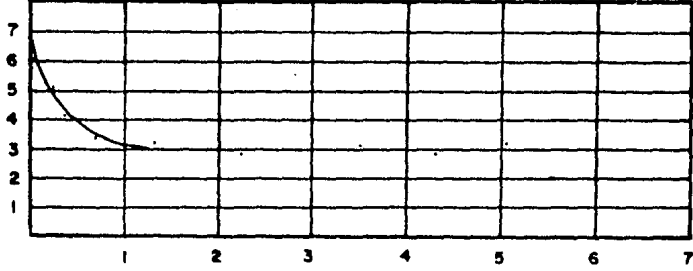


U. N. A. M.	ANGULO DE CONTACTO FORMADA ENTRE DOS SUPERFICIES	
J. O. MARTINEZ		
FIGURA 2	ACOTACION 3/e	ESCALA 3/e



**EFFECTO DEL TIEMPO DE ATAQUE DE LA SUPERFICIE, EN ACIDO**

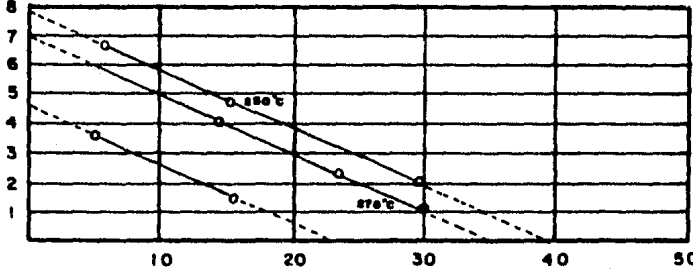
⊖  
ANGULO DE CONTACTO



MIN.

**EFFECTO DEL TIEMPO Y DE LA TEMPERATURA**

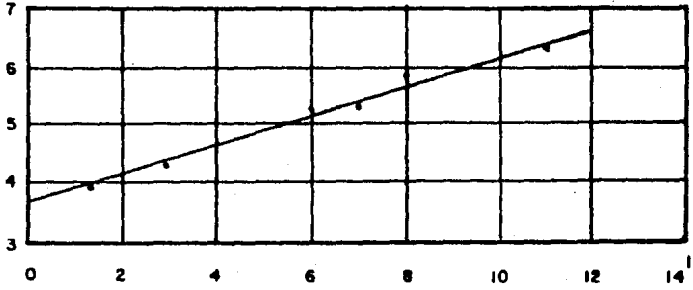
⊖  
ANGULO DE CONTACTO



SEG.

**EFFECTO DEL COBRE DISUELTO EN EL BAÑO DE ESTAÑO**

⊖  
ANGULO DE CONTACTO



NUMERO DE INMERSIONES

U. N. A. M.	COMPORTAMIENTO DEL ANGULO DE CONTACTO	
J. O. MARTINEZ		
GRAFICA No. 6	ACOTACION S/e	ESCALA S/e

Analizando la gráfica se puede decir que existe un tiempo - óptimo de ataque y que al aumentar este no se obtiene ningún beneficio.

#### 2.5.1.2 Efecto del Tiempo y de la Temperatura

Para conocer el efecto del tiempo de inmersión y la temperatura del estaño fundido, con relación al ángulo de contacto, se prepararon varias muestras desengrasandolas y decapandolas como se describió anteriormente.

Las muestras fueron sumergidas en el baño de estaño fundido un determinado número de segundos los cuales fueron aumentando para cada una de ellas, manteniendo fija la temperatura hasta completar una serie. Posteriormente se incrementó la temperatura del baño para obtener otra serie.

A cada muestra se le midió el ángulo de contacto del estaño sobre el cobre obteniendo los resultados que se muestran en la gráfica 6.

Analizando la gráfica se puede concluir que al aumentar la temperatura del baño de estaño y, el tiempo de residencia de la muestra, disminuye el ángulo de contacto.

### 2.5.1.3 Efecto del Cobre disuelto en el Baño de Estaño

Para conocer el efecto del cobre disuelto en el baño, se sumergieron sucesivamente las muestras en el mismo baño, siendo limitada éstas a veinte, ya que después el baño adquiere una consistencia pastosa por la presencia del cobre. Los resultados de lo anterior se muestran en la Gráfica 6.

Analizando la gráfica se puede concluir que al aumentar la concentración del cobre disuelto en el baño, aumenta el ángulo de contacto, es decir, disminuye el mojado del líquido sobre el sólido.

Conclusión de los resultados obtenidos:

- El ángulo de contacto es una medida numérica de la tendencia a la humidificación, es decir, existe una relación inversa: a mayor ángulo de contacto menor humidificación.
- La eliminación de grasas y óxidos de la superficie del cobre, da como resultado la disminución del ángulo de contacto.
- Al aumentar la temperatura del baño de estaño, disminuye el ángulo de contacto.



- El aumento de la disolución del cobre en el baño de estaño fundido aumenta el ángulo de contacto.

oficial encargado de proveer a la industria de especificaciones y pruebas. En colaboración con la DGN en el campo de la Industria Eléctrica un grupo de empresarios de gobierno y particulares ha formado el CCONNIE, el cual se basa en las normas de la ASTM.

La norma para alambres de cobre estañado de uso eléctrico, es la B-33-81 de la ASTM.

#### 2.6.1 Descripción de la Norma B-33-81

##### MATERIAL

**Estaño:** El estaño usado para cubiertas debe ser comercialmente puro. Para los propósitos de esta especificación, se considera comercialmente puro si el total de otros elementos excluyendo al cobre, no excede del 1%.

**Cobre:** El cobre para uso eléctrico deberá ser cobre electrolítico el cual deberá cubrir las especificaciones B-5 de la ASTM.

##### REQUERIMIENTOS GENERALES

#### 2.6.1.1 Prueba de Elongación

El alambre estañado debe estar de acuerdo a los requerimien

tos de la Tabla 5 para elongación.

La prueba se lleva a cabo en una máquina, donde se coloca un alambre entre dos mordazas que tienen una separación de 10 plg. El diámetro nominal del alambre debe ser mayor a 0.0808 plg. Al tensionarse el alambre se incrementará la longitud hasta el punto de ruptura.

La elongación se expresa en porcentaje de aumento en su longitud, antes de la ruptura.

#### 2.6.1.2 Prueba de Resistividad Eléctrica

La resistividad eléctrica del alambre de cobre estañado a 20°C, no deberá exceder de los valores de la Tabla 6.

La resistividad eléctrica de un material deberá ser determinada de acuerdo con el método 8-193 de la ASTM, en un puente de Kelvin o equivalente, debiendo tener las características de un cobre suave.

#### 2.6.1.3 Dimensiones y Variaciones Permitidas en los Diámetros

Las medidas de los alambres deberán referirse a los diámetros y, estar expresada en fracción decimal de pulgada con

**Table 5. ELONGACION DE ALAMBRE DE COBRE ESTAÑADO**

Diámetro en in	Area en in <sup>2</sup> a 20° C	%*
0.0031 a 0.0100	7.55 x 10 <sup>-6</sup> a 7.85 x 10 <sup>-5</sup>	10
0.0113 a 0.0201	1.00 x 10 <sup>-4</sup> a 3.17 x 10 <sup>-4</sup>	15
0.0226 a 0.1019	4.01 x 10 <sup>-4</sup> a 8.16 x 10 <sup>-3</sup>	20
0.1144 a 0.2893	1.03 x 10 <sup>-2</sup> a 6.57 x 10 <sup>-2</sup>	25
0.3249 a 0.4600	0.08291 a 0.1662	30

(\*) Porcentaje de Elongación mínima en 10 pulgadas

**Tabla 6. DIAMETRO NOMINAL EN PULGADAS**

Diámetro Nominal en pulgadas	Resistividad a 20 <sup>o</sup> C lb/milla
0.4600 a 0.2900	896.15
abajo de 0.2900 a 0.1030	900.77
abajo de 0.1030 a 0.0201	910.15
abajo de 0.0201 a 0.0111	929.52
abajo de 0.0111 a 0.0030	939.51

una aproximación de 0.0001 (0.1 mil ó 0.025 mm). El alambre no deberá variar más de lo anotado en la Tabla 7.

Las medidas deberán ser hechas con un micrómetro, equipado con Vernier graduado en 0.0001 plg. Se llevará a cabo tres diferentes medidas en distintos sitios de la muestra, de preferencia en los extremos y en medio. El promedio de las tres medidas deberá cumplir con los requerimientos establecidos en la Tabla 7.

#### 2.6.1.4 Continuidad de la Cubierta

La cubierta debe ser continua sin grietas ni poros. Deberán tomarse muestras representativas después de ser tableadas o aisladas. La continuidad del estañado se determina con pruebas en ácido clorhídrico y polisulfuro de sodio.

Se corta una muestra de alambre estañado de seis plgs. de longitud la cuál deberá ser sumergida en un solvente orgánico como benceno, éter, etc., por espacio de tres minutos y, se seca con un trapo limpio y suave. Posteriormente la muestra deberá ser sumergida en una solución de HCl (grado comercial diluida con agua destilada) durante un minuto, la muestra se saca y se lava con agua y, se seca con un trapo limpio y suave.

**Tabla 7. VARIACION PERMISIBLE EN EL DIAMETRO DEL ALAMBRE**

Diámetro nominal del alambre en Pulgadas	Variación Permisible en el Diámetro	
	MAS	MENOS
abajo 0.0100	0.0003 plg.	0.0001 plg.
0.0100 y arriba	3%	1%

A continuación la muestra es sumergida por espacio de 30 segundos en una solución saturada de polisulfuro de sodio. Se lava y seca con un trapo limpio y suave.

Finalmente la muestra deberá ser examinada cuidadosamente, pues si el cobre ha quedado descubierto se ennegrece por la acción del polisulfuro de sodio. Puede decirse que la muestra se acepta si la superficie se presenta libre de cualquier mancha por tener cubierta continua.

#### 2.6.1.5 Adherencia de la Cubierta

La cubierta de estaño deberá estar firmemente adherida a la superficie del cobre, las muestras para la prueba se tomarán después de haberse cableado o aislado.

La adherencia se determinará enrollando el alambre en un mandril de un diámetro determinado que es función del diámetro del alambre a probar, posteriormente sumergido en una solución de polisulfuro de sodio.

La adherencia de la cubierta se determina cortando una muestra de alambre estañado de 12 plgs. de longitud, la cual deberá ser sumergida en un solvente orgánico como benceno, éter, etc., por espacio de tres minutos, se seca con un tra



po limpio y suave.

A continuación se enrolla cuidadosamente con una hélice - abierta sobre un mandril pulido cuyos extremos se han redondeado y cuyo diámetro no exceda de cuatro veces el diámetro del alambre. Teniendo el cuidado que las espiras queden separadas aproximadamente un diámetro del alambre.

Para alambres de 0.021 plgs. de diámetro y menores, deberán hacerse no más de seis espiras; para mayores de 0.021 plgs. deberán hacerse no más de tres espiras. Posteriormente el alambre se saca del mandril y se sumerge la hélice dentro de una solución de polisulfuro de sodio por espacio de 30 segundos, se lava y se seca.

Finalmente la muestra se examina cuidadosamente; si presenta grietas que se hayan vuelto negras por acción del polisulfuro de sodio, la muestra ha fallado por haber quedado descubierto el cobre.

#### 2.6.1.6 Soldadura

Se permite hacer el número de soldaduras que se requieran - en el alambón o alambre, para dar una longitud apropiada, antes del estirado final y de acuerdo con las mejores prác-

ticas comerciales.

#### 2.6.1.7 Apariencia

La cubierta consistirá de una capa lisa, continua y firmemente adherida a la superficie del cobre. El cual deberá ser libre de toda imperfección de acuerdo con las mejores prácticas comerciales.

Las muestras se tomarán de acuerdo a lo producido y se analizarán visualmente aplicando el criterio para clasificar defectos encontrados.

En la Tabla 8 se indica como muestrear de acuerdo al número de unidades de un determinado lote.

**Tabla 8. TIPO DE MUESTREO PARA LLEVAR A CABO A LOS LOTES FABRICADOS**

Unidades del lote	Número de muestras	Defectos
1 a 30	a todos	0
31 a 50	30	0
51 a 100	37	0
101 a 200	40	0
201 a 300	70	2
301 a 500	100	2
501 a 800	130	4
800 e más	55	4

I I I . A N A L I S I S D E L P R O C E S O  
Y D E S C R I P C I O N

### III. ANALISIS DEL PROCESO Y DESCRIPCION

#### 3.1 DESCRIPCION DEL PROCESO DE ESTAÑADO

El proceso para estañar el alambre de cobre por inmersión, consiste de tres etapas fundamentales:

- Tratamiento previo del alambre
- Operación de estañado del alambre
- Tratamiento final del alambre estañado

##### 3.1.1 Tratamiento Previo del Alambre

La mayor parte de los alambres por estañar son obtenidos de máquinas estiradoras que cuentan con recocedor electroresistivo, en éste, el alambre elimina prácticamente toda la grasa de estirado obteniendo así una superficie limpia. La otra manera de obtener alambres pero en menor porcentaje, es estirar el cobre y formar pilas de material para recocer en un horno de vacío o gas inerte y obtener un cobre de la misma calidad que el anterior.

En ambos casos se obtiene un material limpio y brillante, sin embargo se pasa el material por una solución decapante para eliminar la película de óxido que pudiera existir sobre el alambre.

El ácido que se emplea como solución decapante es el ácido sulfúrico, con una concentración de 15 a 20% a una temperatura de 60°C e insuflación de aire. Las condiciones anteriores permiten obtener el decapado (eliminación de óxido) del alambre en un lapso de tiempo más corto. La ventaja del ácido es que no produce vapores tóxicos y no ataca la superficie del metal.

Conforme se emplea la solución su concentración va disminuyendo y el contenido de sulfatos va aumentando, por lo que, es indispensable establecer un control que nos indique el tiempo - efectivo del ácido. Cuando la solución llega a tener en disolución 50 g. de cobre por litro debe cambiarse o activarse.

Las plantas que se dedican a la fabricación de conductores eléctricos cuentan con el proceso de laminación para estirar la barra de cobre electrolítico y obtener alambrón que pasará posteriormente a ser decapado con la solución de ácido sulfúrico.

Para recuperar el cobre disuelto en dicha solución y al mismo tiempo regenerar esta, se cuenta con instalaciones apropiadas para llevar a cabo el proceso de electrólisis. Dicho sistema se emplea para hacer el cambio de decapante del proceso de estañado.

El alambre previamente tratado (decapado o recocido) aparentemente presenta una superficie limpia, pero por efectos del oxígeno se forma, en un tiempo mínimo una película tenue de óxido impidiendo el estañado uniforme.

Para la eliminación de ésta película de óxido se ha probado un gran número de compuestos químicos que eliminan dicha oxidación y protegen el cobre hasta el momento que es sumergido al estaño líquido.

El más usado es el cloruro de zinc ( $ZnCl_2$ ) que se diluye en agua blanda a la cual se le agrega un agente humectante para obtener un mojado uniforme del alambre al ser sumergido en forma continua a través de esta operación.

### 3.1.2 Operación del Estañado del Alambre

El alambre hasta este paso, se encuentra libre de óxidos y grasas de la superficie, por lo tanto, esta en condiciones de recibir la película de estaño.

La operación se lleva a cabo haciendo pasar el alambre a través de una tina que contiene estaño fundido, inmersores y dosificadores. El inmersor sirve para sumergir el alambre en el baño a cierta profundidad y el dosificador, como su nombre lo dice, para regular la película de estaño.

La calidad del alambre de cobre estañado y la consistencia de la operación, depende de varios factores que deben considerarse adecuadamente, a saber:

Temperatura de trabajo, diámetro del alambre y longitud inmersa.

Para valorar adecuadamente la influencia de estos factores debemos considerar lo expuesto en los puntos 2.3 y 2.5 , en donde se describe la teoría de estañado, la cual se puede resumir así:

- Humectación del Cobre por el Estaño, en función de la Temperatura.

El estaño fundido a mayor temperatura disminuye su viscosidad y tensión superficial, permitiendo así que el cobre sea mojado más rápidamente y con esto obtener la formación de la película de estaño sobre el alambre.

- Humectación del Cobre por el Estaño, en función de la Pureza del Baño.

El baño de estaño admite una pequeña cantidad de aleación Cu-Sn; cuando esta se excede de ciertos límites se produce un baño viscoso y como consecuencia una menor humectación lo cual retarda



la formación de la película.

- Disolución del Cobre en el Baño, en función de la Temperatura.

Se puede decir que el cobre se disuelve en el baño de estaño en cualquier proporción y a temperaturas elevadas acelera su disolución.

La disolución excesiva de cobre produce alambre opaco, granoso, y con propiedades de baja soldabilidad. Además origina problemas en la operación debido a la formación tanto en el fondo como en las esquinas de la tina de una capa pastosa originada por cristales de  $Cu_6Sn_5$  que impide la inmersión profunda del alambre.

- Formación de la Película de Compuesto Cu-Sn en función de la temperatura.

A mayor temperatura del baño de estaño la viscosidad del mismo disminuye, lo cual origina que el estaño escurra fácilmente y con ello al salir del baño hacia el dosificador ocasione que se forme una película delgada y excéntrica.

Como se ve en el punto 2.3, al estañar el cobre se ha detectado que se forma indistintamente tres capas de composición dife

rente formando esta la película de estaño; la primera de adentro hacia afuera es  $Cu_3Sn$ , la segunda de  $Cu_5Sn_6$  y la tercera de estaño puro. La formación de las dos primeras facilita la adición de la tercera, confiriendo al alambre propiedades de adherencia y flexibilidad, pero le resta soldabilidad.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente algunos argumentos se encuentran en contraposición, ya que por un lado, para obtener una operación consistente se debe tener un baño a baja temperatura, pero algunas propiedades importantes del alambre se obtienen con altas temperaturas; por otro lado el tiempo de residencia del alambre en el baño de estaño, es importante ya que mientras más tiempo permanezcan en contacto estos elementos, la humectación del estaño al alambre será mayor, facilitando con esto la formación de las capas de aleación más gruesas, y por lo tanto una mayor disolución del cobre en el baño.

Lo anterior da como resultado que el baño sea contaminado más rápidamente. Por lo que es indispensable encontrar el punto de equilibrio de los tres elementos en juego: la temperatura del baño, tiempo de inmersión y longitud de la tina.

### 3.1.3 Tratamiento final del Alambre

Una vez que el alambre ha salido del dosificador con la película

la de estaño, es indispensable enfriarlo, de no hacerlo así al ser recibido en el carrete se pegará por la consistencia pastosa del estaño.

Es usual que para calibres delgados se enfrie en el trayecto al embobinador, colocando sopladores de aire que abatan la temperatura del alambre de tal forma que la película de estaño haya tomado consistencia.

Para calibres gruesos la cantidad de calor a disipar es mayor, por lo tanto, se requiere una mayor cantidad de sopladores de aire y alargar la distancia a recorrer por el alambre, siendo esto poco práctico.

Para este objeto se utiliza un depósito con agua blanda en circulación, en la cual se introducirá el alambre para ser enfriado. La circulación de agua deberá ser tal, que la temperatura del alambre a la salida llegue a  $60^{\circ}\text{C}$ , obteniendo un estaño que se ha solidificado, permitiendo así, que el residuo de agua del alambre se evapore en el proyecto de embobinado.

### 3.2 DESCRIPCION DE LA MAQUINA PARA ESTAÑAR ALAMBRES POR INMERSION

Una máquina para estañar alambres por inmersión consiste básicamente de:

- Equipo de desenrollado del alambre
- Tina de limpieza con solución ácida
- Tina de enjuague
- Tina para aplicar el estaño
- Tina de enfriamiento
- Equipo enrollador

#### 3.2.1 Equipo desenrollador de Alambre

Este consiste de una estructura metálica de forma rectangular hecha a base de perfiles o soleras metálicas en la que se encuentran acondicionadas doce bobinas, de la forma siguiente:

En la parte media superior existen seis bobinas las cuales se distribuyen en un plano sagital en tres derechas y tres izquierdas; de igual forma tenemos distribuidas las bobinas en la base de este.

Arriba de cada bobina se coloca un desenrollador conocido como "pata de gallo" formado de una base sólida que asienta so

bre la bobina, un balero, una flecha que gira sobre su propio eje, una polea, una tira de cuero para el freno y un alambre que termina en forma de ojillo.

La bobina metálica tiene 25 cm. de diámetro de brida, 15 cm. de tambor y 23 cm. de carrera, con una capacidad de 35 a 40 Kg. El alambre conforme se va desenrollando pasa a través del ojillo del desenrollador para ir a una polea y pasar a la tina de limpieza.

### 3.2.2 Tina de limpieza con Solución Ácida y Enjuague

Sobre un bastidor metálico hecho de soleras se ha acondicionado una tina de base cuadrada de 52 cm de ancho y 52 cm. de largo, 40 cm. de profundidad y una capacidad de 108 cm<sup>3</sup>. Esta tina está hecha de fibra de vidrio con una construcción robusta; en la entrada y salida del alambre a través de la tina existen unos ojillos de heaneum, resistente a la abrasión por el paso del material. La tina contiene ácido sulfúrico al 12% para decapar el material.

La segunda tina tiene las mismas dimensiones, pero esta contiene el agua para enjuagar el ácido y posteriormente entrar a la tina de estañado.

### 3.2.3 Tina de Estañado

La tina de estañado se encuentra en posición horizontal asentada sobre una estructura metálica. Las dimensiones de la tina son, 90.17 cms. de largo, 62.5 cms. de ancho, 16.54 cms. en su parte más profunda y en su parte menos profunda 8.25 cms.

La tina es calentada a través de quemadores de gas dispuestos en la parte inferior. El control de la temperatura se lleva a cabo por medio de un termopar, cuyo bulbo se encuentra en el seno del estaño y la señal de este actúa sobre una válvula solenoide regulando así el paso de gas a los quemadores, con una sensibilidad de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

A la mitad de la tina se encuentra colocado transversalmente el mecanismo de inmersión del alambre; este consiste de una barra de acero a la cual se le han soldado apoyos en los que se colocan las doce barras de acero (inmersores).

La barra de acero tiene en su extremo inferior un inserto de acero inoxidable con el objeto de no maltratar el alambre y a su vez resistir el efecto abrasivo del alambre a su paso y en el extremo superior, tiene una varilla soldada perpendicularmente a esta para tener de donde sujetar en el momento de meter un alambre.

En el otro extremo de la tina (a la salida de los alambres) se encuentra el soporte de los dosificadores, consistente de una placa de acero en forma de U. En la que estan soldados perpendicularmente al plano superior de esta, trece pernos en donde se alojan los doce portadados.

Los portadados son de una sola pieza hecha de tubo de hierro. Uno de sus extremos se ha maquinado de tal forma que de cabida al dado con un ajuste suave; el otro extremo del tubo termina en ángulo que comienza cerca del maquinado para dar cabida al dado y así facilitar el alambrado y aligerar la pieza. La tina de estaño se llena antes de llegar al borde con estaño puro.

#### 3.2.4 Tina de Enfriamiento

La tina se encuentra formada por una estructura de fierro. En la parte media inferior hay un recipiente de forma rectangular en donde hay agua y en la parte superior existe una tina de base rectangular por donde pasa el alambre y, esta fijada a un determinado ángulo de la horizontal.

En su interior tenemos tres mamparas de micarta de 2.5 cms. de espesor en la que hay doce ranuras adecuadamente espaciadas.

En la parte superior de las placas se encuentra colocado dos - tubos que conducen agua a presión y en la parte inferior de es tos tubos tenemos doce espreas que dirigen su chorro hacia aba jo.

El agua es recolectada en la tina de abajo, y nuevamente recir culada por una bomba de 1/2 Hp. y de aquí es enviada a la tube ría para ser espreada nuevamente.

La cantidad de agua puede ser regulada por una válvula que se encuentra en la tubería de presión. En el extremo superior de la estructura está colocado un juego de doce poleas embalera- das, de nylon que deben ir alineadas a las ranuras y de aquí enviado al enrollador.

### 3.2.5 Equipo Enrollador

Consiste de dos unidades independientes de embobinado, una al lado izquierdo y la otra al lado derecho de la máquina. En ca da una existen seis bobinas de recibo.

Cada unidad está formada por una estructura metálica de elemen- tos angulares de 3.6 m. de largo por 0.72 m. de ancho y 1.84 de altura.



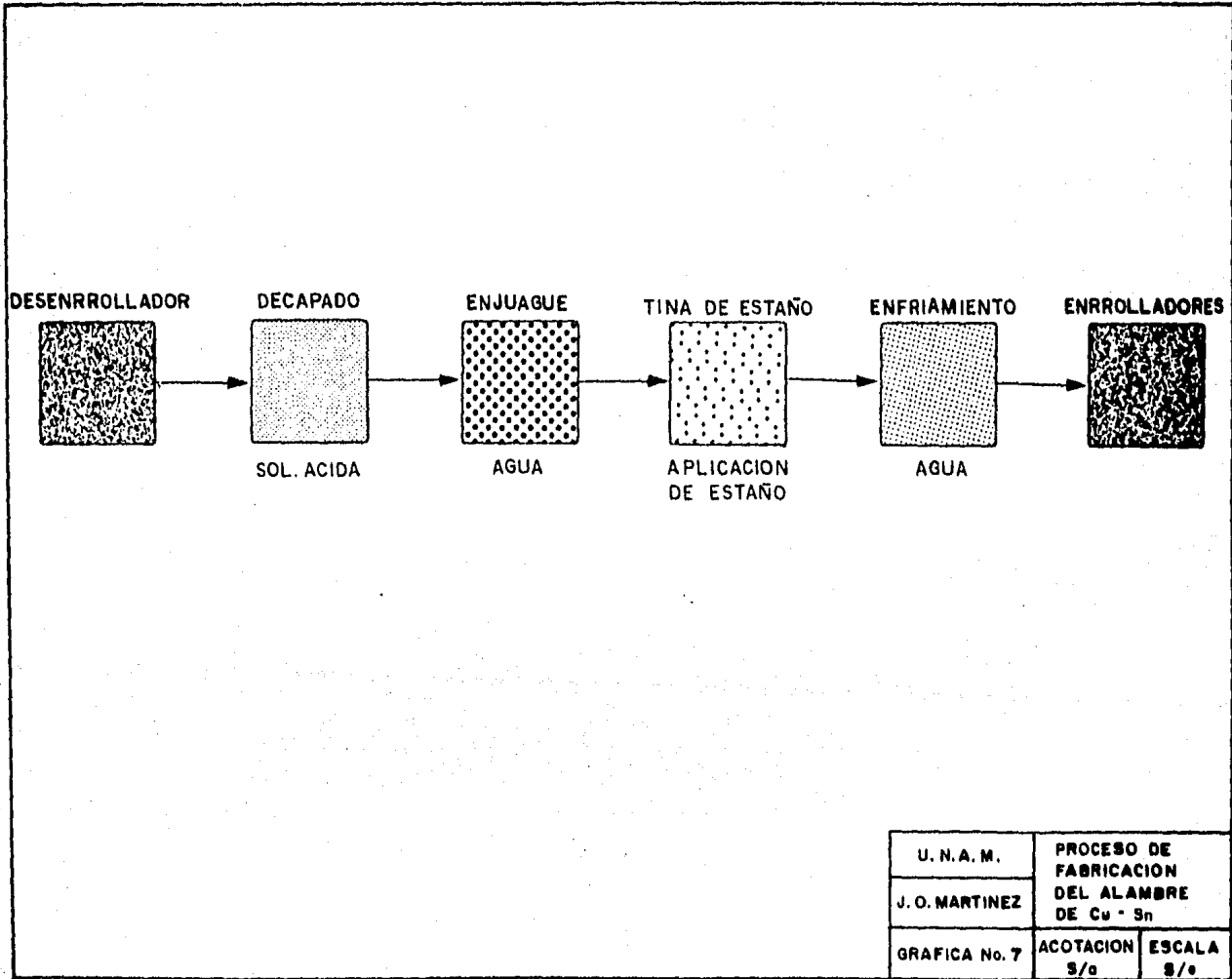
En la parte media superior de la estructura se han fijado seis flechas embaleradas en donde son montadas las bobinas de recibo de alambre estañado, con una capacidad de 35 a 40 Kg.

En la base se localiza el mecanismo de tracción, el cual consiste de un motor de 3 Hp de 1450 r.p.m. y un sistema de PIV; estos dan movimiento a una flecha que a su vez mueve seis juegos de poleas correspondiendo cada juego a una bobina recibidora - que a través de una banda hace girar la bobina, ya que se apoya sobre el tambor de ésta.

La velocidad tangencial puede variar de 70 m/min. a 330 m/min. gracias al PIV.

En la parte media superior de la estructura se haya montado el mecanismo embobinador el cual consiste de un motor de 1/2 Hp y 1425/1725 r.p.m. que dá movimiento a un tornillo sinfin en donde se tiene una tuerca montada dando con esto un movimiento rectilíneo uniforme. Esto es transmitido a una barra donde se hayan montadas seis poleas correspondientes estas a cada bobina.

Con el objeto de limitar la carrera del embobinador se ha colocado en los extremos del tornillo sinfin unos topes que actúan sobre un switch reversible, dando como resultado la mecánica - de embobinado del alambre. (Gráfica 7)



U. N. A. M.	PROCESO DE FABRICACION DEL ALAMBRE DE Cu - Sn	
J. O. MARTINEZ		
GRAFICA No. 7	ACOTACION S/o	ESCALA S/o

### 3.3 METODO DE OPERACION

A continuación se describe el método de operación del equipo antes descrito.

- a. Se encienden los quemadores de gas y se ajusta el pirómetro a la temperatura de operación, de acuerdo al calibre.
- b. Se montan las doce bobinas de alambre de cobre desnudo en el desenrollador.
- c. Se pasa uno de los alambres por los ojillos de la tina de ácido, de enjuagado y de estañado. Se ensarta el alambre en los dados y se lleva a la tina de enfriamiento hasta llegar al equipo enrollador.
- d. Se montan las doce bobinas en las flechas del enrollador.
- e. Se pasan los alambres por las poleas de embobinado y se fija la punta en los carretes.
- f. Se verifica que los alambres se encuentren en la posición correcta con una ligera tensión.
- g. Una vez que la temperatura del estaño esté en el rango de op

ración, se elimina de la superficie el exceso de óxido de estaño que pudiera tener.

- h. Se pone en marcha el sistema de enfriamiento.
- i. Se pone en movimiento el carrete de la posición extrema, a una cuarta parte de la velocidad especificada de acuerdo al calibre del alambre.
- j. Se opera el inmersor de la tina de estaño correspondiente a dicha posición y se observa la aplicación en el dosificador.
- k. Se observa el depósito de estaño sobre el alambre y cuando este sea uniforme y brillante se va aumentando la velocidad en forma paulatina hasta alcanzar la especificada.
- l. Se repiten las operaciones para cada una de las posiciones, cuidando durante esta operación la regulación del agua de la tina de enfriamiento y de la temperatura del estaño.

IV. ANALISIS DE PROBLEMAS, DEFICIENCIAS  
Y SOLUCIONES PROPUESTAS EN EL AREA  
DE ESTADADO

#### IV. ANALISIS DE PROBLEMAS, DEFICIENCIAS Y SOLUCIONES PROPUESTAS EN EL AREA DE ESTAÑO.

De acuerdo a lo expuesto anteriormente los principales problemas que se tienen para obtener un buen producto son:

- Falta de adherencia del estaño al cobre
- Reducido margen de elongación del material
- Aspereza en el acabado del mismo

En base a estos problemas, se procedió a detectar las causas de éstos. Una vez analizados se propuso llevar a cabo algunas modificaciones al equipo e indirectamente al proceso.

##### 4.1 FALTA DE ADHERENCIA DEL ESTAÑO AL COBRE.

Consultando la literatura se analizó los estudios realizados por Kurt (1965), donde presenta un estudio que relaciona temperatura de operación, velocidad de paso, diámetro del alambre y longitud inmersida (Tabla 9).

Con lo anterior se formuló la siguiente hipótesis:

El alambre antes de entrar a la tina de estaño no se limpia adecuadamente y, no existe una longitud de inmersión y velocidad de paso del alambre adecuadas.

**Tabla 9. CONDICIONES DE OPERACION PARA ESTAÑAR  
DIFERENTES CALIBRES DE ALAMBRE**

Diámetro alambre mm	Velocidad m/ min.	Longitud inmergida cm	Temperaturas del estaño
0.10 - 0.15	130	55	275-285
0.20	115	55	275-285
0.30	100	70	275-285
0.40	75	70	275-285
0.50	60	70	275-285
0.60	40	70	275-285
0.80	85	200	280-290
1.00	73	200	280-290
1.50	49	200	280-290
2.00	35	200	280-290

Fuente: Kurt, 1965.

Para confirmar la hipótesis anterior se procedió a estudiar:

#### 4.1.1 Limpieza del Alambre

Se pudo determinar que no era la adecuada, ya que al observar los resultados de adherencia que obtenía el Departamento de Control de Calidad, el alambre presentaba óxido en el lugar donde no existía adherencia.

Para evitar lo anterior se procedió a probar diferentes soluciones que mejoren dicha limpieza y posteriormente se realizó pruebas de continuidad y adherencia al producto ya estañado. Los resultados así obtenidos se presentan en la Tabla 10.

Como se puede observar las tres últimas soluciones son las mejores, aunque la última, es con la que se obtienen mejores resultados por presentar una acción más enérgica sobre los agentes a eliminar.

Para mejorar aún la acción de la solución, se propone utilizar en cada tina unas almohadillas de fieltro empapadas con la solución y en medio de éstas, fibra por donde pasa el material.

Así mismo a la salida de cada tina se propone colocar otras al mohadillas como las anteriores, para quitar el exceso de agua



Tabla 10. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LIMPIEZA CON DIFERENTES SOLUCIONES DE LAVADO \*

SOLUCIONES PROBADAS	RESULTADO
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 15%	Rechazado
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 15% + Enjuague con Agua	Rechazado
HCl al 15%	Rechazado
HCl al 15% + Enjuague con Agua	Rechazado
Electroflux	Aprobado con Reservas
Electroflux + Enjuague con Agua	Aprobado con Reservas
Electroflux + Leadertecflux + Enjuague con Agua	Aprobado

(\*) Pruebas realizadas en el Laboratorio de Control de Calidad

o ácido según sea el caso. (Figura 3)

#### 4.1.2 Longitud de Inmersión

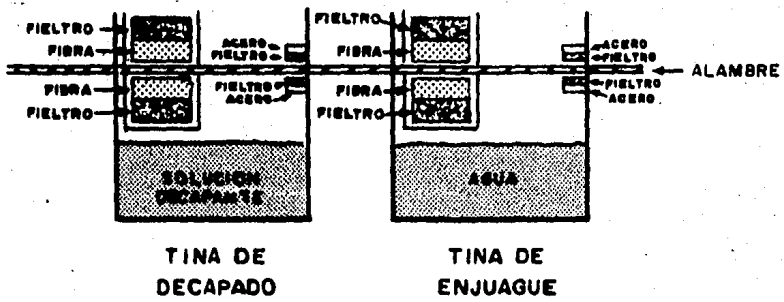
Se pudo determinar que la longitud del alambre en el equipo, es menor que la propuesta por Kurt (1965) (Tabla 9), por lo que se sugiere: sumergir el inmersor y variar los ángulos de entrada y salida del alambre en la tina de estaño, de tal forma que se obtenga la longitud deseada y con esto abatir la desviación que se presenta. En la Tabla 11 se observan las condiciones de operación actuales y las propuestas. (Apéndice I)

#### 4.1.3 Velocidad de Paso del Alambre

Se observó que la velocidad de paso del alambre era mayor a la velocidad sugerida por Kurt (1965) (Tabla 9), por lo que se propone: disminuir la velocidad de paso y con esto obtener el tiempo de residencia adecuado. (Tabla 11 y Apéndice II).

DEL  
DESENROLLADOR

A LA TINA DE ESTAÑAR



U. N. A. M.	TINAS DE DECAPADO Y ENJUAGUE	
J. O. MARTINEZ		
FIGURA No. 3	ACOTACION 3/e	ESCALA S/e

**Tabla 11. CONDICIONES DE OPERACION DEL EQUIPO PROPUESTAS**

<b>CONDICIONES</b>	<b>ACTUAL</b>	<b>PROPUESTO</b>
<b>Longitud Inmersa del Alambre</b>	50 cm	72 cm
<b>Longitud del Inmersor dentro del baño</b>	7 cm	12 cm
<b>Angulo del Alambre de entrada y salida</b>	14.20°/19.26°	19.26°/19.26°
<b>Velocidad de Paso</b>	80 m/min.	60 m/min.
<b>Temperatura</b>	variable	280°C

Ver Apéndice I y II

## 4.2 REDUCIDO MARGEN DE ELONGACION DEL MATERIAL

Al analizar cual podía ser la causa de este problema se observó, por un lado, que al realizar las pruebas de adherencia aparecía una raya continua en el material y por el otro lado al observar el equipo se detectó que no estaba alineado.

Con lo anterior se formuló la siguiente hipótesis:

El alambre sufre roces a lo largo de su trayectoria, lo que trae como consecuencia una elongación prematura del mismo.

Para confirmar la hipótesis anterior se procedió a observar el equipo parte por parte y posteriormente en conjunto:

### 4.2.1 Desenrollador

Se pudo observar que las poleas por donde pasaba el material, estaban en malas condiciones, es decir, no tenían un buen mantenimiento. La pata de gallo, su freno y poleas no funcionaban adecuadamente, ya que no permitía un buen desenrollado de la bobina. Además de desviarse el alambre de su trayectoria, esto es, pasaba por la tuerca que sujeta a la polea.

Por lo que se propone dar un mantenimiento adecuado al equipo:

cambiar baleros, ajustar el freno de la pata de gallo, colocar los ojillos que hacen falta a la salida del equipo y lubricar las poleas.

#### 4.2.2 Tinas de Decapado y Enjuague

Se pudo observar en el equipo, que entre el desenrollador y las tinas existe una placa que tiene orificios por donde pasa el alambre. Esta placa, estaba desalineada con respecto a las tinas, además de no conservar la misma altura entre ambas. Los orificios de las tinas por donde pasaba el alambre estaban desalineados, esto es, los de la entrada con la salida de la tina de decapado y la salida de la tina de decapado con la entrada de la tina de enjuague, al igual que la entrada y salida de la misma.

Por lo anterior se propone alinear y nivelar los ojillos por donde pasa el alambre para evitar los quiebres y roces que sufre el material.

#### 4.2.3 Tina de Estañado

Se advirtió que a la entrada de la tina de estañado existe una placa que tiene orificios por donde pasa el alambre, ésta estaba desalineada con respecto a la tina de enjuague y a los inner

sores de la tina, los cuales a su vez estaban desalineados con respecto a los dados de salida de la tina de estañado.

Se propone por un lado, alinear y nivelar la placa de entrada con respecto a la tina de enjuague y, por el otro, alinear la placa, los inmersores y los dados por donde pase el alambre para evitar los roces que sufre el material durante su trayectoria (Figura 4).

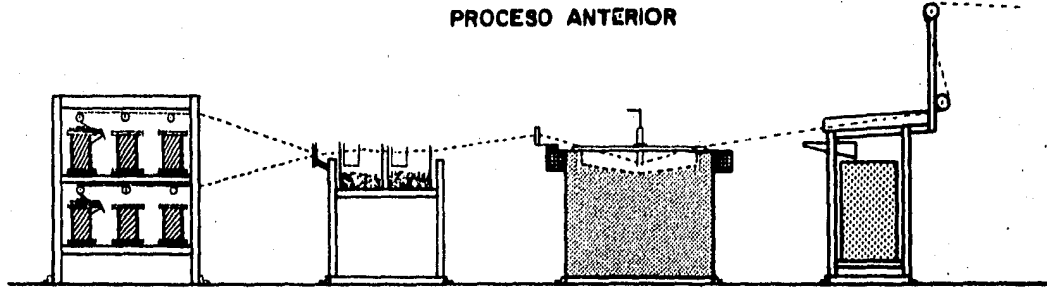
#### 4.2.4 ENBOBINADO

Se detectó que el ángulo de la posición que guardaba el equipo con respecto a la línea media estaba invertido como se pudo constatar en los planos de la máquina.

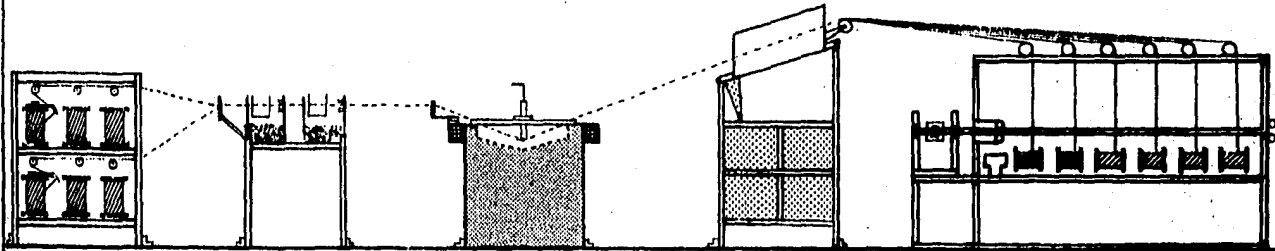
Se propone colocar el equipo de embobinado según los planos de la máquina.

De acuerdo a las observaciones anteriores se concluye que el material sufre múltiples roces a lo largo de su trayectoria, lo cual ocasiona que el material se maltrate y elongue prematuramente. Esto a su vez se traduce en un material con bajo margen de elongación.

PROCESO ANTERIOR



PROCESO ACTUAL



U. N. A. M.	ANÁLISIS Y SOLUCIONES A PROBLEMAS DETECTADOS EN EL AREA DE ESTADADO	
J. O. MARTINEZ	ACOTACION ESCALA	
FIGURA No. 4	8/9	8/9



### 4.3 ASPEREZA EN EL ACABADO DEL MATERIAL (MALA APARIENCIA)

Chalmers (1963) observó que la formación de cristales en exceso dentro del baño ocasiona superficies opacas y granosas, es decir, defectuosas.

Con lo anterior se formuló la siguiente hipótesis:

El exceso de cobre en la solución hace que se agrupen cristales - de metalina y con esto aumenta de tamaño, lo cual da como resultado, que se deposite en la superficie del alambre dichos cristales. Así mismo un control inadecuado de temperatura facilita la formación de éstos.

Para confirmar la hipótesis anterior se observó el proceso:

Se detectó que la formación de cristales (metalina) era excesiva debido a que éstos, no se quitaban en forma regular y la temperatura que se leía en el pirómetro no era la real. Además se detectó que el diámetro interior del dado era inadecuado.

Por lo anterior se propone por un lado, quitar los cristales en forma periódica para tener un baño en condiciones adecuadas y procurar un mantenimiento a los controles de temperatura, por otro - usar dados con diámetro interno adecuados al alambre a procesar.

En la Tabla 12 se presenta un resumen de los problemas que se tienen para obtener un alambre de cobre estañado, así como las causas, efectos y soluciones que se proponen.

Tabla 12. PROBLEMAS DETECTADOS  
Y SOLUCIONES ADOPTADAS EN EL AREA DE ESTABADO

PROBLEMAS	CAUSA	EFFECTO	SOLUCION
- Falta de adherencia del estubo al cable	- Falta de limpieza del alambre de cobre - Curva longitud del material - inmersión - Zafado excesivo - Prolongado tiempo de inmersión del material - Alto contenido de catalina	- Rechazo del producto - Pérdida de tiempo por consumo de repuestos del material - Retraso en la entrega del producto - Mayor costo por unidad de producto	- Reemplazar un cable con un tamaño de inmersión en el sistema de limpieza (con aditivos) en 15 minutos sumergido con la velocidad y un límite de 400 cm, 75-80 cm por donde pasa el cable) - Trabajar a la salida en línea con la línea, sin obstrucciones de líneas que obstruyan el cable del sistema del estubo - Que haya profesionales de limpieza y verificar los niveles de ácidos y sales - Disminuir la velocidad de paso - Realizar diferentes ensayos de limpieza - Limpiar el cable
- Reducir carga de elongación del material	- Superfrendados en cables con diámetros - Falta de palcos y ejillos en los puntos de contacto del alambre - Falta de alineación y nivelación - Ruido del material en superficies cilíndricas, en algunas partes de la trayectoria - Iniciar deslindado con ray para el cable	- Elongación prematura - Maltrato del material antes y después del proceso de estubo - Desgaste de la superficie de estubo por múltiples usos del mismo - Pérdida de tiempo por re-procesar el material - Rechazo del producto	- Revisar los superfrendados - (Paso de 60%) - Instalar palcos y ejillos en el receptor - Alinear y nivelar la máquina para disminuir ruidos y vibraciones del alambre - Que el personal de limpieza realice la limpieza del estubo
- Agujeros en el estubo del material (Pala Aparición)	- Inadecuado diámetro interior del cono - Inadecuada temperatura de estubo - Dirección incorrecta en 90° grados - Alto contenido de catalina	- Rechazo del material - Pérdida de tiempo por reparaciones del material	- Usar cable con diámetro exterior - Regular y controlar la temperatura durante el estubo - Ajustar dirección - Limpiar el cable



V . EVALUACION ECONOMICA

## V. EVALUACION ECONOMICA

Una vez conocidos los problemas y detectadas las soluciones adecuadas, se ve que es necesario ciertas modificaciones, para lo cual es indispensable conocer cual es el costo que implica llevar a cabo dichas modificaciones. Para tal fin se calculó el costo total del proyecto considerando un turno de operación por día.

Es importante tomar en cuenta que operar un turno es más caro que operar dos o tres turnos, ya que se tiene una menor producción y como consecuencia un mayor costo por unidad producida. Además - por destinar las dos primeras horas del turno al calentamiento - del baño de estaño.

Para tal fin se calculó el costo total del proyecto, considerando cuatro puntos fundamentales:

Costo del proyecto, Mano de obra, Materiales necesarios para la - reparación y Costo por concepto de parar la operación.

A continuación se presenta en forma de tablas cada uno de los rubros antes mencionados.

**COSTO TOTAL DEL PROYECTO**

<b>CONCEPTO</b>	<b>\$ M.N.</b>
<b>Proyecto</b>	62 500
<b>Mano de Obra</b>	58 296
<b>Materiales</b>	53 404
<b>Tiempo de Paro</b>	80 304
	<b>TOTAL 254 504</b>

RECURSOS HUMANOS

PROYECTO	HH/PROY.	\$/HH*	\$/PROY.
Ingeniero	200	312.50	62 500
		SUBTOTAL	62 500

MANDO DE OBRA	HH/PROY.	\$/HH*	\$/PROY.
Mecánico Cat. AA	120	233.44	28 012
Ayudante Cat. BB	120	190.00	22 814
Electricista Cat. AA	32	233.44	7 470
		SUBTOTAL	52 296

(\*) Diciembre de 1983 (\$ M.N.)



**MATERIALES NECESARIOS PARA LLEVAR A CABO LA REPARACION**

Materiales	U *	\$/U	\$ M.N.
Balero 6205 SKF	24	1 057	23 368
Lámina de Acero Inox. 304 1/16" (kg)	24	590	14 160
Placa de Fieltra 3/8" esp. de 1 Kg.	1	2 500	2 500
Electrôdo para acero inox. 5/32 (Kg)	2	1 279	2 558
Polea de nylon	24	90	2 160
Placa de Celoron de 3/8" 15x45 cm.	2	1 425	2 850
Tubo galvanizado de 1/2 (mts)	12	118	1 416
Ojillos de Heanium	48	92	4 416
		SUBTOTAL	53 404

(\*) Unidad.

**COSTO DE PARO POR CONCEPTO DE REPARACION**

<b>Conceptos</b>	
Tiempo para llevar a cabo las modificaciones	15 días
Producción por turno	1 400 Kg/tur
	<hr/>
	21 000 Kg
Costo del Alambre Procesado sin incluir el costo del Cobre*	3.81 \$/Kg
	<hr/>
	<b>SUBTOTAL \$ 80 304</b>

(\*) La forma de obtener este valor se presenta en el punto de Costos del Departamento de Estañado.

**COSTO DEL DEPARTAMENTO DE ESTAÑO**

CONCEPTO	ANTES	DESPUES
	MODIFICACIONES	
	\$/Kg	\$/Kg
Mano de Obra Directa	1.61	1.35
Materiel de Proceso	1.00	0.84
Energía Eléctrica	1.20	1.00
Estaño Aplicado	•	•
	3.81	3.19

(\*) Este valor se considera despreciable ( $2.5 \times 10^{-7}$ )

Ver costos del Departamento de Estaño punto cuatro.

## COSTOS DEL DEPARTAMENTO DE ESTAÑADO

Antes	Después
Modificaciones	

### 1. Costo de Mano de Obra Directa (☺)

- Máquinas consideradas	3	3
- Producción por turno	1 400 Kg	1 680 Kg
- Calibre promedio	24 AWG	24 AWG
- Mano de Obra	1 Op. Cat B	1 Op. Cat B

$$\text{M.O.D.} = \frac{1\,152 \text{ \$/día} \cdot 365 \text{ días} \cdot 1.56}{290 \text{ días}}$$

- Costo de Mano de Obra	2 262	2 262
- Costo de Mano de Obra/Kg	1.61	1.35

### 2. Costo del Material de Proceso (Decapante)

- Consumo Ene-Dic. 1983	2 193 Kg/año	2 193 Kg/año
- Producción Ene-Dic. 1983	437 223 Kg/año	524 668 Kg/año
- Consumo por Kg.	0.0050	0.0042
- Precio Actual (\\$/Kg)	200	200
- Costo por Kg. de Cu procesado	1 \\$/kg	0.84 \\$/Kg

(☺) Ver Apéndice III

	Antes	Después
	Modificaciones	
<b>3. Costo de Energía Eléctrica</b>		
- Capacidad Instalada*	27.7	27.7
- Fact. de Utilización	0.4	0.4
- Capacidad Utilizada	11.1	11.1
- Resistencias	<u>42.7</u>	<u>42.7</u>
	53.8	53.8
- Costo del Kw-Hr	3.9294 \$/kw-Hr	3.9294 \$/Kw-Hr
- Costo de EE/turno	1 691 \$/turno	1 691 \$/turno
- Costo de EE/Kg procesado	1.20 \$/Kg	1.00 \$/Kg
<b>4. Costo del Estaño Aplicado**</b>		
- Peso de Sn aplicado/Kg alambre	$1.48 \times 10^{-7}$ Kg	$1.48 \times 10^{-7}$ Kg
- Costo por Kg de Sn	2 400 \$/Kg	2 400 \$/Kg
- Costo de Sn aplicado/Kg alambre	$3.55 \times 10^{-4}$ \$	$3.55 \times 10^{-4}$ \$
- Costo de Sn aplicado/Kg procesado	$2.59 \times 10^{-7}$ \$	$2.11 \times 10^{-7}$ \$

(\*) Kw

(\*\*) Considerando un espesor de 0.00005"

(\*\*) Ver Apéndice IV

## RECUPERACION DEL PROYECTO

Como se planteó en un principio y de acuerdo a los reportes de Control de Producción y Aseguramiento de Calidad, se sabía que existía un 20% de producto que no cumplía los estándares establecidos.

Con la premisa anterior y analizando los Costos del Departamento de Estañado, se ve que al incrementar la producción en un 20% en el mejor de los casos, por concepto de eliminar los problemas ya mencionados, se obtendrá una disminución en el costo del alambre estañado de un 16%.

Dado que las modificaciones no se consideran como un proyecto nuevo en el que se pueda obtener la recuperación al cabo de cierto tiempo por concepto de depreciación; se procederá a considerar la recuperación del proyecto tomando en cuenta: el diferencial (0.623 \$/Kg) del costo de operación que existiría al incrementar la producción en un 20% y considerando un turno (1 680 Kg/día)

Obteniendo:

$$0.623 \text{ \$/Kg} \times 1\,680 \text{ Kg/día} = 1\,046.64 \text{ \$/día}$$

$$\frac{1\,046.64 \text{ \$}}{\text{día}} \times \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ año}} = 376\,790 \text{ \$/año}$$

Comperendo esta cantidad con el costo total del proyecto que es -  
de \$254 504, se puede decir que la inversión se recuperará en me-  
nos de un año, ya que como se observa entre ambas cantidades exis-  
te un diferencial. Relacionando \$376 790/año contra \$254 504 que  
es el costo del proyecto, se obtiene que la recuperación será en  
8 meses.

Este cálculo se hizo considerando un turno de operación por día,  
pero si se trabajan dos turnos como es la operación en la Compa-  
ñía, se obtiene que la recuperación se obtiene en 4 meses.

## VI. CONCLUSIONES



## CONCLUSIONES

1. De acuerdo al estudio efectuado al proceso para obtener alambres de cobre estañado por el proceso de inmersión, se conoció: La forma en que se obtienen las materias primas base (cobre y estaño). Además de los estándares que se aplican a los alambres estañados y, se detectó y analizó los problemas inherentes al área de estañado proponiendo e implementando las soluciones correspondientes a cada uno de los problemas que se hicieron mención.
  
2. Con respecto a los problemas y soluciones propuestos, planteados mediante los procedimientos indicados, se ha observado que:
  - La falta de adherencia del estaño al cobre es ocasionada por falta de limpieza del alambre, corta longitud de inmersión del alambre de cobre, reducido tiempo de inmersión del mismo y alto contenido de metalina. Al ponerse en práctica las soluciones propuestas se eliminaron los defectos observados.
  
  - El reducido margen de elongación del material ocasionado en los desenrolladores debido, por un lado a la falta de poleas y de ojillos en los puntos de contacto del alambre y, por otro a la falta de alineación y nivelación del equipo, que daba lugar a roces del material en superficies sólidas en múltiples puntos de su trayectoria. En cuanto al inme

sor también se observó a éste, desalineado con respecto al dado. De la misma forma anterior, al ejecutarse las soluciones propuestas se eliminaron las deficiencias indicadas.

- La aspereza en el acabado del material (mala apariencia) - ocasionada por un lado a la variación en forma constante de operación de 80° de más en la temperatura de estañado en razón, al desajuste del pirómetro lo cual resulta en un alto contenido de metalina y, por otro a la utilización de dados con diámetros inadecuados. En consecuencia al ajustar el pirómetro, al regular y controlar la temperatura durante el estañado y evitar el agrupamiento de metalina en la tina a través de su eliminación sistematizada y además de emplear dados con diámetro adecuado se suprimen las desviaciones - anotadas.

3. En resumen a través de la reparación mediante la alineación, nivelación y ajuste de la línea de proceso, por un lado, de proporcionar la longitud de inmersión y la velocidad de paso adecuadas; por otro, además de usar una solución decapante apropiada, se eliminan los problemas de la falta de adherencia del estaño al cobre, el reducido margen de elongación del material y la aspereza en el acabado del mismo; los resultados se concretan en la reducción drástica, o casi anulación - del rechazo del material por parte del Departamento de Control de Calidad.

4. En consecuencia con todo lo anterior se tiene como resultados, por un lado un incremento del 20% en la productividad del área y, por otro, una reducción del 16% en el costo del valor agregado en el Departamento de Estañado.
5. Los resultados de la evaluación económica del proyecto realizado, muestra que la inversión es recuperada en un plazo de 8 meses, considerando sólo un turno de operación.
6. En el período en le que se llevó a cabo el proyecto se atravesaba por una baja en la demanda del producto (alambres de cobre estañado) por lo que se aprovechó para aplicar las soluciones indicadas en este estudio, en razón a que las hipótesis -- planteadas fueron comprobadas.

Una vez efectuadas las modificaciones propuestas como solución a los respectivos problemas detectados, se obtuvo en el arranque un 5% de producto que no cumplía con los estándares establecidos, en lugar del 20% que se había registrado con anterioridad. Alas dos semanas del arranque sólo se ha registrado un 1.5% de producto rechazado.

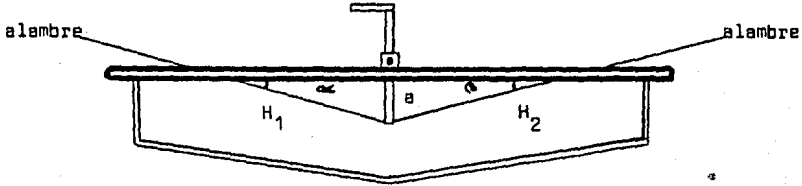
El ideal del Departamento de Control de Producción es llegar al cero por ciento de rechazo por parte del Departamento de Control de Calidad. Sin embargo deberá tomarse en cuenta que -

existen condiciones aleatorias que están fuera de control o -  
son impredecibles.

VII. APENDICE

## APENDICE I

Cálculo de la longitud del alambre inmerso en la tina de estaño



Utilizando la función:

$$\text{Sen } \theta = \frac{\text{Cat Op}}{\text{Hip}}$$

Se conocerá la longitud del alambre inmerso en la tina de estaño.

Para tal fin contamos con los siguientes datos:

- $a = 7 \text{ cms}$  = longitud del inmersor dentro del baño
- $= 14.20^\circ$  = ángulo de entrada
- $= 19.26^\circ$  = ángulo de salida

Despejando la hipotenusa de la función anterior y sustituyendo, se obtiene:

$$H_1 = \frac{\text{Cat Op}}{\text{Sen } \alpha} = \frac{7 \text{ cms}}{\text{Sen } (14.20)} = 28.53 \text{ cms}$$

$$H_2 = \frac{\text{Cat Op}}{\text{Sen } \theta} = \frac{7 \text{ cms}}{\text{Sen } (19.26)} = 21.22 \text{ cms}$$

Longitud del alambre =  $H_1 + H_2 = 49.75 \text{ cms} \approx 50 \text{ cms}$

Como se observa la longitud del alambre dentro del baño es menor a la propuesta por Kurt (1965), Tabla 9. Por lo que se procedió a variar: los ángulos de entrada y salida, así como la longitud del inmersor de tal forma que se obtenga una longitud cercana a - la propuesta por Kurt (70 cms ).

Los resultados son:

$$\begin{aligned} a &= 12 \text{ cm} = \text{Longitud del Inmersor dentro del baño} \\ &= 19.26^\circ = \text{Angulo de entrada} \\ &= 19.26^\circ = \text{Angulo de salida} \end{aligned}$$

Sustituyendo estos valores en la función, tenemos:

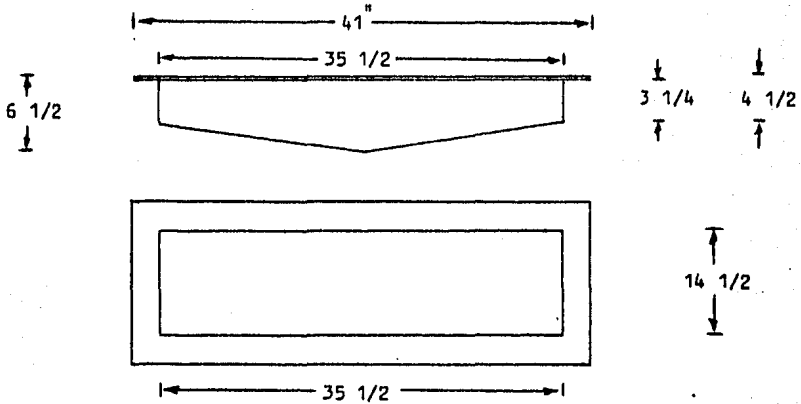
$$H_1 = \frac{\text{Cat Op.}}{\text{Sen}} = \frac{12 \text{ cms}}{\text{Sen}(19.26)} = 36.38 \text{ cms}$$

$$H_2 = \frac{\text{Cat Op.}}{\text{Sen}} = \frac{12 \text{ cms}}{\text{Sen}(19.26)} = 36.38 \text{ cms}$$

Longitud del Alambre = 72.76 cms

## APENDICE II

### Cálculo de la velocidad de paso del alambre



**Volúmen:**

$$\text{Del rectángulo } b \cdot a \cdot h = 35.5 \cdot 14.5 \cdot 4.5 = 2\,316.37 \text{ in}^3$$

$$\text{Del triángulo } \frac{b \cdot h}{2} \cdot a = \frac{35.5 \cdot 3.25}{2} \cdot 14.5 = 836.47 \text{ in}^3$$

$$V_T = 3\,152.84 \text{ in}^3 = 51\,665.59 \text{ cm}^3 = 1.8245 \text{ ft}^3$$

**Obtención de la masa:**

$$m = \rho / \rho_{Sn} \cdot V_T$$

$$m = 455 \text{ Lb/ft}^3 \cdot 1.8245 \text{ ft}^3$$

$$m = 830.17 \text{ Lb} = 376.57 \text{ Kg}$$



### Cálculo del calor necesario para fundir el estaño

$$Q_T = Q_S + Q_F + Q \quad \dots\dots\dots (1)$$

$Q_S$  = Calor necesario para llevar a el metal de  $T_1$  a  $T_f$

$Q_F$  = Calor necesario para fundir el metal

$Q$  = Calor necesario para llevar de  $T_f$  a  $T_{operación}$

$Q_T$  = Calor total necesario

$$Q_S = m C_p \Delta T = m C_p (T_f - T_1)$$

$$Q_F = m \lambda$$

$$Q = m C_p \Delta T = m C_p (T_{op} - T_f)$$

Sustituyendo en (1) tenemos:

$$Q_T = m (C_{p1} (T_f - T_1) + \lambda + C_{p2} (T_{op} - T_f)) \quad \dots\dots\dots(2)$$

Donde:

$$T_1 = \text{Temperatura ambiente} \quad = 25^\circ\text{C}$$

$$T_f = \text{Temperatura de fusión del Sn} = 231^\circ\text{C}$$

$$T_{op} = \text{Temperatura de operación} \quad = 280^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_1 = 504 - 298 \quad = 206^\circ\text{K}$$

$$\Delta T_2 = 553 - 504 \quad = 49^\circ\text{K}$$

$$Q_T = 5\,523 \text{ Kcal/hr} \cdot 1.15 =$$

$$Q_T = 105.87 \text{ Kcal/min} \quad \dots\dots(3)$$

Una vez fundido el estaño el calor que es suministrado, es tan solo para compensar las pérdidas al exterior y el transmitido al cobre. Por experiencia se ha visto que el cobre sale  $20^\circ \text{C}$  menos que la temperatura que se tiene en el baño de estaño (esto es  $-260^\circ \text{C}$ ) por lo tanto, es necesario conocer el calor que es transferido al cobre para elevarlo a la temperatura antes mencionada y con esto conocer la velocidad de paso del material.

Por lo tanto tenemos:

$$Q = m C_p \Delta T \quad \dots\dots(4)$$

Obtención de la masa:

$$\text{Calibre promedio 24 AWG} = 4.12 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ de sección}$$

$$\text{Densidad del cobre} = 8\,906.43 \text{ Kg/m}^3$$

$$m = 8\,906.43 \text{ Kg/m}^3 \times 4.12 \times 10^{-7} \text{ m}^2 =$$

$$m = 3.6694 \times 10^{-3} \text{ Kg/m}$$

El resultado anterior es considerando una posición (un alambre) pero dado que el equipo consta de doce posiciones, tenemos:

$$m = 3.6694 \times 10^{-3} \text{ Kg/m} \times 12 = 4.4033 \times 10^{-2} \text{ Kg/m}$$

$$m = 4.4033 \times 10^{-2} \text{ Kg/m}$$

Cálculos en base a Sn 100% para la obtención del  $\overline{C}_p$  :

$$C_p / \text{Sn} \text{ a } 273^{\circ}\text{K} \text{ a } 553^{\circ}\text{K} = 5.05 + 0.0048 T \frac{\text{Cal}}{\text{g mol}^{\circ}\text{K}}$$

$$PM_{\text{Sn}} = 118.7 \text{ g/g mol}$$

$$\overline{C}_{p_1} = 0.0587598 \text{ cal/g}$$

$$\overline{C}_{p_2} = 0.0639157 \text{ cal/g}$$

$$\text{Calor latente de fusión} = \lambda / 231^{\circ}\text{C} = 14.1 \text{ cal/g}$$

Dimensionalidad de la ecuación (2)

$$Q_T = \text{Kg} \left( \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{K}} \cdot ^{\circ}\text{K} + \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} + \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{K}} \cdot ^{\circ}\text{K} \right) = \text{Kcal}$$

Sustituyendo valores en la ecuación (2) obtenemos:

$$Q_T = 376.56619 ((0.0587598 \cdot 206)) + 14.1 + (0.0639157 \cdot 49) =$$

$$Q_T = 11\ 047 \text{ Kcal}$$

Considerando dos horas para calentar el metal tenemos:

$$Q_T = \frac{11\ 047 \text{ Kcal}}{2 \text{ horas}} = 5\ 523 \text{ Kcal/hora}$$

Considerando que en el sistema tenemos un 15% por pérdidas de ra diación tenemos:

Cálculos en base a cobre 100% para la obtención del  $\overline{C}_p$ :

$$C_p \Big|_{1357^{\circ}\text{K}}^{273^{\circ}\text{K}} = 5.44 + 0.01462 T \frac{\text{cal}}{\text{g mol } ^{\circ}\text{K}}$$

$$\text{PM}_{\text{Cu}} = 63.54 \text{ g/gmol}$$

$$T_1 = 25^{\circ}\text{C} = 298^{\circ}\text{K}$$

$$T_f = 260^{\circ}\text{C} = 533^{\circ}\text{K}$$

$$\Delta T = 235^{\circ}\text{K}$$

$$\overline{C}_p = 0.1812182 \frac{\text{Cal}}{\text{g } ^{\circ}\text{K}}$$

Sustituyendo en (4) tenemos:

$$Q_s = 4.4033 \times 10^{-2} * 0.1812182 * 235 =$$

$$Q = 1.8752 \text{ Kcal/m} \quad \dots\dots(5)$$

Dividiendo (3)/(5) obtenemos la velocidad de paso del material

$$V = \frac{105.87 \text{ Kcal/min}}{1.8752 \text{ Kcal/m}} = 56.46 \text{ m/min}$$

### APENDICE III

Cálculo de la Mano de Obra Directa

$$\text{M.O.D.} = \frac{A * B * C}{D}$$

A = Salario mínimo por día (Dic. 1983) = 1 152 \$/día

B = Días del año = 365 días

C = Prestaciones de la compañía = 1.56

D = Días efectivos de trabajo = 290 días

Sustituyendo estos valores en la ecuación anterior, tenemos:

$$\text{M.O.D.} = \frac{1\ 152\ \$/\text{día} * 365\ \text{días} * 1.56}{290\ \text{días}}$$

$$\text{M.O.D.} = \$\ 2\ 262$$

Si tenemos una producción por turno antes de hacer las modificaciones de 1 400 Kg y, después de hechas en el mejor de los casos de - 1 680 Kg, por incremento en la producción de un 20% al eliminar -- los problemas. Por lo tanto tenemos un costo de mano de obra por - kilogramo procesado igual a:

$$\text{M.O.D.} = \frac{2\ 262}{1\ 400} = 1.61 \frac{\$}{\text{Kg}} \quad \text{M.O.D.} = \frac{2\ 262}{1\ 680} = 1.35 \frac{\$}{\text{Kg}}$$

Como se observa existe una disminución en el costo de la M.O.D.

#### APENDICE IV

Determinación del contenido de estaño procesado por kilogramo de -  
alambre procesado.

Considerando un alambre de diámetro "d", con una capa de Sn de espe  
sor "e". El diámetro total del alambre estañado será:

$$D = d + 2e \quad \dots\dots(1)$$

El peso de la capa de estaño es:

$$P = V \times \rho \quad \dots\dots(2)$$

Donde V = Volúmen de la capa por unidad de longitud  
= Peso específico del estaño

Por lo tanto tenemos que el volúmen es:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) \quad \dots\dots(3)$$

Sustituyendo (1) en (3) tenemos:

$$V = \frac{\pi}{4} ((d + 2e)^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} (d^2 + 4e^2 + 4de - d^2)$$

$$V = \frac{\pi}{4} \times 4e \times (d + e) \quad \dots\dots(4)$$

Sustituyendo (4) en (2) tenemos:

$$V = \pi \times e \times (d + e) \times \rho \quad \dots\dots(5)$$

Para las condiciones de nuestro proceso, el espesor promedio de la capa de Sn para un alambre simple adición es de:

$$5.0 \times 10^{-5} \text{ plg.} = 1.27 \times 10^{-4} \text{ cms}$$

Y considerando que el peso específico del Sn es =  $7.26 \text{ g/cm}^3$  tenemos:

Sustituyendo el peso específico y el espesor en la ecuación (5)

$$P = \pi \times 1.27 \times 10^{-4} (d + 1.27 \times 10^{-4}) \times 7.26$$

$$P = 2.9 \times 10^{-3} (d + 1.27 \times 10^{-4})$$

$$P = 2.9 \times 10^{-3} (d + 3.67 \times 10^{-7})$$

Por ser despreciable el factor constante, no será considerado para los cálculos posteriores. Por lo tanto tenemos:

$$P = 2.9 \times 10^{-3} \times d \quad \text{g/cm}$$

$$P = 0.29 \times d \quad \text{Kg/ Km} \quad \dots\dots(6)$$

La ecuación (6) es una ecuación general para obtener el contenido de estaño en función del diámetro del alambre. Con ésta se obtuvo el peso o contenido de estaño para alambres que van de 14 AWG a 36 AWG. Los resultados obtenidos fueron graficados, observando un comportamiento exponencial. Utilizando el método de mínimos cuadrados se obtuvo la ecuación correspondiente que se ajusta a dicho comportamiento:

$$Y = 2.40 \times 10^{-3} e^{-0.12 (X)} \quad \dots\dots (7)$$

Donde X = Al calibre del alambre en AWG

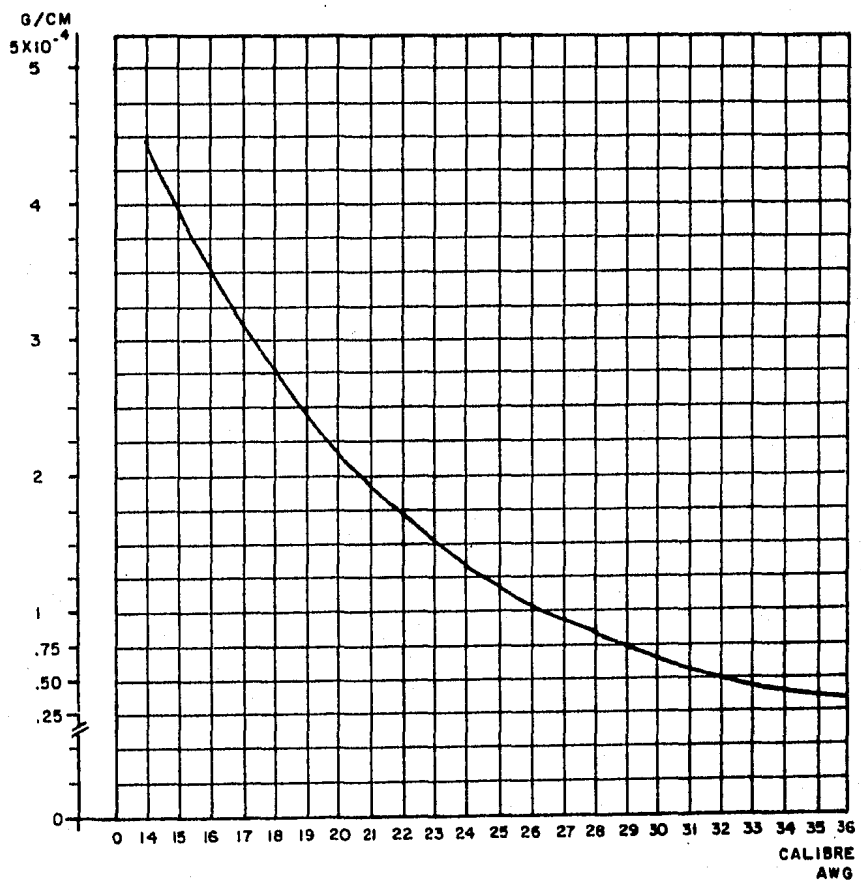
Y = Contenido de estaño en función del diámetro

Los datos que a continuación se presentan se obtuvieron de la ecuación (7) y están representados en la gráfica del Apéndice.

CALIBRE AWG	CONTENIDO DE SN g/cm
14	$4.4729 \times 10^{-4}$
15	$3.9672 \times 10^{-4}$
16	$3.5185 \times 10^{-4}$
17	$3.1207 \times 10^{-4}$
18	$2.7678 \times 10^{-4}$
19	$2.4548 \times 10^{-4}$
20	$2.1772 \times 10^{-4}$
21	$1.9310 \times 10^{-4}$
22	$1.7127 \times 10^{-4}$
23	$1.5190 \times 10^{-4}$
24	$1.3472 \times 10^{-4}$
25	$1.1949 \times 10^{-4}$
26	$1.0597 \times 10^{-4}$
27	$0.9399 \times 10^{-4}$
28	$0.8336 \times 10^{-4}$
29	$0.7394 \times 10^{-4}$
30	$0.6557 \times 10^{-4}$
31	$0.5816 \times 10^{-4}$
32	$0.5158 \times 10^{-4}$
33	$0.4575 \times 10^{-4}$
34	$0.4058 \times 10^{-4}$
35	$0.3599 \times 10^{-4}$
36	$0.3192 \times 10^{-4}$



$$Y = 2.40 \times 10^{-3} e^{-0.12(X)}$$



U. N. A. M	$Y = 2.40 \times 10^{-3} e^{-0.12(X)}$
J. O. MARTINEZ	
APENDICE IV.	ACOTACION ESCALA S/e S/e

RECOMENDACIONES

## RECOMENDACIONES

1. Que el personal del primer turno efectúe la limpieza de la tina diariamente, a través del método de " Papeo " (\*), a fin de eliminar las escorias y la metalina que se acumulan durante el proceso anterior.
  2. Cubrir el estaño líquido con carbón desmineralizado, a fin de evitar la oxidación en la superficie del mismo.
  3. Que el encendido de las tinas de estañado, se efectúe los días lunes, se efectúe para evitar al personal del primer turno la molestia de esperar durante dos horas el calentamiento del estaño.
  4. Que exista una mayor supervisión operativa y técnica en la área para que los beneficios del proyecto se mantengan.
  5. Que se elabore y ejecute un programa permanente de mantenimiento al equipo del área de estañado.
- (\* ) Sumergir una papa cruda para que por su carbonización desprenda gas produciendo movimiento del estaño líquido.

V I I I . B I B L I O G R A F I A

American Society for Testing and Materials (ASTM) Norma B-33-81

Chalmers, B. & R.H. Wadie (1963). Factors Influencing the Formation of a Smooth Coating of Tin on Copper by Hot-Dipping. J. Institute of Metals.

Daniels, E.J. (1936). The Hot Tinning of Copper; The Attack on the Basis Metal and its Effects. J. Institute of Metals. 58, 199-205.

Foust Allan S. L.A. Wenzel. Principios de Operaciones Unitarias. 11a. impresión. Editorial CECOSA. México, 1978.

Geoffroy-Delore S.A. Clinchy, France. (1964). The Hot Tinning of Copper Wire. Wire Industry. 31, 273-274, 276

Golden Kurt & Deling Karl. (1965). Estañado sin poros de los Alambres de Cobre. Revista técnica especializada "ALAMBRE". 52, 143-145

Hoare, W.E. (1959). Hot-Tinning. Tinning Research Institute

Kern Donald Q. Procesos de Transferencia de Calor. 13a. Edición. Editorial CECOSA. México, 1979.

- Klein, Wassink R.J. (1967). Wetting of Solid-Metal Surfaces by Molten Metals. J. of Institute of Metal. 95, 38-43
- M. Billot & S. Clement. (1982) Garantía de Soldabilidad en Componentes electrónicos para aplicaciones especiales. El Estaño y sus Aplicaciones; International Tin Research Institute. 131, 1-3
- Peeters Max S. & Timmerhaus D. Claus. (1980) Plants Design and Economics for Chemical Engineers. International Student Edition. Cap. 3o. 57-137.
- Perry John H. (1980). Chemical Engineers's Handbook. Mc. Graw-Hill Book Company New York U.S.A.
- Rolle S., Scamet Co, New York, N.Y. (1952) The Fabrication of Copper Wire! Wire and Wire Products. 27, 35, 37-47, 76-83
- Thwaites C.J. (1963). The Continuous Hot-Tinning of Strip and Wire. Metalurgia. 68, 69-80
- Thwaites C.J. (1964). The Tinning of Wire. Wire Industry. 31, 479-483 (mayo), 595-597 (junio)
- W. Gonsler Bruce (1947). Tin as a Coating Material in the Wire Industry. Wire and Wire Products. 22, 45-59

W.D. Jones. (1938). A study of some of the factors controlling the porosity of hot-tinned coatings on copper. J. Institute Metal. 62, 262-273.