

169

BIBLIOTECA  C. QUIMICAS

Universidad Iberoamericana

INCORPORADA A LA U. N. A. M.

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

ESTUDIO SOBRE EL MANEJO DE
LUBRICANTES PARA MAQUINAS
ESTIRADORAS DE COBRE

TESIS PROFESIONAL

JULIO GUTIERREZ TRUJILLO

MEXICO, D. F. 1963

10845



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.

Universidad Iberoamericana

INCORPORADA A LA U N A M

ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

ESTUDIO SOBRE EL MANEJO DE
LUBRICANTES PARA MAQUINAS
ESTIRADORAS DE COBRE

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
PRESENTA:

JULIO GUTIERREZ TRUJILLO

MEXICO. D. F. 1963

Indice

	Página
Introducción	2
Generalidades sobre el proceso de Conductores Eléctricos	6
Características del Estirado y Cálculo del Calor Generado	24
Cálculo y Selección del Cam- biador de Calor	53
Cálculo del Sistema de Bombeo y Distribución	70
Consideraciones Económicas	80
Conclusiones	84
Bibliografía	92

I

Introducción

En la fabricación de los conductores eléctricos, uno de los principales procesos que intervienen independientemente del tipo de conductor elaborado, es el estirado. El presente estudio trata precisamente sobre un sistema de enfriamiento y de lubricación de los conductores sometidos al proceso de estirado y de las máquinas que lo llevan a cabo en la planta de Condumex, situada en México, D. F.

En esta planta, debido a su expansión, ha sido necesario rediseñar las instalaciones del sistema de lubricación, debido principalmente al aumento de capacidad y al deseo de ir superando la calidad de los productos.

En el presente estudio se calcula el equipo de enfriamiento, bombeo, líneas de distribución y almacenaje para el lubricante utilizado en el estirado, de acuerdo con la capacidad actualmente instalada y se efectúa simultáneamente el cálculo del equipo, la selección económica del mismo.

A continuación se describe lo tratado en cada uno de los capítulos componentes de este estudio.

En el segundo capítulo se hace una descripción de los procesos que intervienen en la fabricación de los conductores que están íntimamente relacionados con el estirado, ya sea porque alimentan a este departamento o porque reciben los alambres salidos de él. Los procesos que en dicho capítulo se describen son los de laminado, decapado, recocido, cableado, tubulado y magneto o esmaltado.

En el tercer capítulo se señalan las características y las necesidades de lubricación del estirado y se efectúa el cálculo, mediante un balance de la cantidad de calor que se genera en este proceso, para así pasar al capítulo cuarto, en donde se calcula y se selecciona económicamente el cambiador de calor para la solución lubricante.

En el capítulo quinto se estudian las condiciones de distribución del sistema lubricante, así como el cálculo y selección económica de las tuberías y equipo de bombeo necesario.

En el capítulo sexto se calcula la inversión que

es necesario efectuar en el nuevo sistema de lubricación, y se obtienen las conclusiones del estudio. Finalmente se señalan las conclusiones obtenidas.

Es conveniente mencionar que estas necesidades de ampliación y rediseño del sistema de lubricación se refieren a la sección del estirado grueso, es decir, a la fase inicial de proceso de estirado, ya que las secciones de estirado de alambres intermedios y finos se abastecen de sistemas de lubricación con características diferentes de las del estirado grueso.

II

Generalidades sobre el Proceso de
Conductores Eléctricos

En el proceso de fabricación de los conductores eléctricos intervienen una gran variedad de operaciones que van transformando la barra de cobre inicial, así como las diferentes materias primas utilizadas para forros exteriores, aislamientos, protecciones, etc., en los conductores eléctricos para diferentes usos y condiciones de trabajo.

En este capítulo trataremos de describir brevemente los procesos que intervienen en la fabricación de los conductores, poniendo especial atención en los que están íntimamente relacionados con el estirado, tema central de este estudio.

1.- Laminación

La materia prima inicial consiste en barras de cobre electrolítico, con un contenido mínimo de cobre de 99.92% (de acuerdo con normas ASTM). Este cobre proviene de las minas de Cananea en Sonora, y es refinado en la refinería de Cobre de México, en el Distrito Federal. Estas barras tienen un peso aproximado de 110 kilos y son estibadas en forma tal

que puedan ser fácilmente alimentadas al horno de calentamiento, este horno eleva la temperatura del cobre a 900°C aproximadamente, y tiene una atmósfera libre de hidrógeno y oxígeno, con el objeto de evitar reacciones que varíen las propiedades mecánicas del cobre, o bien que se produzca una fuerte cantidad de óxido de cobre, como desperdicio.

Este horno es alimentado con diesel, y dentro del mismo se mantiene una presión ligeramente superior a la atmosférica, con el objeto de que al abrir la puerta para extraer las barras calientes no se introduzca aire y se oxide el cobre con los resultados anteriormente mencionados. Una vez que la barra alcanza la temperatura adecuada, es extraída del horno e introducida a la laminadora, la cual está dividida en dos trenes principales: tren Primario y tren Secundario.

El tren Primario de Laminación consta de siete pasos de reducción, efectuando cada uno de los pasos, reducción en el área de la sección transversal de la barra en proceso que fluctúa entre el 15 y el 30%, y en él se sigue el

proceso de "Punto y Cola", para el laminado, debido a la forma rígida que aún conserva la barra en este proceso.

El tren Secundario consta de un máximo de nueve pasos de reducción, y en él se sigue el proceso de "Una Punta", ya que la sección del cobre en estos pasos ha sido reducida a tal grado, que permite que se le fleccione por medio de repetidores automáticos. La lubricación en ambos trenes de laminación, tanto de los pasos reductores de los rodillos de laminado, como de las chumaceras de los mismos, se efectúa con agua, la cual se mantiene en un circuito cerrado en donde es filtrada y enfriada para volver a los puntos de lubricación.

Del último paso de la laminadora Secundaria se obtiene el alambón deseado, de sección circular, el cual es alimentado a los enrolladores automáticos, de donde se extrae en forma de rollo. Una vez obtenidos los rollos, es eliminada una longitud de 1 metro aproximadamente, tanto del extremo inicial como del extremo final, ya que son la parte

más maltratada y fría, respectivamente, del rollo.

Mencionamos que es eliminada la parte más fría del rollo, debido a que por el hecho de haber sido laminado a una temperatura inferior al resto del rollo, tiene una elongación menor y un esfuerzo de tensión superior al resto de la longitud, causando con ello reventones durante el estirado.

Los rollos de alambrión de cobre así obtenidos, están cubiertos por una capa negra de Oxido Cúprico, en cuyo interior se encuentra también Oxido Cuproso, la cual debe ser removida antes de pasar al proceso de estirado. Con el objeto de eliminar este óxido, los rollos son llevados al proceso de "Descaspado", en donde son colocados dentro de un tanque conteniendo Acido Sulfúrico, a una temperatura de 70°C aproximadamente y con una concentración que fluctúa entre el 6 y el 12%, reaccionando así el Oxido con el Acido y formando Sulfato de Cobre, que se deposita en el fondo de los tanques, los cuales deben ser limpiados periódicamente para la eliminación de este Sub-Producto. Después del baño ácido,

los rollos son pasados por un baño de agua a presión que elimina los excesos de ácido remanentes en el cobre, para finalmente pasar a un baño de bitartrato de potasio, con el objeto de neutralizar los restos de ácido que aún pudieran quedar, así como con el fin de dar una capa de protección al alambón que lo prevenga de oxidaciones posteriores durante las siguientes horas, antes de ser estirado.

2.- Estirado

Una vez obtenido el alambón limpio o descaspado es colocado en carros o vagonetas con un poste central, en grupos de ocho a diez rollos que están unidos por sus extremos, mediante una soldadura de arco a la que le ha sido eliminada la rebaba, con el objeto de no alterar el diámetro en el punto de la soldadura. Esta operación se efectúa con el objeto de alimentar continuamente las máquinas estiradoras, evitando así los paros cada vez que uno de los rollos sea terminado.

En el Departamento de Estirado, cuyas características señalaremos en el capítulo siguiente, son obtenidos

los diferentes calibres de alambres necesitados para las diferentes construcciones y secciones de conductores eléctricos.

Este departamento está dividido en tres secciones: Estirado grueso, estirado intermedio y estirado fino, distinguiéndose cada uno de ellos por el rango de calibres que procesa, de acuerdo con lo siguiente:

Estirado grueso	4/0 a 18 AWG
Estirado intermedio	18 a 26 AWG
Estirado fino	26 AWG y menores

Los alambres de las máquinas estiradoras pueden ser obtenidos en dos clases de empaques, rollos o bobinas metálicas, según se trate de producto terminado o de alambres que vayan a ser procesados posteriormente, para formar conductores más complejos. Asimismo, se pueden obtener en tres temple: duro, semiduro y suave.

Los alambres con temple duro y semiduro son normalmente utilizados en líneas aéreas de transmisión, en donde se requiere un alto esfuerzo a la tensión. El temple su-

ve se utiliza en todo el resto de los conductores, ya sean magnetos, de uso doméstico o industrial, telefónicos o de energía.

Como señalaremos posteriormente, todos los alambres obtenidos de las máquinas estiradoras adquieren el temple duro, y esto es debido, según se ha explicado, a que el hecho de trabajar el cobre a temperaturas bajas en un mismo sentido, los granos cristalinos son orientados en relación a un eje paralelo al sentido del trabajo efectuado, obteniéndose así una formación fibrosa que da las propiedades de alto esfuerzo a la tensión y baja elongación.

3.- Recocido

Con el objeto de obtener el temple suave de los alambres que han sido estirados, estos se someten a un proceso de calentamiento en un medio libre de elementos que puedan alterar las propiedades o apariencia del cobre.

Las temperaturas del recocido fluctúan entre

los 220 y 300°C, dependiendo de tres factores principales:

- A) Area de la sección transversal del alambre
- B) Grado de dureza que haya obtenido el cobre por el proceso de estirado
- C) Proporción y contenido de las impurezas del cobre electrolítico

El tiempo de calentamiento tiene una duración aproximada de tres horas, dependiendo esto principalmente del diseño o tipo de horno en que se efectúe la operación. Existen tres diseños básicos de hornos o sistemas de recocido:

- A) Horno de Retorta tipo campana
- B) Horno de vapor (diseño Kenworthy)
- C) Recocido electroresistivo

Los hornos de tipo campana constan de uno o varios carros de plataforma circular, sobre los que se depositan las bobinas conteniendo el material por recocer; una vez

depositado dicho material se cubre por medio de la Retorta, que tiene forma de campana, para ser introducida por medio de un elevador hidráulico a un gabinete elevado que contiene resistencias eléctricas en su interior, para proporcionar el calor necesario. Una vez terminado el ciclo de calentamiento, las campanas bajan del gabinete y se dejan a la intemperie para alcanzar la temperatura ambiente y finalmente se extrae el material ya recocido.

En estos hornos pueden existir dos tipos de atmósfera: vacío o gas inherente proveniente de la combustión del gas natural, o bien, del gas propano. La calidad de recocido obtenida en estos hornos es bastante uniforme; sin embargo, tiene el inconveniente de tener grandes ciclos de operación (3) horas de calentamiento, 28 horas de enfriamiento y 1 hora de carga y descarga).

El horno de vapor consiste en una retorta, en el interior de la cual existe vapor de agua con el objeto de formar una atmósfera protectora contra la oxidación. Esta retor-

ta está colocada sobre un depósito que contiene agua a una temperatura aproximada de 70°C , la cual sirve tanto para formar el sello para evitar la entrada de aire, como para enfriar la carga de material que baja de la retorta una vez terminado el ciclo de calentamiento. Alrededor de la retorta circulan los gases provenientes de la combustión del diesel para suministrar el calor necesario.

Este horno tiene la ventaja de tener un ciclo sumamente corto (4.5 horas), pero debido al tipo de atmósfera, la apariencia superficial del alambre recocido en él es defectuosa, ya que se mancha fácilmente.

El sistema electrorresistivo para recocer alambres de cobre, como su nombre lo indica, consiste en hacer pasar una corriente a través del alambre, que con el calentamiento alcanzado por el cobre, es recocido. Este sistema tiene la grandísima ventaja de que se puede acoplar directamente a las máquinas estiradoras, obteniéndose así alambre suave al mismo tiempo que se está estirando. Sin embargo, dada la gran

cantidad de corriente que se necesita, hasta la fecha el máximo calibre que se puede recocer mediante el sistema electro-resistivo en la práctica, es el # 6 AWG.

Los elementos que más comúnmente se presentan en las atmósferas de recocido, alterando así la constitución o apariencia del cobre, son el oxígeno y el azufre. El azufre puede presentarse en el caso de atmósferas de gas inerte, proveniente de la combustión del propano, si no se tiene un buen sistema de eliminación del azufre éste pasa a las campanas de recocido, reaccionando con el cobre y formando sulfuro de cobre. El oxígeno, que es el más común, proviene del aire remanente en las campanas al formar un vacío defectuoso.

Una vez recocido el alambre, por cualquiera de los métodos antes señalados, pasa a los siguientes procesos.

4.- Cableado

En el departamento de cableado los alambres provenientes del estirado se reúnen entre sí para formar conducto-

res de una mayor sección y una mayor flexibilidad.

Podríamos dividir las cuerdas formadas para conductores eléctricos en dos grandes grupos: cuerdas o cables concéntricos y cuerdas o cordones en haz.

Los primeros, como su nombre lo indica, están formados por alambres que forman capas concéntricas, de acuerdo con la siguiente tabla:

Número de Alambres Componentes					
Total	Central	1a. capa	2a. capa	3a. capa	4a. capa
7	1	6			
19	1	6	12		
37	1	6	12	18	
61	1	6	12	18	24

Estos cables, de acuerdo también con su aplicación, pueden estar formados por alambres de cualquiera de los temples anteriormente mencionados. Asimismo, estos cables, una vez formados como ya se indicó, se pueden hacer pasar a través de dados sectoriales con ángulos de 120° , para poste-

riormente ser reunidos entre sí y formar cables trifásicos.

Las cuerdas en haz están formadas por alambres torcidos entre sí, sin ninguna disposición fija, y son utilizadas principalmente para usos domésticos o industriales en donde se requiera alta flexibilidad. Para un mismo calibre, un cordón puede tener mayor o menor número de alambres componentes, según se desee mayor o menor flexibilidad.

5.- Plástico

En este departamento se aplican las cubiertas aislantes de cloruro de polivinilo o de polietileno, utilizando para ello máquinas de extrusión.

Las máquinas de extrusión tienen en su parte superior una tolva para alimentación del material aislante; esta tolva descarga el material en un tornillo de compresión, en donde se calienta el plástico al mismo tiempo que es arrastrado por el tornillo hacia una cabeza, por donde se encuentra pasando el conductor por aislar a través de una guía que lo

mantiene fijo, y en seguida a través de un dado para dar la forma de la cubierta aislante.

Las cubiertas aislantes pueden variar de espesor, de acuerdo con el voltaje a que vaya a trabajar el conductor, así como de las condiciones de trabajo en cuanto a daños mecánicos o químicos que pueda sufrir en su instalación o alojamiento. El espesor de dicha cubierta se puede regular por medio de los siguientes factores: flujo del material plástico hacia la cabeza de alimentación, temperatura del mismo, velocidad del conductor al momento de pasar por la guía y el dado, así como del diámetro del dado.

Una vez que el conductor ha recibido el material aislante en la máquina, es pasado de inmediato a una canal enfriamiento, en la cual entra en contacto con agua y posteriormente pasa a un probador de "chispa", en el que se somete a una prueba de voltaje la cubierta aislante. Finalmente, pasa a la polea de tracción que tira del conductor, para alimentarlo al carrete enrollador.

Para la extrusión de polietileno y cloruro de polivinilo, se utilizan las mismas máquinas y la única diferencia básica que existe para procesar uno u otro material, son las temperaturas de trabajo.

Durante el proceso de estirado se deben tener una serie de precauciones al procesar los alambres, con el fin de evitar dificultades al momento de la extrusión, las cuales pueden provenir de los siguientes puntos: exceso de grasa lubricante en el estirado, enrollado defectuoso del alambre en los carretes y una lubricación inadecuada al momento del estirado, causando con ello desprendimiento de polvo de cobre del alambre, motivando así fallas en el aislamiento y obstrucciones en la gufa utilizada durante el tubulado de la cubierta.

6.- Esmaltado

Con el nombre de magneto se designan a los conductores utilizados en la fabricación de motores, reactores, transformadores y en general, en toda clase de embobinados. Con el objeto de que estos conductores puedan trabajar en es-

tos embobinados, se recubren con aislamientos tales como esmaltes sintéticos, oleoresinosos, de papel, textiles, fibra de vidrio y otros.

Dentro de esta gama de aislamientos, uno de los más utilizados es probablemente el denominado "formvar", y consiste en una mezcla de resinas vinil acetal y resinas fenólicas, utilizando como solvente el cresol. El alambre proveniente de las máquinas estiradoras se alimenta a las máquinas de esmalte, en donde recibe varios baños del mismo, el cual, antes de pasar al horno, se hace pasar a través de un orificio que va controlando el espesor de la película; en los hornos son eliminados los solventes y simultáneamente a la operación de secado el alambre va tomando el temple suave, por lo cual no se hace necesario alimentar a las máquinas esmaltadoras con alambre previamente recocido.

En este capítulo, como mencionamos anteriormente, sólo se han descrito los procesos que intervienen en la fabricación de conductores, que están íntimamente relacio-

nados con la operación del estirado. Existen muchas otras fases del proceso en la fabricación de los mismos que no viene al caso mencionar en este estudio.

III

Características del Estirado y Cálculo del
Calor Generado

La práctica del Estirado del cobre es una operación que está basada en la ductibilidad de este metal y consiste en forzar el paso del alambón o alambre a través de conos o dados, trayendo consigo una reducción en el área y un aumento en la longitud.

Las máquinas estiradoras, de las cuales posteriormente hablaremos con mayor detalle dependiendo de su diseño y capacidad, pueden alojar uno o varios dados, permitiendo así reducciones de área considerables al alambre de alimentación para obtener la medida final deseada. Como ya se mencionó, durante esta operación existe un gran desprendimiento de calor debido al trabajo efectuado, por lo cual es necesario alimentar una cierta cantidad de material lubricante, que al mismo tiempo que efectúe el trabajo de lubricación, arrastre gran parte del calor generado, permitiendo así una mayor vida de las partes de la máquina que entran en contacto con el alambre, una mayor vida de los dados de estirado y un acabado superficial terso en el alambre producido.

En la operación de estirado existen por lo tanto tres puntos básicos para tomar en consideración.

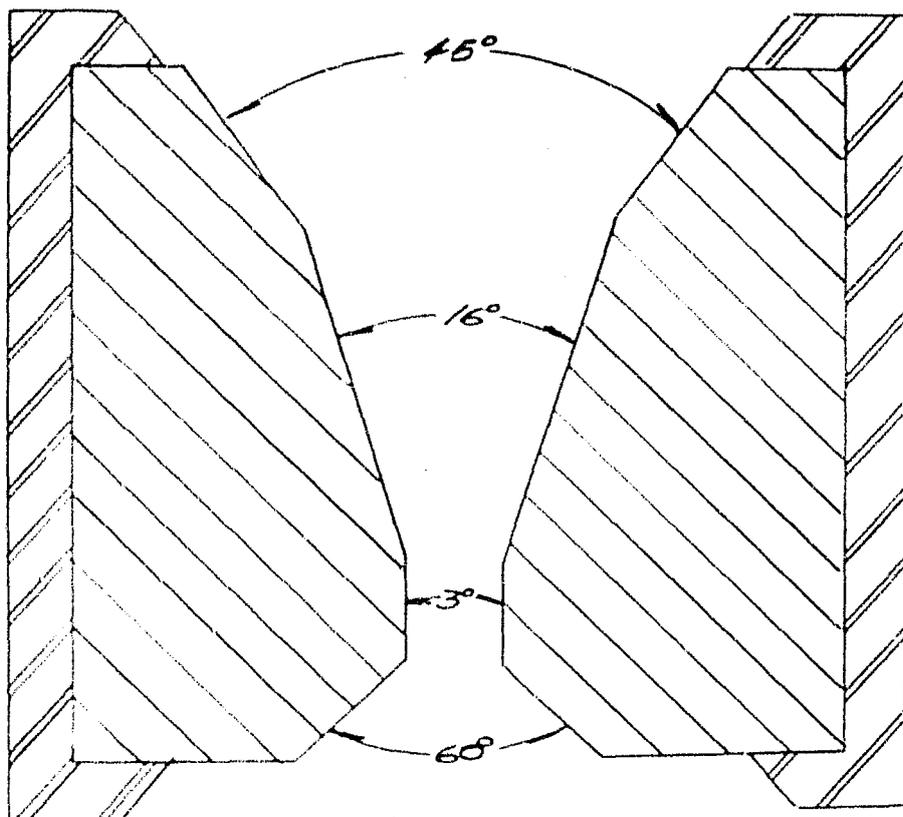
- a) Dados
- b) Solución lubricante
- c) Maquinaria

Dados .-

Los dados de estirado están formados por una pieza de metal duro alojado en el interior de una caja cilíndrica de acero, la cual se deposita en los espacios existentes en las máquinas estiradoras para este propósito. La pieza alojada en el interior de la caja cilíndrica puede ser de carburo de tungsteno o de diamante y esto depende de las dimensiones requeridas para el dado.

En la práctica se utilizan dados de carburo cuando el alambre que se va a estirar no es menor del 13 AWG, ya que para calibres menores que éste se justifica la inversión en dados de diamante.

Los dados de estirado tienen cuatro zonas diferentes, según podemos apreciar en la siguiente figura que muestra un corte transversal de un dado de carburo de tungsteno.



Corte Transversal de un Dado con Pastilla
de Carburo de Tungsteno

El cono de entrada tiene un ángulo que puede fluctuar entre los 45 y 60°, y es por esta sección por la que se permite la entrada del lubricante. La segunda sección o cono de estirado fluctúa entre los 16 y 18° y es a ella a donde llega el alambre que va a sufrir el estirado; la tercera sección denominada Chumacera tiene una longitud de aproximadamente el 50% del diámetro final y su ángulo fluctúa entre 1 y 3°. Finalmente, se localiza el cono de salida con un ángulo de 60°.

Para toda planta de estirado que procese un mínimo de 100 toneladas de cobre se justifica la inversión en un taller donde se reparen sus propios dados, ya que debido al trabajo efectuado durante el estirado, los dados se ovalan, se "anillan" o suben de diámetro; por lo tanto tienen que ser eliminados estos defectos, abriéndose el dado a una medida superior. La reparación de los dados de diamante y de los dados de metal se efectúa en distinta forma. Para los dados de metal se utilizan punzones de acero en cuyo extremo tiene la

forma del cono o sección del dado por reparar y que atacan al dado dañado al mismo tiempo que se coloca el abrasivo, que en este caso es el carburo de boro. Una vez que las diferentes secciones del dado están libres de defectos y tienen las proporciones debidas, el dado se limpia con polvo de diamante emulsionado en aceite, dejándolo así pulido a espejo y listo para funcionar.

En los dados de diamante se sigue aproximadamente el mismo proceso, pero el abrasivo utilizado es polvo de diamante que se va variando de tamaño de partículas conforme el dado se acerca a la medida deseada.

Como ya habíamos mencionado, en las máquinas estiradoras se pueden alojar varios dados, y estos dados pueden tener diferentes medidas de acuerdo con la medida deseada de alambre.

De acuerdo con observaciones tomadas en la práctica hemos obtenido algunas reglas para el cálculo de líneas

Para el cálculo de una línea de estirado se deberá tomar en cuenta la máquina estiradora en que se desea efectuar la operación, pues aunque en la actualidad la mayor parte del equipo de estirado tiende a uniformizarse en lo que respecta a relación de velocidad entre sus poleas de tiro, aún existen máquinas con diferentes relaciones. Esto significa que para una estiradora que guarda una diferencia de velocidades entre sus poleas de 21%, se deberá procurar que las reducciones en área del alambre sean del 21% aproximadamente.

Para el temple duro se deberá procurar efectuar la operación en una estiradora tipo "Tandem" o en su defecto en una máquina de poleas de alto diámetro; este requisito es indispensable para el estirado de alambres gruesos (6 AWG y mayores).

Por lo que respecta a la línea de dados, ésta deberá tener dos reducciones fuertes en los primeros dados, reducciones del orden de 35-37%, y posteriormente mantener las reducciones normales, ejem:

1a. reducción 35%

2a. reducción 34%

3a. reducción 28%

4a. reducción 22%

5a. reducción 21%

6a. reducción 21%

7a. reducción 21%

En términos generales se puede decir que se obtiene un alambre de temple duro cuando han sido rebajados 7 números AWG a partir de un suave, Ejem.

4 AWG suave, estirado a 11 AWG,
resulta 11 AWG duro.

Para los casos en que se requiera obtener un alambre duro sin que haya posibilidad de rebajar los 7 números AWG (ejem: de 5/16 a 6 AWG), habrá que recurrir al método antes dicho, y si aplicando este método no se obtienen los resultados deseados, habrá que recurrir a estirar el alambre partiendo de un alambre más grueso.

El temple semiduro se puede obtener de dos maneras: rebajando 2 números AWG a partir de un suave (de 4 AWG suave a 6 AWG por ejemplo), o mediante el uso de poleas flexionadoras, en cuyo caso se deberá calcular la línea de estirado con reducciones de área que no sobrepasen del 30% en ningún caso.

Al estirar un alambre que posteriormente vaya a ser recocado se deberá evitar hacer reducciones fuertes de área, para así evitar un endurecimiento en el alambre trayendo los consiguientes trastornos para su recocado. Como regla general se deberá procurar no efectuar reducciones mayores del 30-32%.

Cuando se utilizan dados de metal se puede efectuar cualquier reducción de área comprendida entre 21 y 40%. Teóricamente esto también se podría efectuar en los dados de diamante, pero dado el alto costo de éstos, sólo se pueden llevar en existencia determinadas medidas, por lo que únicamente se utilizarán para reducciones de un número AWG, es

decir 21% de reducción en área.

Una vez tenidas en cuenta las consideraciones anteriores, podemos efectuar el cálculo de la línea de dados.

En primer lugar debemos saber qué alambre se desea obtener y de qué alambre o alambión se partirá; en seguida, por el tipo de máquina usada, conoceremos el número máximo de dados a utilizar.

Diámetro de salida (13 AWG)	1er. dado	.072"
Diámetro de entrada (5/16)	Entrada	.312
Máq. 10 dados (No. máx. dados)		10
1a. reducción 21%	2o. dado	.081"
2a. reducción 23%	3er. dado	.092"
3a. reducción 23%	4o. dado	.105"
4a. reducción 24%	5o. dado	.121"
5a. reducción 24%	6o. dado	.139"
6a. reducción 25%	7o. dado	.160"
7a. reducción 26%	8o. dado	.186"

8a. reducción 26%	9o. dado	.260"
9a. reducción 29%	10o. dado	.256"
10a. reducción	Entrada	.312"

con lo cual, la línea de dados sería:

.312 - .256 - .216 - .186 - .160 - .139 - .121 - .105 - .092
.081 - .072

Entre el dado final y el embobinado siempre hay una elongación que varía de .0001" a .0002" dependiendo del tipo de estiradora y de la medida de alambre que se estira; por lo que es necesario tomarlo en cuenta y así poder obtener exactamente el diámetro final deseado.

Lubricante

Los lubricantes utilizados en el estirado consisten en grasas, principalmente animales y vegetales, aún cuando también pueden ser usadas las minerales, pero en el caso de México, debido al contenido de azufre de las mismas se ha preferido no utilizarlas, ya que la presencia de azufre, como

se mencionó anteriormente, causa problemas de manchado en el proceso del recocido.

El nombre solución de grasas es el comúnmente utilizado, y es el que utilizamos en este estudio debido a que es conocido a í por todos los fabricantes, tanto de grasas como de equipo de estirado, aún cuando en realidad se trata de una suspensión coloidal según pruebas que efectuamos en el laboratorio. Estas grasas se utilizan en diferentes concentraciones dependiendo del rango de producción de las máquinas estiradoras, de acuerdo con la siguiente tabla:

Gama	Concentración
8 AWG y mayores	grasa sólida
4 a 18 AWG	5 a 7%
18 a 26 AWG	3 a 4%
26 a 36 AWG	1 a 2%
36 AWG y menores	0.2 a 0.5%

Esta tabla indica las concentraciones generalmen-

te utilizadas para estirado de cobre, aún cuando pueden sufrir variaciones en la práctica, de acuerdo con el tipo de máquina estiradora o producto en específico que se desee obtener, ya que como por ejemplo para el alambre de trole ranurado que se produce en calibres del 1/0 al 4/0 AWG se utiliza una concentración del 20%.

Es conveniente que en la práctica se mantengan las concentraciones especificadas lo más estrictamente posible, ya que si esto no se cumple, la vida de los dados y de las partes de la máquina que entran en contacto con el alambre se afectan considerablemente. Con el objeto de conocer las concentraciones tenidas en los diferentes sistemas, es conveniente efectuar pruebas cuando menos una vez por semana, dependiendo esto principalmente de las condiciones de operación del equipo y de la cantidad de material procesado. La prueba efectuada en el laboratorio para conocer la concentración de las grasas, consiste básicamente en agregar a una muestra tomada del sistema una determinada cantidad de ácido sulfúrico tal,

que rompa el equilibrio electrostático de las partículas suspendidas en la solución, formando así conglomerados de las mismas que al aumentar de tamaño se separan de la solución.

Otro factor importante a controlar en los sistemas de grasas, es el Ph de la solución, el cual se debe mantener entre 8.5 y 9.5 con el objeto de evitar la formación de estearatos de cobre, la cual se ve acelerada en un medio con un Ph inferior a los mencionados. Debido a que no obstante todas las precauciones tomadas en el proceso de decapado para eliminar el ácido del alambión proveniente de laminado, éste guarda cierta acidez, el Ph de la solución, a medida que pasa el tiempo, tiende a bajar. Para contrarrestar esta acción se deben agregar a la solución determinadas cantidades de carbonato de sodio, con objeto de volver a subir el Ph a los valores mencionados.

Por último, es necesario que la solución se mantenga a una temperatura que fluctúe entre 110 y 115°F, al momento de entrar a las máquinas. Se han efectuado pruebas con soluciones a distintas temperaturas y se ha encontrado que tem-

peraturas superiores a las mencionadas provocan frecuentes reventones en el alambre procesado, así como una disminución considerable en la vida de los dados. Pruebas efectuadas con solución a 150°F aproximadamente señalaron que la vida de un dado calibre 12 AWG fue de 870 kilos, cuando en condiciones normales su duración debe ser de 3 toneladas. De aquí la importancia que tiene un buen control de la temperatura en la solución lubricante para mantenerlo dentro del rango indicado. Claro está que otro factor importante que determina la vida de las partes que intervienen en el estirado, es la calidad de las materias primas que intervienen en la fabricación del lubricante, sin embargo, no trataremos este punto ya que sería motivo de un largo estudio.

Con el objeto de poder hacer los cálculos del calor generado en el estirado, así como de la capacidad de bombeo necesaria para el sistema de lubricación, se hicieron determinaciones de viscosidad en las máquinas de estirado grueso, que son motivo de este estudio, habiéndose encontrado

que la solución lubricante a una temperatura de 110°F tiene la viscosidad promedio de 0.8 centipoises y una densidad de 62.27 lb/pulg². Asimismo, los datos suministrados por el fabricante de la grasa indican que la grasa denominada comercialmente como Q620 a una temperatura de 110°F y con una concentración del 6%, tiene un calor específico de 0.95 Btu/lb^oF.

Es natural que este calor específico varíe a diferentes concentraciones de grasas, pero solo utilizaremos el valor anteriormente mencionado ya que corresponde al rango del estirado grueso.

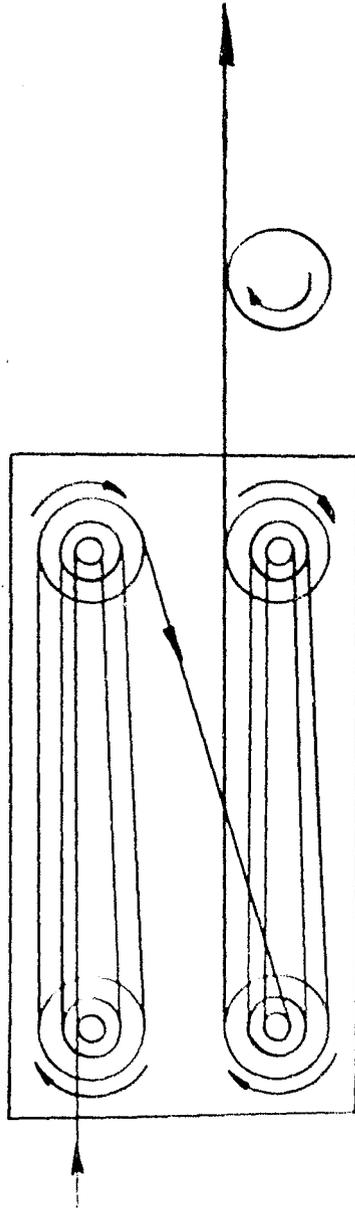
Maquinaria

Las máquinas estiradoras consisten básicamente en una serie de volantes que al tirar del alambre lo hacen pasar a través de los dados, los cuales se encuentran alojados entre dichos volantes de tiro.

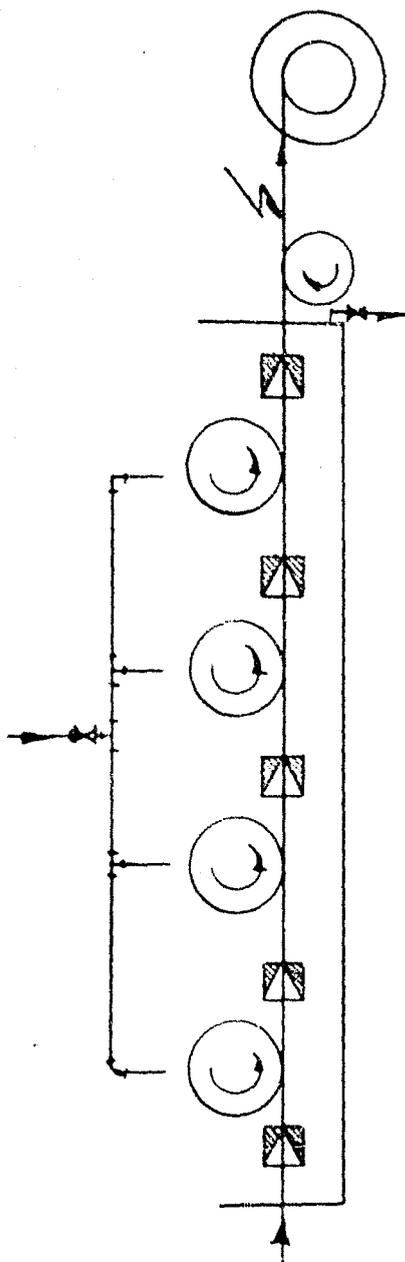
Existe una gran variedad de diseños de máquinas estiradoras, según el metal por estirar, la gama de alambres

procesados, la velocidad, etc. De acuerdo con el rango de los alambres estirados, generalmente es aceptada la clasificación de máquinas en gruesas, intermedias y finas, según se obtengan de ellas alambre con diámetros de .0403" y mayores de .0403 a .0160", y de .0160" y menores, respectivamente. En nuestro caso nos ocuparemos de las máquinas para calibres gruesos.

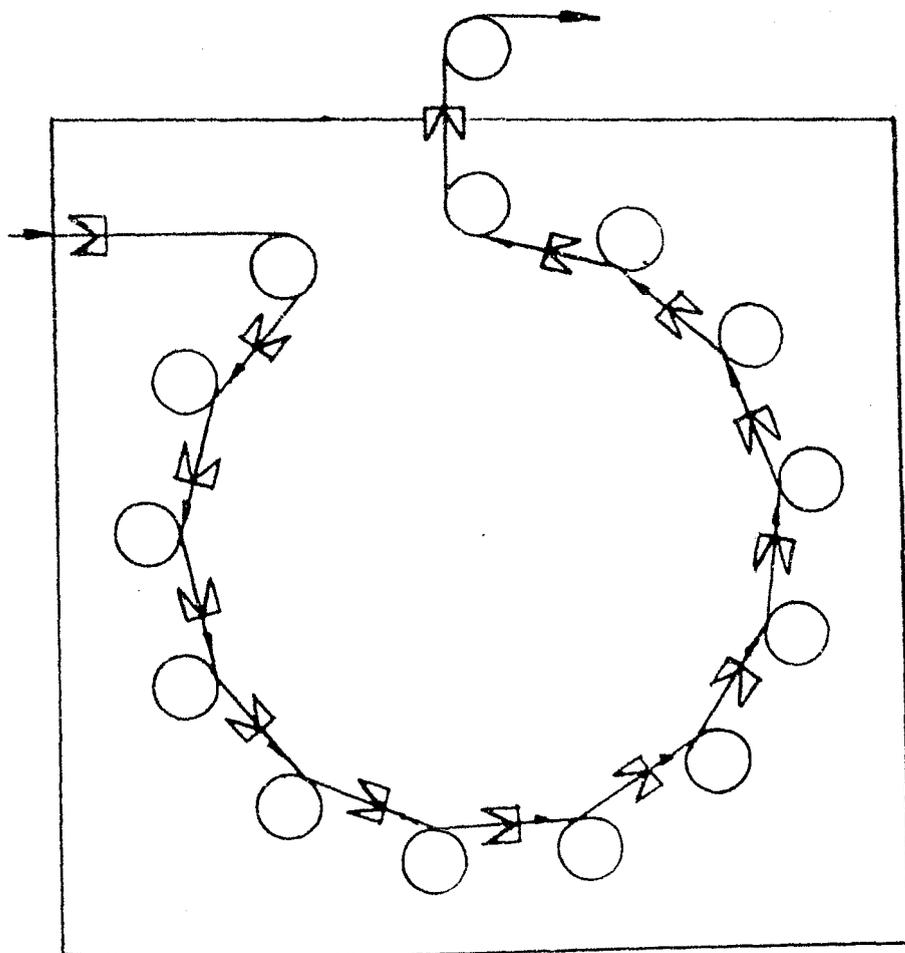
Si se toma en cuenta la configuración de los volantes de tiro o poleas, se podrían clasificar las máquinas en línea o tandem, máquinas de tipo cono y máquinas en anillo o "Ring Blox", según se muestra en las siguientes figuras:



Esquema de Máquina Estiradora tipo Cono



Esquema de Máquina Estiradora tipo Tandem



Esquema de Máquina Estiradora
tipo Anillo

Cada uno de los tipos de máquinas estiradoras tiene su especial aplicación, de acuerdo con el tipo y calibre de alambre que se desee obtener, aún cuando en general, la tendencia actual de los fabricantes de equipo es la de utilizar más la máquina de tipo cono. Las máquinas en tandem son especialmente utilizadas para el estirado de alambres de una sección transversal elevada, o bien de figuras especiales como el alambre trole.

La potencia requerida para el motor de una máquina estiradora depende de varios factores: metal por estirar, número de dados en la máquina, calibre y rango de los alambres obtenidos, calibre y rango del alambrón o alambres de alimentación, tipo de transmisión, etc. Con el fin de dar una idea al respecto, a continuación se enlistan los siguientes ejemplos:

Alimentación Máxima	Rango de Salida	Número de dados	Potencia (HP)
3/8"	0.162" - 0.0403"	10	200
0.128"	0.0403" - 0.0160"	12	40
0.080"	0.0160" - 0.003"	16	25

Cálculo del Calor Generado

Debido al trabajo efectuado en el proceso de estirado, existe un desprendimiento de calor el cual, como mencionamos anteriormente, es arrastrado por la solución lubricante.

Con el objeto de encontrar la cantidad de este calor, así como la parte del mismo que arrastra la solución, hemos hecho un balance de calor en una de las máquinas al momento de procesar un calibre 12 AWG, el cual viene a ser el promedio de los calibres procesados en las estiradoras gruesas, según las producciones mensuales promedio en 1962, que aparecen en la siguiente tabla.

Máquina	Tons.	Kms.	Kgs/Kms Prom.	HP. Inst.
9 D	27.6	720	38.4	115
10 D-1	118.0	5 160	23.8	200
10 D-2	100.0	3 050	33.0	250
13 D	353.4	15 039	23.5	250
Total	599.0	23 969	25.0	815

Al momento de procesar alambre 12 AWG, la má-

quina de 13 dados se encontraba en las siguientes condiciones:

Alimentación de solución	200 gal/min.
Increment. temp. de la solución	5°F
Increment. temp. del cobre	112°F
Velocidad de la máquina	3 000 pies/min.
Corriente tomada	257 amperes

1.- Cálculo del caballaje tomado por la máquina.--

La máquina se alimenta con corriente trifásica a 440 voltios, en donde hay un factor de potencia de 0.8 aproximadamente.

$$\begin{aligned} P &= 1.732 \times V \times I \times fp \\ &= 1.732 \times 440 \times 257 \times 0.8 \\ &= 156\,500 \text{ watts} \end{aligned}$$

lo cual equivale a 211 HP

2.- Calor arrastrado por la solución de grasas.-

El dato de calor específico según lo mencionado en el capítulo anterior, es de 0.95 Btu/lb°F

$$Q = \omega C_p \Delta t$$

$$(200 \times 3.785 \times 2.2) \times 0.95 \times 5$$

$$7440 \text{ Btu/min}$$

el cual corresponde a 173 HP

3.- Calor arrastrado por el cobre.-

El calor específico del cobre entre 15 y 100°C es de 0.093. Por otra parte, 3 000 pies por minuto de alambre 12 AWG equivalen a 59 lbs/min., ya que tiene un peso de 30 Kgs/Km. aproximadamente.

$$Q = 59 \times 0.093 \times 112$$

$$614 \text{ Btu/min.}$$

el cual corresponde a 14.3 HP

La suma del calor arrastrado por el cobre y la solución es de 8 050 Btu/min., que corresponde a 187.3 HP, dado que el motor de la máquina estaba tomando 211 HP, el resto se pierde en eficiencia del mismo motor, pérdidas mecánicas y pérdidas por radiación.

De este balance podemos obtener como conclusión que un 80% aproximadamente de la energía consumida por la máquina estiradora debe ser arrastrada o disipada con la solución lubricante .

Con el objeto de calcular el calor máximo generado, supondremos las 4 máquinas trabajando a plena capacidad, lo cual nos dá 815 HP, de acuerdo con la tabla anterior.

por lo tanto: $815 \times 0.8 = 652.0 \text{ HP}$

lo cual equivale a 27 700 Btu/min .

que es la cantidad máxima de calor arrastrada por la solución, misma que le deberá ser removida en el intercambiador de calor, con el objeto de volverla a recircular a las máquinas estiradoras .

Ahora bien, debido a que la temperatura ideal de trabajo durante el estirado es de 110 a 115°F, podemos calcular ya la cantidad de solución que debemos mantener en circulación .

$$Q = \omega C_p \Delta t$$

$$27700 = \omega \times 0.95 \times (114 - 110)$$

$$\omega = 700 \text{ galones/min.}$$

IV

Cálculo y Selección del Cambiador de Calor

De acuerdo con los datos obtenidos en el capítulo anterior, tenemos que se deben eliminar 1,662,000 Btu/hr. a un flujo de 700 galones/minuto de solución lubricante.

En la planta se dispone de un sistema central de recolección y enfriamiento de agua, con el objeto de ser utilizada tanto en el proceso de fabricación de los conductores, como en el equipo adicional como es el caso presente. Esta agua se encuentra a una temperatura de 80°F , y será la utilizada en el cambiador.

Debido a que la solución lubricante se contamina de polvo de cobre, estopas, polvo, etc., es conveniente que fluya por el interior de los tubos del cambiador, con el fin de que se pueda limpiar con más facilidad.

Haremos el cálculo del área necesaria, suponiendo usar 150 gal/min. y posteriormente haremos este mismo cálculo para diferentes gastos de agua, con el fin de seleccionar el área más económica.

Seleccionamos 36 tubos de 1 pulg. de diámetro exterior (BWG 18 de cobre) con el objeto de que puedan ser limpiados en su interior fácilmente; cada tubo tiene 0.594 pulg.² de sección transversal.

La velocidad de solución por un tubo será:

$$Q = v A$$
$$\frac{700}{7.48 \times 60} = \frac{36 \times 0.594}{144} v$$
$$v = 6.64 \text{ pies/seg.}$$

Pasamos ahora al cálculo de la velocidad del agua por la camisa, para lo cual se diseñaría el cambiador con los tubos formando triángulos equiláteros, y la separación, tanto entre las paredes de los tubos, como entre éstas y la pared de la cubierta, será de 1/3 pulg., con lo que obtendríamos un diámetro interior en el cambiador de 9½ pulg.

Area de la secc. transv. correspondiente
a un tubo de 9.5 pulg. diám. = 70.8 pulg²

Area de la secc. transv. correspondiente a

$$36 \text{ tubos } 1 \text{ pulg. de diám.} = 28.3 \text{ pulg}^2$$

$$\text{Area por donde fluye el agua} = 70.8 - 28.3$$

$$= 42.5 \text{ pulg}^2$$

Siguiendo el mismo procedimiento que para el cálculo anterior, tenemos que la velocidad del agua será:

$$\frac{150}{7.80 \times 60} = \frac{42.5}{144} v$$

$$v = 1.13 \text{ pies/seg.}$$

Para el cálculo del coeficiente de película para la solución, haremos uso de las tablas y gráficas del libro "Stoever", las cuales se basan en los trabajos de Dittus y Boelter para la determinación de un coeficiente "base" de película, el cual se corrige a las condiciones de diámetro y temperatura, según el caso; para lo cual se aplica la fórmula:

$$h = h_0 \times \Gamma_t \times \Gamma_d$$

en donde h = coeficiente de película deseado
 h_0 = coeficiente de película en condiciones base

F_t = Factor de corrección por temperatura
 F_d = Factor de corrección por diámetro

$$h = 1250 \times 1.1 \times 1.00$$
$$h = 1375 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

De igual forma, pero utilizando el caso de "líquidos o gases calentados o enfriados por fuera de los tubos del cambiador" determinamos el coeficiente para el agua.

$$h = 1270 \times 1.00 \times 0.92$$
$$h = 1165 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

En el cálculo de h para el agua, fue necesario determinar la temperatura de salida de la misma, la cual se encontró de la siguiente forma

$$Q = w C_p \Delta t$$
$$27700 = (150 \times 8.35) \times 1 \times (t - 80)$$
$$t = 102 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Así mismo, para obtener el coeficiente del agua, se calculó el diámetro equivalente mediante la ecuación

$$d_e = 4 \frac{A}{P}$$

en donde d_e = diámetro equivalente
 A = Area de la secc. transv. del espacio entre tubos
 P = Perímetro de cada tubo x número de tubos

$$d_e = 4 \frac{42.5}{36 \times 3.14}$$

$$d_e = 1.50''$$

Con el fin de poder calcular el coeficiente total de transmisión U , sólo nos falta el coeficiente de transmisión para el tubo de cobre, el cual tiene una inversa de - - - 0.00023 para el 16 AWG de cobre. Por lo tanto, el coeficiente total de transmisión será:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{1}{h_3}$$

en donde U = coeficiente total de transmisión
 h_1 = coeficiente de transmisión del agua
 h_2 = coeficiente de transmisión de la solución
 h_3 = coeficiente de transmisión del tubo de cobre

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{1165} + \frac{1}{1375} + 0.00023$$

$$U = 539 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ or}$$

Este sería el coeficiente total de transmisión en condiciones ideales de limpieza, pero dado que en la práctica

la suciedad arrastrada (estopa, polvo, aceite, etc.) tanto por la solución como por el agua, forma una pared de resistencia aún mayor que las anteriores, es necesario determinar un factor de seguridad por suciedad (fouling factor).

Este factor depende mucho de las condiciones de trabajo de las máquinas estiradoras, ya que se vé afectado por el tipo de cobre con que se opere (desprendimiento de mayor o menor cantidad de polvo de cobre), tiempo que tenga operando la solución, ya que a medida que transcurre el tiempo de operación de la misma se van formando estearatos de cobre de consistencia pastosa que se adhieren fácilmente a las paredes.

De la experiencia hemos observado que este factor disminuye de 3.5 a 4.5 veces el coeficiente total de transmisión, con lo cual se vería disminuido de 539 a 125 Btu/hr ft² °F. Este dato concuerda aproximadamente con la experiencia obtenida en plantas similares en los Estados Unidos.

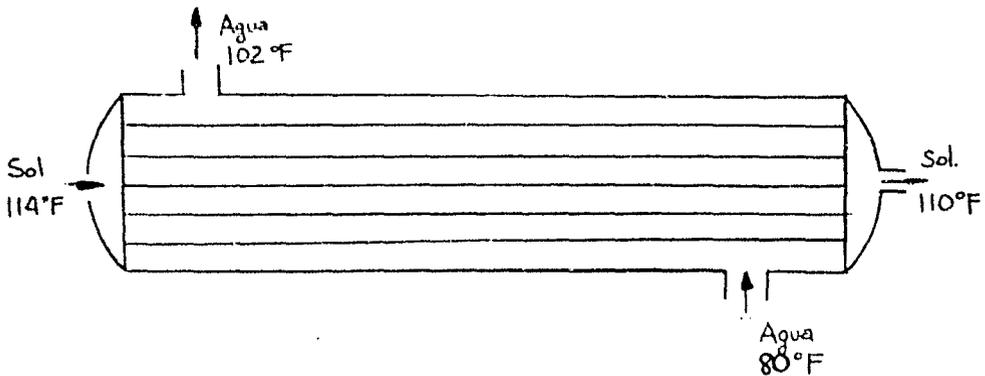
Ahora pasamos a determinar el área necesaria de

transmisión de calor mediante la ecuación.

$$Q = U A (\Delta t_m)$$

en donde Q = cantidad de calor transmitido
 U = coeficiente total de transmisión
 A = área de transmisión de calor
 Δt_m = diferencia media logarítmica de temperaturas

$$\Delta t_m = \frac{\Delta t' - \Delta t''}{2.3 \log_{10} (\Delta t' / \Delta t'')}$$



Se seleccionó el flujo a contra-corriente debido a que en esta forma Δt_m resultaba mayor que con flujos en paralelo, por lo que el área necesaria se hubiera incrementado.

de esta forma:

$$\Delta_{tm} = \frac{(110-80) - (114-102)}{2.3 \log_{10} \frac{110-80}{114-102}}$$

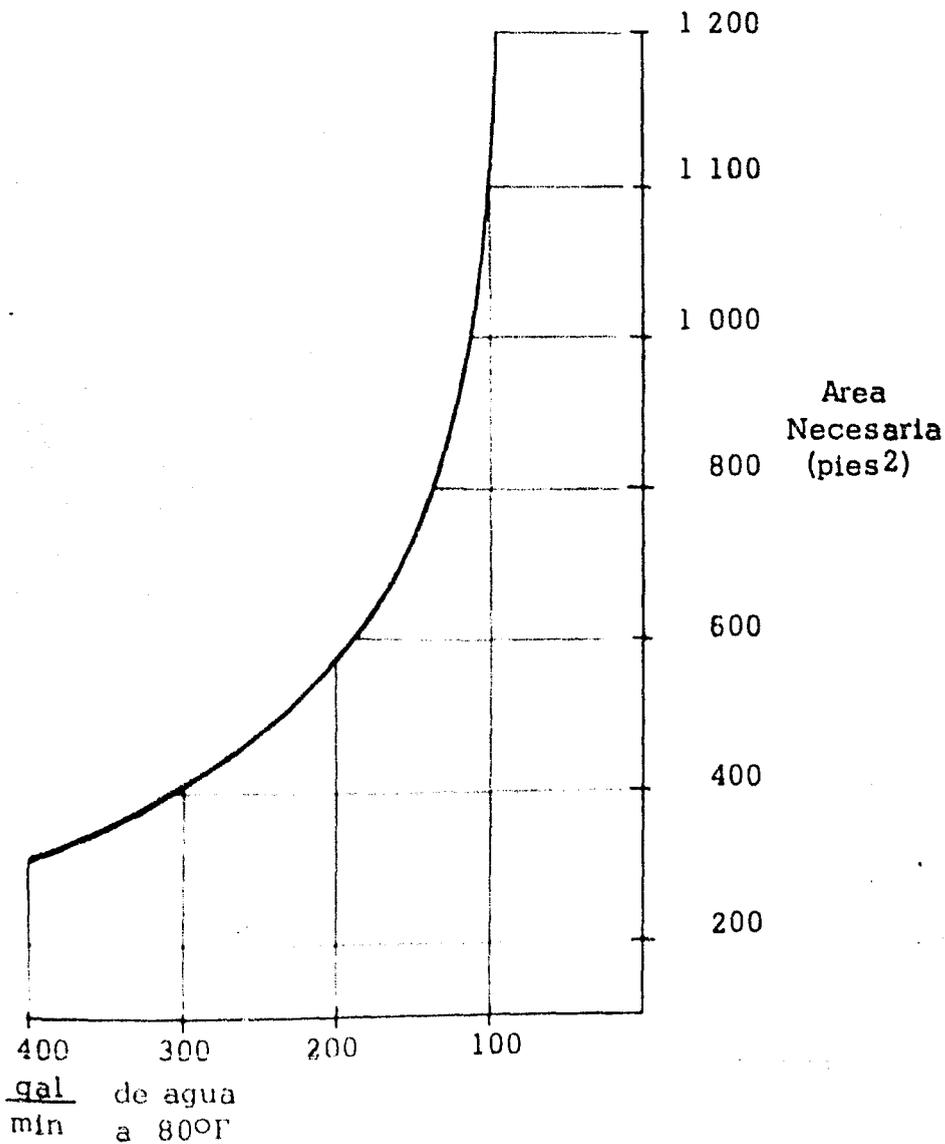
$$\Delta_{tm} = 19.6 \text{ } ^\circ\text{F}$$

por lo cual:

$$A = \frac{1662000}{125 \times 33.4} = 675 \text{ ft}^2$$

Con el objeto de encontrar una relación entre el flujo de agua alimentada al cambiador de calor y el área necesitada por el mismo, se procedió a hacer el cálculo anterior para diferentes flujos de agua, habiéndose encontrado la relación de acuerdo con la gráfica siguiente.

Relación entre Agua de Enfriamiento y Área de Transmisión



De acuerdo con la relación encontrada, lo mejor sería hacer una inversión en un cambiador de poca área y alto flujo de agua; sin embargo, para encontrar la relación óptima, será necesario tener también una relación del costo del bombeo de agua de enfriamiento e inversión en la misma, contra los cargos anuales por el cambiador de calor.

Para obtener los datos anteriores, sería necesario hacer el cálculo de bomba y tuberías para el agua de enfriamiento, pero dado que la localización del cambiador queda sumamente cerca del tanque de agua recirculada, podemos considerar como despreciable la inversión efectuada en tubería de uno u otro diámetro. Asimismo, existe un ramal de agua fría ya en la fábrica, del cual se tomará una línea para alimentar el cambiador, por lo cual no se hace necesaria una inversión en bomba.

Dado lo anterior, sólo tenemos que tener en cuenta el costo de bombeo por galón que se tiene para el mencionado sistema de recirculación de agua, y para é ello tenemos

los datos siguientes:

Capacidad de recirculación del sistema	600 gal/min.
Inversión total para el sistema de recirculación	\$400 000.00
Costo de la corriente consumida por año (30 HP)	34 000.00
Mano de obra por año	15 000.00
Depreciación por año (10 años)	40 000.00
Gastos por año por el área ocupada	3 000.00
Pérdidas de agua en el sistema (\$0.53/m ³)	4 600.00
Gastos anuales por mantenimiento	8 000.00

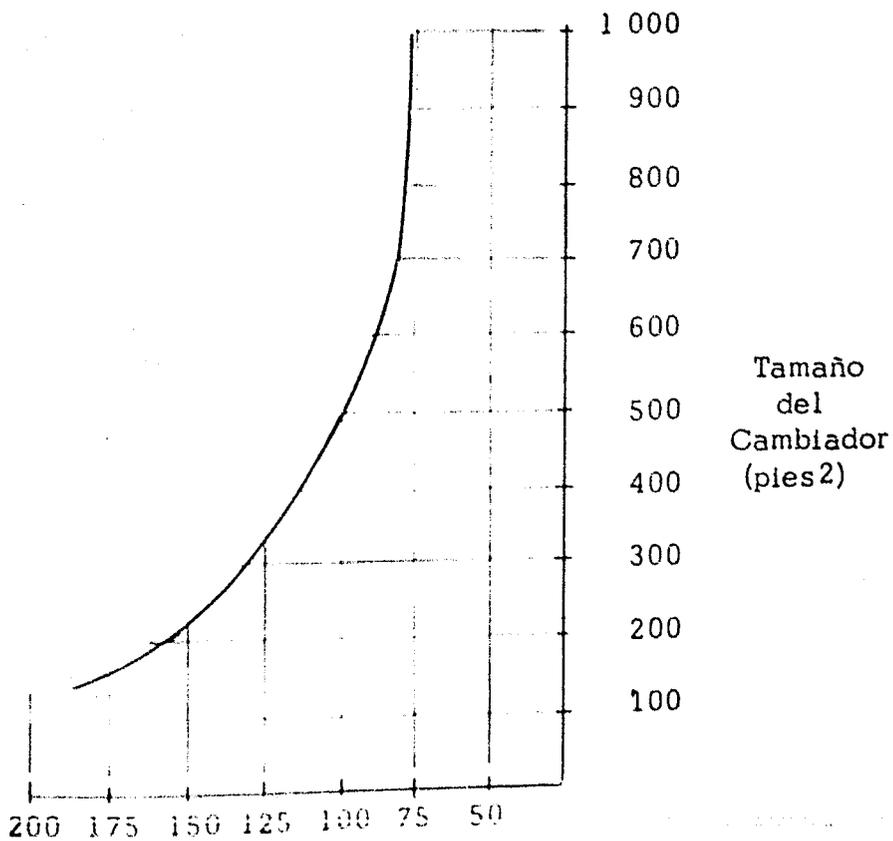
Para el cálculo de los gastos se considera que este equipo trabaja 300 días al año, 24 horas diarias.

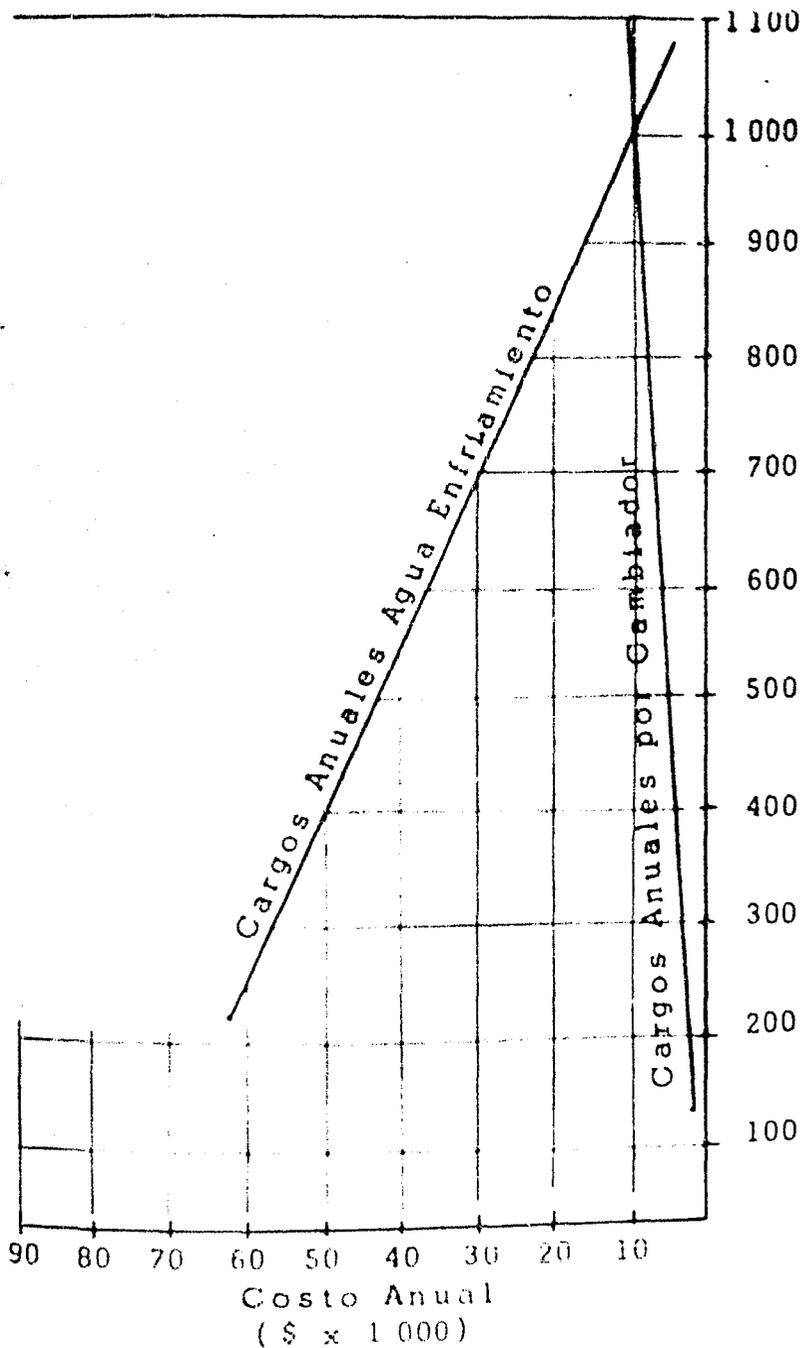
Por lo tanto: Costo total anual	\$ 104 600.00
Galones circulados por año	260 000 000
Costo por galón recirculado	\$ 0.00040

Por otra parte, los costos anuales por el cambiador de calor se calcularon obteniendo cotizaciones para diferentes tamaños de cambiadores (ver gráfica de costos de cam-

biadores) y se depreciaron a 10 años, habiéndoseles agregado un cargo por mantenimiento y supervisión del orden del 3% anual de la inversión; con esto se obtuvo la relación de cargos por el cambiador y cargos por el agua de enfriamiento.

Relación entre Tamaño y Costos del Cambiador de Calor





De acuerdo con las consideraciones anteriores, en donde salta a la vista que el costo mayor por operación corresponde al agua de enfriamiento, se deduce que el cambiador de calor de operación más económico deberá tener un área de aproximadamente 1 000 pies².

Es conveniente que al momento de seleccionar un modelo estandar de cambiador, de las características antes señaladas, se tenga cuidado de que la longitud no sea excesiva, con el objeto de poder limpiar con facilidad el interior de los tubos, que es en donde mayor cantidad de grasa y suciedad se depositará, causando con ello una baja en el rendimiento de la unidad.

Uno de los cambiadores que se podría seleccionar, y el cual utilizaremos para los cálculos posteriores, tiene las siguientes características:

Número de pasos	1
Área (ft ²)	1063

Diámetro tubos (pulg.)	3/4
Distancia entre cabezales (pulg.)	160 7/8
Diámetro interior (pulg.)	21
Caída de presión de la solución (lb/pulg ²)	4

V

Cálculo del Sistema de Bombeo y
Distribución

Antes de entrar directamente a la selección de tuberías y cálculo de bombeo, es necesario hacer algunas consideraciones con respecto a la localización y distribución del sistema.

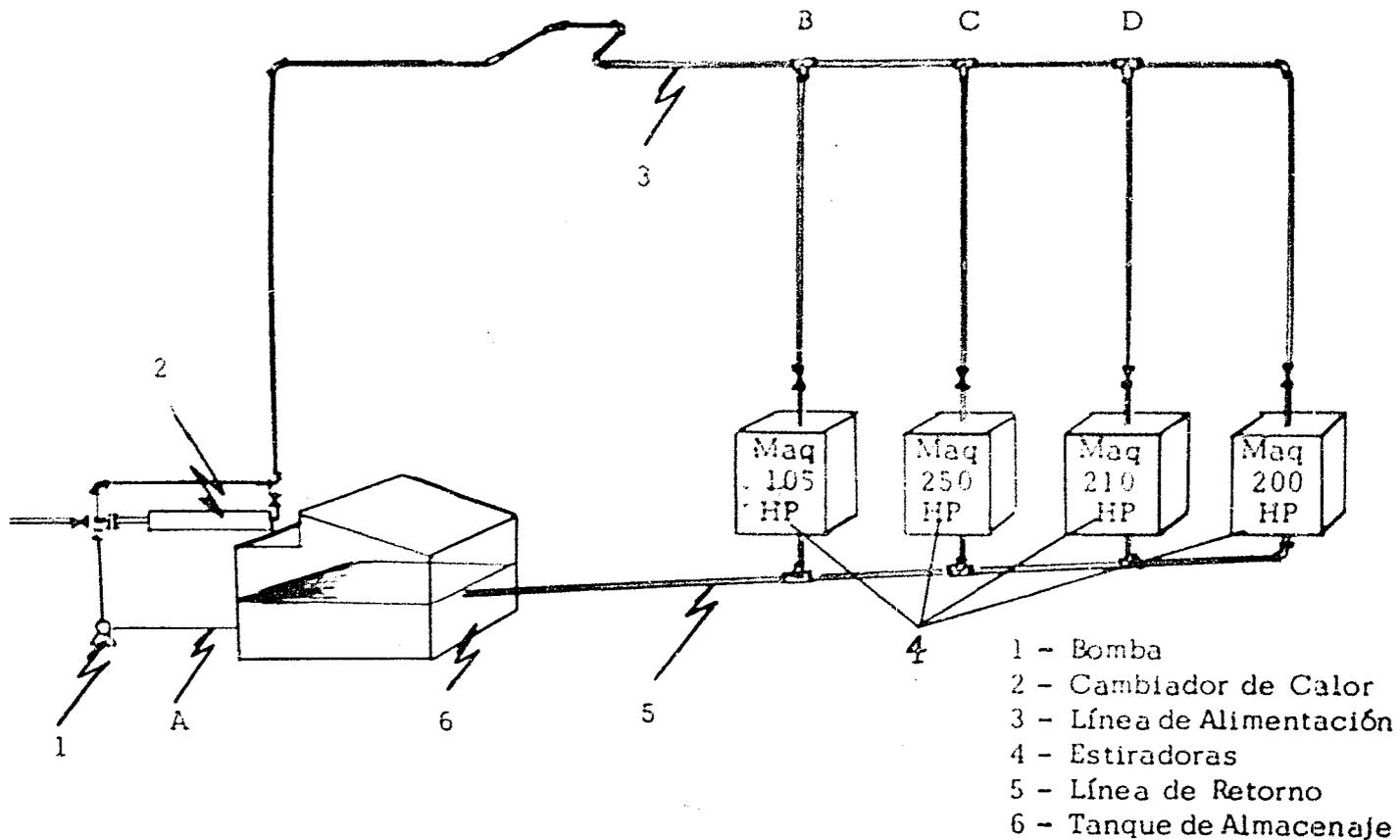
Por lo que se refiere al tanque de almacenamiento, es conveniente que esté localizado lo más cerca posible de las estiradoras, pero debido a lo valioso del espacio interior en la fábrica, es asimismo conveniente que se sitúe en el exterior del área construida. Del mismo modo, debido al alto costo del bombeo dado el volumen manejado, resulta más económico que dicho tanque se localice bajo el nivel del piso para que el retorno de la solución se verifique por gravedad.

Una serie de pruebas efectuadas en la práctica nos han indicado que es conveniente tener un volumen de solución en el tanque que fluctúe entre 6 y 8 veces el volumen bombeado por minuto, pues si se mantiene una menor cantidad en el sistema, las fluctuaciones en el Ph se vuelven muy frecuentes y marcadas, así como la frecuencia del cambio de la solu-

ción se incrementa. Mantener una mayor cantidad de la indicada significa ya una fuerte inversión en grasas y tanque.

Debido a la espuma formada principalmente cuando la solución es nueva, es conveniente que el tanque tenga un volumen del doble de la cantidad almacenada, por lo cual, para las necesidades de la planta de este estudio, el tanque deberá tener un volumen igual a 14 veces 700 galones; es decir, de 9 800 galones ó 37 metros cúbicos.

En cuanto a la tubería, es conveniente que sea elevada, ya que el romper el piso existente en la planta tendría un alto costo, pues dicho piso de concreto tiene bastante espesor debido a que está calculado para resistir 3 toneladas por metro cuadrado. Por otra parte, la tubería aérea tiene la ventaja de ser más accesible a reparaciones, obtención de nuevas ramas, y facilita la instalación de nuevo equipo. Por las consideraciones anteriores, la tubería deberá quedar suspendida a la altura de la estructura del edificio, de donde bajarán los ramales de alimentación a las estiradoras.



Escala Aprox. 1:200

La selección de la tubería se hará mediante un estudio económico posteriormente; a continuación se efectuará el cálculo de la potencia de bombeo para las siguientes dimensiones de tubería:

tramo ED	2½" diám.
tramo DC	4" diám.
tramo CB	5" diám.
tramo BA	6" diám.

Los ramales de alimentación que bajan de los puntos B, C y D se descartan de este cálculo por considerar que si la presión en los puntos mencionados es suficiente para vencer las pérdidas del resto de la línea, con mayor razón será suficiente para hacer llegar el lubricante a las máquinas que se encuentran a 4 metros abajo de la línea general.

Partiendo del hecho de que para una capacidad total instalada de 815 HP se necesita una alimentación de 700 galones por minuto, podemos asumir que por cada HP se necesitan 0.87 gal/min. de solución.

Debido a lo anterior, tenemos lo siguiente:

	tramo ED	tramo DC	tramo CB	tramo BA
Diám. (pulg.)	2.5	4	5	6
Longitud (pies)	27.8	9.8	13.1	98.4
Long. equiv. (pies)	76.0	6.7	8.5	147.0
Long. total (pies)	103.8	16.5	21.6	245.4
Flujo (gal/min)	172.0	387.0	601.0	700.0
Veloc. (pies/min)	11.50	9.74	9.65	7.80
ϵ	.0025	.0015	.0012	.0010
Re	2.74×10^5	3.78×10^5	4.69×10^5	4.56×10^5
f	.025	.022	.021	.020
ρ_w (ft lb/lb)	25.82	1.59	1.38	9.14
ΔZ (ft lb/lb)	-13.11	0	0	20.30

por lo tanto:

$$\Delta P_{ED} \text{ (lb/in}^2\text{)} = 25.82 - 13.11 \frac{\text{(ft lb)}}{\text{lb}} \times 62.27$$

$$\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \times \frac{1}{144 \text{ in}^2/\text{ft}^2}$$

$$\Delta P_{ED} = 5.51 \text{ lb/in}^2$$

$$\Delta P_{DC} = 1.59 \times 62.27 \times \frac{1}{144} = 0.69 \text{ lb/in}^2$$

$$\Delta P_{CB} = 1.38 \times 62.27 \times \frac{1}{144} = 0.60 \text{ lb/in}^2$$

$$\Delta P_{BA} = 9.14 - 20.30 \times \frac{62.27}{144} = 16.61 \text{ lb/in}^2$$

$$\Delta P_{\text{cambador de calor}} = 4 \text{ lb/in}^2$$

$$\Delta P_{\text{total}} = 27.41 \text{ lb/in}^2$$

Debido a que los fabricantes de equipo de estirado recomiendan que el lubricante llegue a la máquina con una presión de 30 lb/in² para que sea capaz de remover las impurezas y lubricar adecuadamente en los dados, el cálculo de la potencia deberá ser efectuado para una caída total de presión de 57.41 lb/in²

$$W = 57.41 \text{ (lb/in}^2\text{)} \times 144 \text{ (in}^2\text{/ft}^2\text{)} \times .1364 \frac{\text{(ft}^3\text{/min)}}{\text{gal/min}}$$
$$\times 700 \text{ (gal/min)}$$

$$W = 786000 \text{ ft lb/min}$$

$$\text{HP} = \frac{786000}{33000} = 23.8$$

Considerando una eficiencia para el grupo motor bomba de 75%, la potencia necesaria será de 30 HP.

Como se explicó anteriormente, este mismo cálculo se aplicó para diferentes diámetros supuestos, habiéndose obtenido los siguientes resultados:

tramo	diám. pulg.	veloc. pies/min	l_w pies lb/lb	ΔP lb/pulg ²	HP teóricos reales	
ED	2	16.41	58.10	19.51		
DC	3 $\frac{1}{2}$	12.49	3.04	1.32		
CB	4	15.10	4.46	1.93		
BA	5	11.21	21.50	22.10		
Total				77.86	31.2	40
ED	2 $\frac{1}{2}$	11.50	25.82	5.51		
DC	4	9.74	1.59	0.69		
CB	5	9.65	1.38	0.60		
BA	6	7.80	9.14	20.61		
Total				57.41	23.8	30
ED	3	5.56	4.75	-3.62		
DC	5	9.74	0.51	0.22		
CB	6	9.65	0.63	0.27		
BA	8	7.80	2.38	9.82		
Total				36.69	15.3	20
ED	4	4.34	1.21	-5.14		
DC	6	4.30	0.24	0.11		
CB	8	3.86	0.18	0.08		
BA	10	2.85	0.87	9.15		
Total				34.20	14.3	20

El balance económico se efectuará tomando en cuenta únicamente la depreciación por lo que se refiere a la inversión en bomba, tubería y conexiones, y adicionándole en

cada caso los gastos por consumo de corriente eléctrica (16 horas durante 300 días al año), ya que consideramos los gastos indirectos y de mantenimiento iguales para los diferentes diámetros seleccionados. El costo de la corriente eléctrica se calcula a razón de \$0.21/KWH.

	Caso 20 HP tub. gruesa	Caso 20 HP tub. delgada	Caso 30 HP	Caso 40 HP
Depreciación (10 años)	\$ 7800	\$ 6450	\$ 7280	\$ 8260
Energía Eléctrica	\$15000	\$15000	\$22500	\$30000
Total	\$22800	\$21450	\$29780	\$38260

Por lo anterior, se deduce que la selección más económica corresponde a la tubería de 3, 5, 6 y 8 pulgadas para los tramos ED, DC, CB y BA, respectivamente, para lo cual se necesita un motor de 20 H.P.

El cálculo del costo del equipo supone una

bomba centrífuga, la cual para evitar constantes descargas y por lo tanto paros en las máquinas estiradoras, deberá quedar localizada a un nivel inferior del de la solución en el tanque de almacenamiento, teniendo así siempre presión positiva del lado de la succión.

VI

Consideraciones Económicas

De acuerdo con los equipos seleccionados en los capítulos precedentes, se obtuvieron cotizaciones para el mismo las cuales se mencionan a continuación:

1) Tanque de Solución de concreto armado, con paredes de cemento pulido, de 5 m. de largo por 3 m. de ancho y 2.50 de profundidad \$ 24 550.00

2) Bomba centrífuga con un motor de 20 HP para 440 volts y 50 ciclos, de un gasto de 700 gal/min. y para trabajar contra una carga de 85 pies de líquido no corrosivo, con un PH 9, y con densidad de 62.27 lb/ft³ a una temperatura de 115°F 18 625.00

3) Cambiador de Calor de 1 063 ft² de area, marca Swecomex, de

acuerdo con las características anteriormente mencionadas	80 100.00
4) Válvulas y tuberías, incluyendo instalación.	45 850.00
5) Línea de retorno construída de tubería de asbestocemento de 12" de diámetro y registros cada 10 m., incluyendo los gastos del rompimiento del piso de concreto, excavación y albañilería en general	5 200.00
6) Equipo eléctrico que incluye arrancadores magnéticos, interruptores de navaja, fusibles de cartucho, juegos de elementos técnicos y un registrador de temperatura.	<u>8 150.00</u>
Inversión Total	\$ 182 475.00

Debido a que con la falta de capacidad de la planta actual, la temperatura de trabajo de la solución es bastante elevada, y dadas las pruebas efectuadas en la vida de los dados según se menciona en el tercer capítulo, dicha vida se vé seriamente afectada por la temperatura, se puede estimar que la vida de los dados con el nuevo equipo calculado aumentará por lo menos un 10%, si el gasto actual por concepto de dados, tanto por compra de dados nuevos como por los gastos originados en el taller de reparación de los mismos es del orden de \$30 000.00 mensuales, tenemos como resultado que esta inversión se recuperará en un plazo aproximado de 5 años.

VII

Conclusiones

De acuerdo con las consideraciones anteriores y los cálculos efectuados en los capítulos precedentes, podemos obtener las siguientes conclusiones:

A) Equipo de Enfriamiento.- Con el objeto de eliminar del lubricante el calor que arrastró a su paso por las máquinas estradoras, es conveniente utilizar un cambiador de calor de un solo paso con flujo de agua fría a contra corriente y una area de transmisión de 1 000 ft². El lubricante deberá fluir por el interior de los tubos de cobre con el objeto de facilitar la limpieza periódica del equipo ya que como se vió, el lubricante arrastra consigo impurezas, estopa, polvo de cobre, etc.

El agua de enfriamiento se tomará del sistema de recirculación que ya existe en la planta.

B) Sistema de Bombeo y Distribución.- La línea de alimentación de lubricante del tanque de almacenamiento a las máquinas estradoras será de un tubo de fierro céd. 40 y

los diámetros del mismo serán de 3, 5, 6 y 8 pulgadas para los tramos ED, DC, CB y BA respectivamente. El bombeo a las máquinas se hará con una bomba centrífuga con motor de 20 H.P. la cual será localizada como se menciona a una altura inferior del nivel de la selección, con el objeto de tener siempre una presión positiva del lado de la succión para evitar descargas, y por lo tanto paros en el sistema.

Con respecto a la línea de retorno, se debe aclarar que la tubería de 12" de diámetro que será instalada con una pendiente del 2%, puede conducir un gasto mayor de los 700 gal/min. necesarios, sin embargo, se ha preferido instalar esta tubería debido a que la zona donde se encuentra localizada esta planta sufre de hundimientos terrestres y es posible que tuberías de bajo diámetro se puedan romper fácilmente. Por otra parte, el costo de esta tubería es sumamente bajo, ya que el costo del mismo es de \$19.50/m. contra un costo de \$11.00/m. que sería el de la tubería mínima requerida. Dado que la longitud total necesaria para el retorno es aproximadamente 25 m.,

significa una mayor inversión del orden de \$250.00, lo cual es mínimo, dado el factor de seguridad que se obtiene. Por otra parte, la tubería de 12" presenta la ventaja de poderse limpiar más fácilmente de obstrucciones por estopas y suciedad que frecuentemente se presentan.

C) Almacenamiento.- El tanque de almacenamiento será construido de concreto armado, con paredes de cemento pulido a un nivel inferior del pozo, para poder efectuar el retorno por gravedad. Este tanque deberá tener un volumen igual a 14 veces el flujo bombeado por minuto, con el objeto de poder almacenar un volumen de solución suficiente para evitar frecuentes variaciones en el P H del lubricante. No será posible utilizar el tanque utilizado actualmente, ya que se encuentra localizado en una zona en la cual será instalado nuevo equipo.

Por lo que se refiere a la parte económica, como ya se vió se justifica plenamente, ya que su recuperación se obtiene en un plazo de 5 años, teniendo en cuenta únicamente el

ahorro por concepto de dados . Si a esto agregamos el aumento en la vida del equipo de estirado, así como la notable mejoría en la calidad del alambre obtenido, aumento de la eficiencia de la operación del estirado, evitar frecuentes roturas del alambre, podemos concluir que la inversión en la nueva planta de manejo de lubricantes se justifica plenamente .

Con respecto a los datos obtenidos en el presente estudio, podemos hacer un cuadro comparativo con referencia a algunas plantas de los Estados Unidos .

Cuadro Comparativo

	Planta A	Planta B	Planta C	Planta D	Planta MEX
Número de Máquinas	6	3	4	7	4
HP Instalados	825	600	675	990	815
Bombeo (gal/min)	1 000	600	425	460	700
Almacenamiento (galones)	4 000	4 000	8 000	7 300	4 900
Gal/min HP	1.21	1.00	0.63	0.45	0.87
Cambios tanque / hr.	15.0	9.0	3.2	4.0	8.6
Temperatura de la solución al entrar a las máquinas (° F)	90	92	120	125	110

En el cuadro anterior podemos observar altas temperaturas de trabajo en las plantas C y D, cuya razón podría ser el alto volumen de solución almacenada que se presenta en las mismas.

Finalmente, es conveniente que en la práctica se tomen las medidas que se mencionan a continuación, con el objeto de mantener siempre la solución lubricante en buenas condiciones de operación:

A) La solución deberá ser cambiada cada seis meses aproximadamente, lo que se aprovechará para hacer limpieza en el tanque y en las tuberías. Se puede efectuar primero por medios mecánicos para sacar todo el polvo de cobre, estopas y suciedad en general que se halla depositada en el tanque, y posteriormente con agua y vapor en las tuberías.

B) Con objeto de mantener un alto coeficiente de transmisión en el cambiador de calor, la limpieza de este equipo se deberá efectuar más a menudo que la de tanques y

tuberías, para la cual se recomienda una limpieza de cada dos meses como mínimo.

C) Las determinaciones de concentración y PH de la solución es conveniente que se efectúe dos veces por semana con el ritmo actual de la producción, y en caso de que se tuviera que aumentar a tres turnos de trabajo, se deberá efectuar tres veces por semana.

Con el equipo calculado, y observando estas últimas condiciones, se notará la mejoría en la calidad producida, así como un alargamiento considerable en la vida del equipo y de las partes que integran la operación del estirado.

- 1 - COPPER, THE SCIENCE AND TECHNOLOGY OF THE METAL, ITS ALLOYS AND COMPOUNDS - Butts - Reinshold - 1954.
- 2 - CHEMICAL ENGINEERS' HANDBOOK - Perry - McGraw Hill - 1950.
- 3 - UNIT OPERATIONS - George Brown - John Willey & Sons - 1951
- 4 - APPLIED HEAT TRANSMISSION - Herman J. Stoever - McGraw Hill - 1941.
- 5 - LUBRICANTS FOR DRAWING METALS - Allen A. Brown - A.I.S.E. Convention - 1952.
- 6 - HEAT EXCHANGER CALCULATIONS - Ningsing Chen - Reprint from Chemical Engineering - 1959.
- 7 - FLOW OF FLUIDS - Engineering Division Crane Co. 1957.
- 8 - SHORTCUT TO HEAT EXCHANGER DESIGN - G. H. Gilmour - Reprint from Chemical Engineering - 1954.
- 9 - NON-FERROUS METALS SPECIFICATIONS - ASTM - 1958.
- 10 - METALS TEST METHODS - ASTM - 1958.
- 11 - TECHNICAL DATA - Anaconda Wire & Cable Co. - 1954.
- 12 - COPPER WIRE TABLES - National Bureau of Standards - 1956

- 13 - NORMA OFICIAL J-2 - Dirección General de Normas - 1945.
- 14 - PRONTUARIO TECNICO - Pirelli, S. p. A.
- 15 - INSTRUCTION MANUAL FOR SYNCRO MACHINES - Syncro Machine Co. - 1962.