

Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**“CALCULO y DISEÑO DE UNA PLANTA
PARA LA FABRICACION DE ALAMBRE
DE COBRE DE TEMPLE BLANDO”**

T E S I S

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECANICO**

RAFAEL CARLOS MAGGIOLO DIBOS

Promoción 1987 - I

LIMA PERU 1988

I N D I C E

	PAG.
PROLOGO	I
CAPITULO I : INTRODUCCION	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos	
CAPITULO II : TEORIA INHERENTE A LA FABRICACION DE ALAMBRE DE COBRE	
2.1 Insumos	6
2.1.1 El Cobre	12
2.1.2 Agua	12
2.1.3 Acido Sulfúrico	13
2.1.4 Bitartrato de Sodio o Potasio	13
2.1.5 Lubricante - Refrigerante	13
2.1.6 Dióxido de Carbono	14
2.2 Procesos	15
2.2.1 Decapado	15
2.2.2 Trefilado	17
2.2.3 Tratamiento Térmico	41
2.3 Equipos	46
2.3.1 Sistemas de Decapado	46
2.3.2 Sistemas de Trefilado	55
2.3.3 Sistemas de Tratamiento Térmico	57
2.3.4 Equipos Auxiliares	64

	PAG.
CAPITULO III: DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FABRICACION	65
CAPITULO IV : CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA	69
4.1 Parámetros de Diseño	72
4.1.1 Tipo de Cobre a Usar - Forma de Suministro	72
4.1.2 Materia Prima Disponible	73
4.1.3 Producción por Cargas	74
4.2 Cálculos de los Equipos de la Planta	75
4.2.1 Cálculo del Horno de Recocido con Atmósfera Inerte	
4.2.1.1 Cálculo de la Potencia Eléctrica y Balance Térmico	75
4.2.1.2 Equipo para la Atmósfera Inerte; y Análisis de Gases	130
4.2.1.3 Construcción - Pruebas y Control de Calidad	131
4.2.2 Cálculo de las Pozas de Decapado	133
4.2.2.1 Cálculo de las Resistencias de Calefacción. Optimización	135
4.2.2.2 Análisis de los Reactivos a Utilizar	189
4.2.2.3 Balance Térmico de la Poza de Decapado	192

	PAG.
4.2.3 Selección de la Máquina Trefiladora y el Proceso de Trefilado	203
4.2.3.1 Cálculos del Trefilado	203
4.2.3.1.1 Ensayos de Laboratorio	241
4.2.3.2 Cálculo de la Refrigeración y Lubricación en el Trefilado	249
4.2.3.3 Selección de Alternativas	258
 CAPITULO V : COSTOS Y PRECIOS DE VENTA COMPARATIVOS	 263
5.1 Costo de los Equipos y su Montaje	263
5.2 Costo de los Productos Terminados	266
5.2.1 Análisis y Cálculo de Costos	267
5.2.2 Tabulación de Resultados	296
5.3 Precio de mercado	301
 CAPITULO VI ANALISIS ECONOMICO	 302
6.1 Inversión, Tasa y Periodo	301
6.2 Flujo de Caja	304
6.3 Valor Actual Neto (VAN)	317
6.4 Tasa Interna de Retorno (TIR)	318
 CONCLUSIONES	 319
 BIBLIOGRAFIA	 322
 APENDICE	 325

PROLOGO

El tema a desarrollar en el presente trabajo tratará sobre el aprovechamiento de uno de los recursos naturales más importantes que posee el Perú, EL COBRE.

Para lograr una visión global de este estudio he procedido a dividirlo en 6 capítulos.

Tratando el Primer Capítulo sobre los Antecedentes Históricos y de los Objetivos del presente estudio.

A continuación en el Capítulo II veremos la Teoría para la fabricación de Alambre de Cobre, mencionando los Insumos, Procesos de Fabricación los Equipos Utilizados.

El Capítulo III está dedicado al Diagrama de Flujo de los Procesos de Fabricación; seguidamente en el Capítulo IV veremos los Cálculos y Dimensionamiento de la Planta.

Culminando el presente estudio con los Capítulos V y VI incidiendo en los Costos de Fabricación la Inversión y su Retorno ligando así al aspecto técnico con

II.

la posibilidad de llevarlo a cabo de manera económicamente rentable.

Quiero expresar mi agradecimiento a las personas que contribuyeron a desarrollar la Planta Modelo de Fabricación que dió origen al presente estudio, al Ing. JORGE CANEPA, pionero de la Industria del Cobre en el Perú, que con su lucidez y experiencia colaboró incondicionalmente.

Al Ing. MANUEL MONTIEL, mi socio, por su inagotable paciencia, apoyo y confianza.

Al Maestro AGUSTIN CORTAVARRIA, colaborador incansable en la fabricación de los Equipos y luego en la Producción.

Y a todos aquellos que colaboraron sin saberlo a hacer realidad el siguiente trabajo.

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

Uno de los recursos naturales con que cuenta nuestro país es el Cobre y, pertenece al grupo de los diez países productores de Cobre con mayores reservas.

Esta riqueza natural se encuentra ubicada en regiones al sur del país, donde se obtiene en concentraciones bastante altas y en condiciones de extracción muy favorables. Se encuentra también en la Sierra Central, donde acompañado de otros metales, se le extrae del subsuelo.

El mineral de Cobre puede ser comercializado como tal o dándole mayor valor agregado, logrando consecuentemente a través de los diversos procesos industriales, una mayor utilización de nuestros recursos y obteniendo por ello mayores beneficios.

Los productos obtenidos en la cuatro etapas básicas iniciales de la producción de Cobre son:

- Mineral de Cobre (contiene de 0.4 a 7.0% Cu) obtenido del suelo o del subsuelo.

Concentrado de Cobre (contiene de 12 a 40% Cu) que se logra moliendo el mineral y separando la impureza

mediante el proceso de flotación.

- Cobre Ampollado o "Blister" (contiene de 95 a 99% Cu) y se obtiene a partir de la fusión del concentrado de Cobre.
- Cobre Refinado (contiene más de 99.9% Cu) que se logra por proceso electrolítico, por proceso pirometalúrgico o por uno a continuación de otro.

Posteriormente mediante procesos de conformado se producen los alambrones, lingotes, planchones y otros semi elaborados, que son a su vez los insumos utilizados por la industria de transformación del Cobre.

Se cuenta en el Perú con empresas mineras dedicadas a la extracción de Cobre como:

- Southern Peru Copper Corporation.
- Centromín Perú
- Cailloma
- Santander
- Buenaventura .

Y otras más pequeñas, y con dos refineries de Cobre, una de Southern Peru Copper Corporation, donde se llega a producir hasta cátodos de Cobre. La otra refinería pertenece a CentromínPerú y está ubicada en la Oroya, no sólo produce Cátodos, sino que además produce lingotes y alambrones de composición, para usos específicos.

Nuestro país se encuentra entonces en la situación siguiente: extrae grandes cantidades de mineral de cobre, procesa una parte de ella, refina una parte menor, consume una cantidad todavía más pequeña y exporta los excedentes de cada una de las etapas mencionadas anteriormente.

1.2 Objetivos

El presente trabajo tratará de demostrar, que no solamente es factible, sino que además es conveniente, para un país productor de Cobre como el nuestro, tratar de vencer el desafío, de darle mayor valor agregado a nuestras materias primas. Este criterio se apoya en el hecho, de que si se difunde el tema de estudio del presente trabajo, la información aquí plasmada, será de evidente contribución. A lo largo de la investigación tecnológica sobre este tema, pude darme cuenta que el "conocimiento" para la fabricación de Alambres de Cobre estaba muy poco difundido, se puede encontrar información técnica concerniente a procesos individuales, mas no sobre el conjunto, existen algunas revistas especializadas, de agrupaciones industriales en el extranjero que colaboran con artículos de orden técnico, y otra fuente algo limitada es través de los fabricantes tradicionales de maquinaria y equipo para los procesos de fabricación empleados.

Mi esperanza fue que la información concerniente al tema esté básicamente en manos de empresas industriales, que si bien participan aportando en el crecimiento de sus respectivos países, no están interesados en compartir dicho conocimiento para beneficiar a terceros.

Otro de los propósitos es el de plasmar la experiencia realizadas en la práctica para luego comparar algunos aspectos primordiales, con la teoría, despejando de esta manera, dudas y concluyendo en mejoras de sistemas de producción y de equipos.

No puedo dejar de lado el propósito de reflejar las inquietudes, no sólo personales sino de terceros; captadas en estos años y de dar los correspondientes razonamientos y conclusiones sobre el tema, estimulando así el interés de esta materia, y su desarrollo.

En el presente trabajo, espero también demostrar que la tecnología necesaria para desarrollar proyectos de esta naturaleza, está a nuestro alcance, y que es factible crear pequeñas industrias, que utilicen el Cobre como materia prima, ya que considero como la mayor dificultad o limitación para un proyecto de esta

naturalista, la de no contar con la materia prima, y casualmente nuestro país es productor de la misma.

La experiencia práctica en el diseño y fabricación de equipos, la utilización de estos equipos, de manera rentable y finalmente la evolución teórica de sus principales partes, son en síntesis el orden seguido durante casi cinco años de trabajo que han dado lugar a una auto crítica en la teoría y práctica del tema, llegando a conclusiones y recomendaciones que compartir, en ese tiempo he seguido de cerca el desarrollo de esta materia tanto en nuestro país como en el extranjero, estudiando los diversos mercados y recopilando información en ferias, congresos, charlas técnicas, entrevistas con personalidades del ramo, notando que los métodos de fabricación más modernas siguen siendo básicamente los mismos que en sus inicios, con evidentes mejoras en cuanto a productividad y eficiencia.

Considero entonces que cada país, de acuerdo con su economía y desarrollo, debe utilizar la tecnología más adecuada para sí.

CAPITULO II
TEORIA INHERENTE A LA FABRICACION DE
ALAMBRE DE COBRE

2.1 Insumos

Los principales insumos utilizados en la fabricación de alambre de Cobre son:

2.1.1 El Cobre

En forma de alambrcn de 5/16" \varnothing de diámetro, producido por Centromin: este alambrcn es suministrado en rollos de 110 Kg. de peso aproximadamente al estado recocido y, con una composici3n quimica especifica, ya que la mayoria de este alambrcn ser3 utilizado con fines el3ctricos.

Algunos de los elementos que constituyen impurezas son:

- Severos : Bi Se Te
- Intermedios: Pb As Sb
- Menores : Cr Fe Sn P Si Ag

En cuanto al oxigeno el Cobre para uso el3ctrico no debe contener m3s de 200 PPM y en cuanto al Hidr3geno no m3s de 2 PPM.

La plata, siendo un excelente conductor eléctrico impone condiciones físicas desfavorables a la hora del trefilado fino ocasionando rotura en el alambre; convirtiéndose en el único motivo que interrumpe el proceso.

El Cobre es un metal rojizo con un punto de fusión de 1083 °C y peso específico de 8.9 gr/cm³, y se presta fácilmente al tratamiento mecánico por ser dúctil y maleable.

El Cobre se obtiene a través de la producción metalúrgica, la cual consiste en obtener metales puros a partir de las menas de Cobre, a través de los siguientes procesos:

a) Extracción : Las menas de Cobre se obtienen en los yacimientos, los cuales pueden ser superficiales o subterráneos.

Se llama "Mena de Cobre" al mineral que tiene (de 0.6 a 2%) de Cobre. En la naturaleza se encuentra unidas con el Azufre además con otros elementos como el Hierro, Zinc, Oro y Plata.

Composición Típica de una Mena de Cobre

(en la Sierra Central)

TABLA. Nº1

ELEMENTOS	MINERALES	GANGA
(Cu) Cobre	2.4	
(Fe) Hierro	34.5	
(S) Azufre	40.0	
(Zn) Zinc	1.2	
(SiO ₂) Dióxido de Silicio		16.0
(Al ₂ O ₃) Oxido de Aluminio		4.2
(CaO) Oxido de Calcio		0.6
(MgO) Oxido de Magnesio		0.4
(H ₂ O) Agua de Composición		0.7
T O T A L	77.1	21.9

ESQUEMA DE LA OBTENCION DEL COBRE

Extracción del mineral	
Trituración de la Mena	2.4% Cobre
Concentrado de Cobre	11% Cobre
Tórrido del Concentrado	18% Cobre
Fusión del Concentrado	40 - 50% Cobre
Tratamiento de la Mena en el Convertidor	98% Cobre
Afino. Igneo del Cobre bruto	99% Cobre
Afino Electrolítico	99.95% Cobre
Fundición del Catodo	99.95% Cobre
Limpiación de los Lingotes	99.96% Cobre
Almbrón de Cobre	

b) Flotación : Consiste en moler la mena y agregarle agua, a fin de formar una especie de fango que por su estado facilitara los procesos siguientes.

c) Concentración : Consiste en dividir el fango en dos productos: concentrado de Cobre y ganga, este proceso se realiza en las celdas de flotación, en las cuales se agrega "Agentes de Flotación", entre ellos el XANTATO DE POTASIO, el cual envuelve las partículas de minerales de Cobre, con una película fina, sometido el fango a agitación intensa y continua se produce una especie de espuma, predominando en ella un mayor contenido de Cobre, que es enviada a otro recipiente.

Composición Típica del Concentrado de Cobre

TABLA. Nº2

ELEMENTO	MINERAL %	GANGA %
Cu	11	--
Fe	37	--
S	43	--
Zn	3	--
Si O	--	3.8
Al ₂ O ₃	--	2.0
Ca O	--	0.2
Mg O	--	--
H ₂ O	--	--
TOTAL	94%	6.0%

d) Tostación y Fusión del Concentrado de Cobre : La tostación se utiliza para eliminar del concentrado una parte del azufre para luego ser fundido en el Horno de Reberbero, calentado por gas natural y polvo de carbón, en ésta fase se obtiene dos productos La Mata y La Escoria. En la Mata, queda gran porcentaje de Cobre, Hierro y un poco de Azufre y en la escoria se queda la ganga, por consiguiente, hemos conseguido un producto con un mayor contenido de Cobre (entre 40, 50%) por último la Mata de Cobre pasa por otro proceso en los Convertidores donde se obtiene Cobre bruto con aproximadamente 98% de pureza.

e) Afino Igneo del Cobre (Anodos): El afino es la eliminación de impurezas con la cual se logra la obtención del Cobre útil para el baño electrolítico. Tiene aproximadamente 99% de pureza.

f) Afino Electrolítico del Cobre (Cátodos): El afino electrolítico del Cobre se lleva a cabo mediante el proceso de electrolisis. Se usan las placas del afino Igneo para ánodos y placas de Cobre puro cuyo nombre es "Hojas de Partida", para cátodos.

El ánodo se coloca al polo positivo y el cátodo al negativo, al circular la corriente eléctrica el ánodo se comienza a deshacer, viaja a través del electrolito, hacia el cátodo obteniéndose de esa manera un Cobre puro de 99.9% de pureza.

g) Fundición del Cátodo : Esto es quizás la etapa más importante, del proceso en cuanto a su composición, el cátodo se funde en un horno vertical utilizando como combustible gas natural, graduando la cantidad de oxígeno logrando una oxidación o reducción según sea necesario, el Cobre obtenido se lingotea y toma el nombre de " Wire Bar".

h) Laminación de los Lingotes: Después de precalentar los lingotes a temperatura apropiada para el laminado, se procede a ésta a través de unos 13 pasos de reducción lográndose el alambón de Cobre.

2.1.2 Agua

Para el lavado inicial de los rollos de alambón de Cobre, así como para el lavado entre el baño de la solución ácida y su pasivado final, además de participar en las soluciones de los procesos de decapado y pasivado.

2.1.3 Acido Sulfúrico (H₂SO₄)

Diluido en agua, aproximadamente al 20% en peso, solución que se utilizará para el proceso de decapado químico

2.1.4 Bitartra o de Sodio o Potasio (Crémor Tártaro)

Diluido en agua aproximadamente al 5% en peso que servirá de agente pasivador que actúa contra el remanente de ácido sulfúrico que queda en porosidades y fisuras del alambón, protegiendo de ésta manera tanto al Cobre, evitando "corrosión futura", como al lubricante-refrigerante utilizado en el proceso de trefilado.

2.1.5 Lubricante-Refrigerante:

Son líquidos emulsionables, diluidos en agua aproximadamente al 5% en volumen, que contienen generalmente jabones metálicos como Estearato de cinc o plomo, sobre una base de aceite mineral.

Existe una gran variedad de lubricantes para el trefilado los cuales deben de ser compatibles, no sólo con los metales a trefilar, sino con los procesos y los equipos.

2.1.6 Dióxido de Carbono (CO_2)

Q también llamado gas carbónico, es un compuesto gaseoso bastante estable, sobre todo a la temperatura requerida para desplazar el oxígeno dentro de las muflas donde se realiza el tratamiento térmico.

2.2 Procesos

2.2.1 Decapado

El proceso de decapado, consiste como su nombre lo indica, en retirar la capa de óxido de cobre, que se forma en la superficie del alambón, durante la última etapa de su conformación en caliente.

Los óxidos de cobre son de mayor dureza y menor conductividad eléctrica que el cobre y, tienen características abrasivas muy inconvenientes para el herramental utilizado en la fabricación de alambre, por lo tanto deben ser retirados.

El decapado se realiza aprovechando las propiedades químicas de la solución ácida formada por ácido Sulfúrico y Agua, con una concentración de 20% en peso, la que formaría sales de cobre que en este caso son sulfatos del metal oxidado.

Esta reacción se lleva a cabo generalmente a temperaturas superiores a las del ambiente entre 50 a 65 C, ya que que la reactividad de la solución será mayor. A esta temperatura los orificios o fisuras, que tenga el alambón se encuentran dilatados y permiten el ingreso de la solución ácida para la remoción de todas las partículas de óxido.

Luego de haber efectuado el baño ácido, es necesario neutralizar o amortiguar la reacción química que continúa llevándose a cabo con cierta inercia, para esto se procede a sumergir los rollos de alambre en otro baño, esta vez en una solución de mucho menor índice de acidez, compuesta de Bitartrato de Sodio o Potasio al 5% en agua, esta solución debe también encontrarse cuando menos a la misma temperatura para permitir el ingreso de esta en los poros o fisuras microscópicas, de lo contrario, en el futuro podríamos encontrarnos con un alambre que inexplicablemente se sulfata sin haber estado expuesto, durante su trabajo en alguna atmósfera contaminada.

Al comienzo de este proceso y entre ambos baños se lavan los rollos de alambre; en el inicio debido a que estos tienen suciedades incorporadas, y entre baños, para que las soluciones químicas no se deterioren, este lavado se lleva a cabo con abundante agua corriente y a cierta presión para que arrastre las partículas, inclusiones e impurezas que se encuentran en la superficie, el tiempo de permanencia de los rollos de alambre en cada baño es aproximadamente de 20 minutos.

Este proceso debe llevarse a cabo en un lugar bien ventilado para evitar las inhalaciones de vapores perjudiciales. las instalaciones deben estar protegidas con materiales "Resistentes a Agentes Químicos", para evitar de esta forma su deterioro y facilitar su mantenimiento.

2.2.2 Trefilado

Es una operación que consiste en hacer pasar un alambre través de un agujero cónico, entrando por la sección de mayor diámetro, y saliendo por la sección de menor diámetro imprimiéndole una fuerza de tracción al extremo de salida de menor diámetro del alambre.

En este proceso el alambre sufre una deformación de manera tal que decrece su área transversal, pero aumenta su longitud, ya que el volumen permanece constante.

Se pueden clasificar en dos grupos definidos las máquinas Trefiladoras, al primero pertenecen aquellas en las cuales no existe deslizamiento entre el alambre y el elemento de tracción, y al segundo grupo aquellas donde se dá el deslizamiento entre el alambre y el elemento

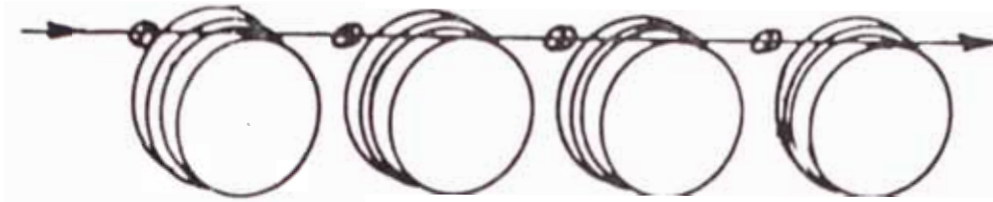
tractor, en términos generales podemos decir que la diferencia entre el producto obtenido en uno u otro equipo, radica en que, de la máquina sin deslizamiento se obtiene un alambre de mayor calidad y de mejor aspecto, que el de la máquina con deslizamiento, sin embargo los defectos atribuibles a esta diferencia de equipos son cuantificables y hasta predecibles, lo cual nos lleva a niveles aceptables, y teniendo la máquina "con deslizamiento" un costo mas reducido, se hace mas popular, salvo el caso específico de la necesidad de obtener un acabado casi perfecto.

Los equipos "con deslizamiento" se clasifican en dos grupos, las máquinas de Cono Escalonado y la TANDEM.

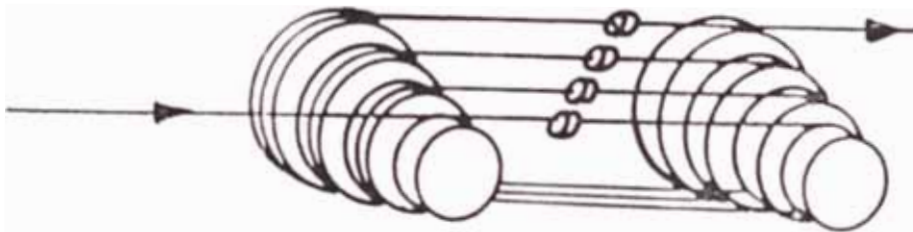
La máquina trefiladora de Cono Escalonado tiene las siguientes características:

- Ahorro de espacio.
- Alto costo de Mantenimiento.
- Bajo costo de Inversión.

El deslizamiento está determinado por los diámetros de los conos y, la transmisión.



TANDEM



CONO ESCALONADO

FIG. Nº 1

La de Tandem:

- Máximo espacio utilizado.
- Bajo costo de Mantenimiento.
- Alto costo de Inversión.
- El Resbalamiento está determinado por la transmisión
- La refrigeración es más favorable.
- El alambre se daña menos.
- El control de la Tensión es más simple y se logra un mejor alineamiento entre el alambre y el dado.

Las máquinas de cono escalonado, tienen en un mismo eje varias poleas unidas de distinto diámetro. Dependiendo del número de reducciones requeridas puede haber desde 2 hasta 6 ejes conteniendo cada eje una polea de diversos diámetros.

Este tipo de diseño requiere un mínimo de espacio, sin embargo la flexibilidad es limitada, los diámetros de las poleas escalonadas, así como la relación de velocidades de la transmisión, logran las reducciones de áreas mínimas que se pueden obtener. Mayores reducciones de área se pueden lograr a expensas del deslizamiento.

Los diámetros de poleas, que contribuyen a la economía del espacio y la construcción de la máquina, puede también prohibir el uso de algunos materiales. El alambre que ingresa a la máquina es generalmente jalado por el paso de menor diámetro, y es posible que los esfuerzos de la fibra exterior del alambre de algunos materiales puedan excederse debido a que dichos alambres se encuentran enrollados en una polea de diámetro demasiado pequeño.

Cuando un escalón de la polea debe ser reparado debido al desgaste, entonces todos los escalones de las otras poleas, deben ser rectificadas para mantener la adecuada relación entre diámetros de las poleas y así de las velocidades de trabajo.

Las características de deslizamiento están determinadas por:

- El diámetro de la polea.
- La transmisión.
- La reducción de las áreas.

Las máquinas TANDEM, tienen una polea por cada eje y para el mismo número de dados que la máquina anteriormente citada requerirá bastante mayor espacio. Las relaciones de velocidad están dadas por la relación de transmisión de un eje a otro de la máquina. Esto permite un diámetro óptimo de la polea para no fatigar el alambre a la entrada en una polea pequeña.

Las características de deslizamiento están determinadas por la transmisión y la reducción de las áreas.

Las reparaciones de las poleas debido al desgaste son unitarias.

Con máquinas tipo Tandem, se puede lograr mayores velocidades de trefilado y menor resbalamiento que con las máquinas de cono escalonado.

Además se logra una mejor refrigeración y lubricación debido a la mayor exposición de las poleas al refrigerante.

POLEAS Y SU DESLIZAMIENTO:

Las máquinas trefiladoras con deslizamiento son las preferidas por la industria no ferrosa, ya que proveen una velocidad razonable.

En las máquinas con deslizamiento la velocidad periférica de la polea es mayor que el alambre que se desplaza sobre ella.

Mientras mayor grado de deslizamiento más se desgastará la superficie de la polea.

Mientras menor es el grado de deslizamiento, mayor es la probabilidad de que suceda lo que es conocido con el nombre de deslizamiento negativo (cuando el dado se gasta desproporcionalmente), entonces el alambre se romperá, debido a la tensión.

Además debido al desgaste de las poleas, sus superficies se ponen ásperas y con ranuras. Dependiendo del diámetro del alambre a trefilar, y de su tolerancia a las superficies ásperas. El alambre no se deslizará lateralmente sobre la polea, y esto causará que se enrede y se rompa al alambre.

Ya que el propósito de las poleas es el de jalar al alambre a través del dado y permitir que el alambre deslice, su diseño y construcción es importante. En las máquinas para trefilar alambres, el diámetro de las poleas es crítico para mantener un alineamiento y, para no excederse en los esfuerzos de las fibras exteriores que se producen por el arrollamiento.

Sin embargo, quizá la característica más importante de una polea es su resistencia al desgaste.

La Tabla siguiente es una lista resumida de algunos de los materiales más comúnmente utilizados.

TABLA. N° 3

MATERIAL DE LA POLEA	APLICACION
Acero de Herramienta	<ul style="list-style-type: none"> - Sirve para alambón de Aluminio o Cobre. - Intermedios de Aluminio y Cobre. - Para finos de Cobre.
Cerámica	<ul style="list-style-type: none"> - Intermedios y Finos de Aluminio y Cobre.
Cromo Duro	<ul style="list-style-type: none"> - Intermedios y Finos para alambres Estañados.

Las superficies de las poleas pueden ser tratadas con Oxido de Aluminio, con Carburo de Tungsteno, Carburo de Cromo, llegando la dureza superficial hasta 74 Rockwell-C.

Estos recubrimientos generalmente dependen del metal del cual están fabricados.

Para ayudar a disipar el calor generado por el deslizamiento en el trefilado, algunas poleas cuentan con un cámara interna de agua.

CALCULO DEL DESLIZAMIENTO

Antes de seguir discutiendo sobre el deslizamiento, realizaremos un resumen de la teoría, como podemos apreciar en la Figura No.2

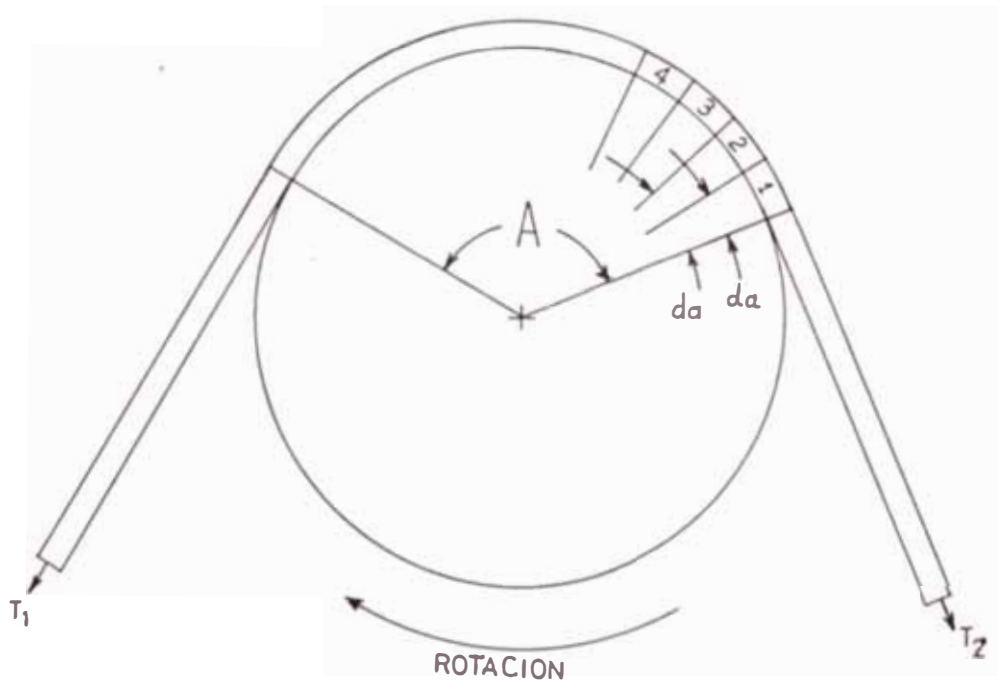


FIG N°2

A = Angulo de con acto.

T Tensión de jalado del dado.

da = Incremento de contacto entre el lambr e y polea.

μ = Coeficiente de fricción.

La tensión en el primer incremento es igual a :

$$T_2 + T_2 \cdot da\mu \quad \text{ó} \quad T_2 \cdot (1 + da\mu)$$

Y la tensión en el segundo incremento es igual a:

$$T_2 \cdot (1 + da\mu) \cdot (1 + da\mu) \quad \text{ó} \quad T_2 \cdot (1 + da\mu)^2$$

Por lo tanto:

$$T_1 = T_2 \cdot (1 + da\mu)^n \quad \text{donde } T_1 \text{ es la tensión final al final de "n" incrementos.}$$

Si por conveniencia matemática hacemos que: $x = (1/da\mu)$

Entonces:

$$T_1 = T_2 \left[\left(1 + \frac{1}{x}\right)^x \right]^{n \cdot da\mu}$$

Como:

$$da \rightarrow \frac{1}{\infty}, \quad x \rightarrow \infty$$

Entonces:

$$\left(1 + \frac{1}{x}\right)^x \rightarrow e \quad \text{ó} \quad T_1 = T_2 \cdot e^{n \cdot da\mu}$$

También donde: $A = n \cdot da\mu$

Entonces:

$$T_1 = T_2 \cdot e^{A\mu}$$

Si en lugar del ángulo de contacto α , usamos un número de vueltas de enrollado N , entonces:

$$\frac{T_1}{T_2} = e^{\frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot \mu}{1}} = 2.718 \dots \dots \dots (1)$$

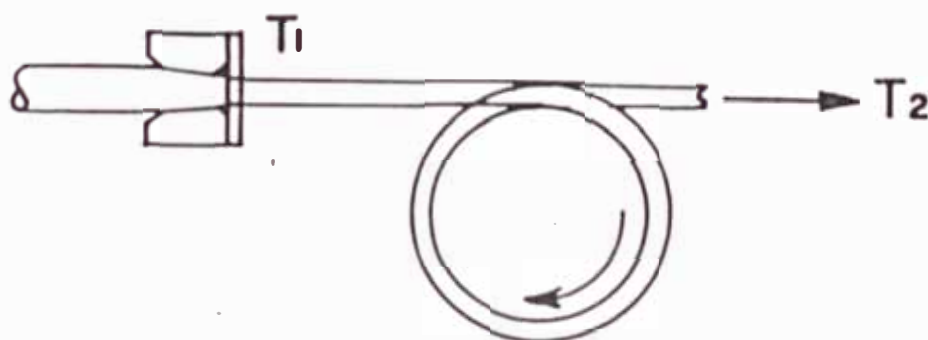


Figura No. 3 : TENSION DE JALADO

Para que el alambre se mueva, T_1 debe llegar a un valor igual a la fuerza de jalado a través del dado.

Para un número dado de enrollamiento la relación de tensión es á determinada por la fórmula anteriormente

vista obteniéndose T_2 . Si se le dá un valor adicional

a T_2 la velocidad se incrementará hasta que no exista deslizamiento entre el alambre y la polea. Cualquier aumento de tensión, tiende a crear lo que se conoce con el nombre de deslizamiento negativo lo que en una máquina trefiladora es causa de rotura del alambre.

CALCULO DEL DESLIZAMIENTO

El deslizamiento está definido como la diferencia entre la velocidad del alambre y la velocidad de la polea. Para calcular el deslizamiento hay que analizar lo ilustrado en la Figura No.4

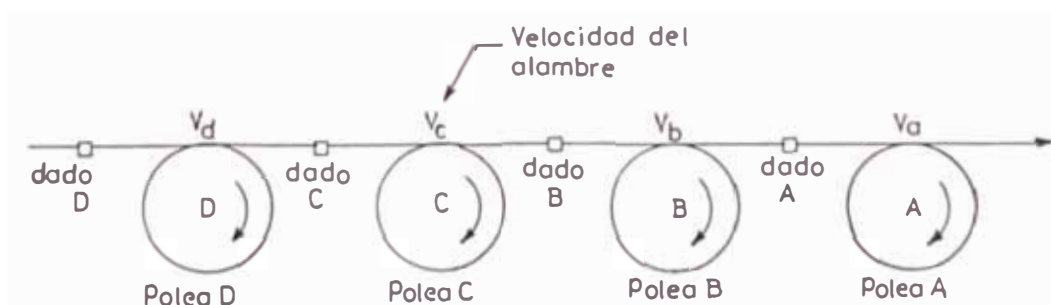


FIG. Nº4

Cada posición polea/dado está designada para alimentar mayor cantidad de alambre que la siguiente posición polea/dado, puede procesar. Aunque algo de deslizamiento existe en la etapa final, se asume siempre que el deslizamiento es cero para tener una base fija en los cálculos. Además el volumen de producción de la máquina está determinado por la velocidad periférica de la polea final y por el tamaño del dado final.

Si:

Q = Caudal de alambre

V = Velocidad de alambre

d = Diámetro del alambre o diámetro del dado

x = Cualquier posición

Entonces:

$$Q_x = \frac{\pi d^2}{4} \cdot V_x$$

Hagamos Q_{tx} = un caudal teórico en la posición x basado en la velocidad periférica de la polea "P"
 x

Entonces:

$$Q_{tx} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot P_x$$

Comparando el actual caudal con el caudal teórico, la única diferencia está en las velocidades ya que por

diseño $P = V$
 \times

(excepto al final donde la posición polea dado es

$P = V$
 $\times \quad \times$

La diferencia entre las velocidades de las poleas y las velocidades de los alambres es el deslizamiento.

$$\left[\frac{P - V}{P} \right] \times 100 = \% \text{ de deslizamiento} \dots \dots (2)$$

Para determinar la velocidad del alambre en cualquier posición podemos usar la relación de caudal constante, o sea:

$$Q_d = Q_c = Q_b = Q_a$$

Donde Q_a = es el caudal en la posición final.

Entonces:

$$\frac{\pi}{4} d^2 \cdot V_d = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot V_c = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot V_b = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot V_a$$

$$y \quad \frac{d^2 \cdot V_d}{d^2} = \frac{d^2 \cdot V_c}{c^2} = \frac{d^2 \cdot V_b}{b^2} = \frac{d^2 \cdot V_a}{a^2}$$

Pero como V es una cantidad conocida.

$$V_d = \frac{d^2}{2a} \cdot V_a$$

$$V_c = \frac{d^2}{2c} \cdot V_a$$

$$V_b = \frac{d^2}{2b} \cdot V_a$$

La velocidad periférica de las poleas en cada posición está definida por sus RPM y sus diámetros.

Existen dos tipos de diseños en cuanto a deslizamiento.

- Deslizamiento Constante.
- Deslizamiento Acumulativo.

En las máquinas de deslizamiento constante como su nombre lo dice, el deslizamiento, es constante en

cada paso posición, manteniéndose siempre deslizamiento cero en la última polea.

Este tipo de máquina reduce el desgaste a un mínimo, pero puede presentar problemas de enredo en alambres delgados.

Esto se debe a que cada polea actúa cediendo un mínimo de alambre con relación a la siguiente polea.

Ejemplo:

- En la Polea A, Q equivale una cantidad de Kg/min.
- Entonces en la Polea B se calcula $Q + q$ Kg/min.
- Entonces en la Polea C se calcula $Q + q$ Kg/min.
- Entonces en la Polea D se calcula $Q + q$ Kg/min.

Para el diseño de los equipos con deslizamiento acumulativo se selecciona una mayor cantidad de deslizamiento decreciente para reducir la cantidad de deslizamiento en la primera Polea.

Valor constante de alambre/min	Valor decreciente.
Polea A-"Q"Kg de alambre por min	Q Kg de alambre/min.
Polea B-"Q"Kg + 4% para desliz.	"Q"Kg + 4% para desliz.
Polea C-"Q"Kg + 6% para desliz.	"Q"Kg + 6% para desliz.
Polea D-"Q"Kg + 8% para desliz.	"Q"Kg + 7% para desliz.

Cuando se selecciona la cantidad de deslizamiento a utilizar es importante recordar que los valores más altos de deslizamiento generan más ruido y desgaste, entonces se puede escoger entre dos opciones, ruido y desgaste o menor cantidad de rotura de alambre y menor porcentaje de reducción de área.

En general se piensa que las condiciones de deslizamiento constante deben ser evitadas. Esto es por que cada par de poleas debe ser tratada como una entidad separada y, que las condiciones de cero resbalamiento deben también ser evitadas

La reducción por paso debe ser estudiada de manera tal que se aproveche las características del material a trefilar, esto es si la materia prima se encuentra estado recocido se puede lograr una mayor reducción mientras que el alambre se encuentra blando, decreciendo

cuando este se encuentra duro, generalmente, en el caso del cobre se utilizan las reducciones correspondientes a las medidas AWG y a veces se logra una mayor reducción porcentual en la primera etapa.

DADOS PARA TREFILAR ALAMBRE

La operación de trefilado de alambre, consiste en la deformación del material, la cual se lleva a cabo en el interior del dado de trefilado. Es extremadamente importante reducir las fuerzas de tiro o de trefilado y prevenir el daño al alambre. Los factores más importantes involucrados en esta operación son:

- La reducción de área por dado.
- El ángulo de entrada o perfil del dado.
- La lubricación antifricción.

La Reducción de Área por Dado

La carga de trefilado aumenta mientras que la reducción en área aumenta, y la máxima reducción por dado permisible depende directamente del material trefilar. Esta reducción puede ser expresada en una serie de formas, por ejemplo:

La reducción de área: $A_1 \rightarrow A_2$

$$\frac{\pi d_1^2}{4} \rightarrow \frac{\pi d_2^2}{4}$$

o el porcentaje de reducción es igual a:

$$100 \left(1 - \frac{d_2}{d_1} \right) \dots \dots \dots (3)$$

o también:

$$100 \left[\frac{(A_1 - A_2)}{A_1} \right] \dots \dots \dots (4)$$

Una fórmula conveniente para determinar un porcentaje de reducción de área dado, a través de un número determinado de dados es:

$$C_1 = \sqrt[n]{C_f} \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

C = Ratio de áreas.

n = Número de dado analizado.

f = Dado final.

1 = Primer dado.

y, $C_f = 1 - R$ donde $R = \%$ de reducción.

Por ejemplo para determinar un 60% de reducción en área, usando 6 dados:

$$C_f = 1 - R_f = 1 - 0.6 = 0.40$$

$$C_1 = \sqrt[6]{0.40} = 0.858$$

Entonces el porcentaje de reducción después de cada paso será: $R_1 = 1 - C_1 = 1 - 0.858 = 0.142$ =====

Entonces 6 pasos de reducción de 14.2% nos dará un 60% de reducción total de área.

Los esfuerzos desarrollados donde el alambre tiene contacto con las caras del dado están mostradas en la Figura No.5

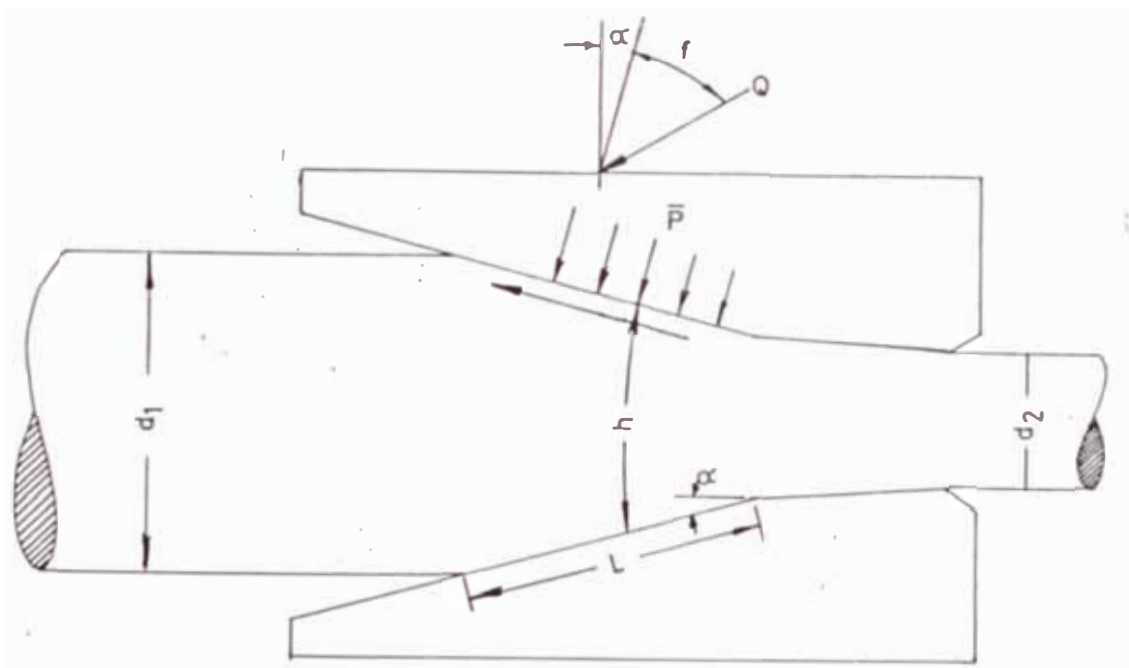


Figura No. 5 esfuerzos actuando al trefilar un alambre de sección circular.

Donde:

μ = Coeficiente de fricción=ángulo de fricción $\text{tg } f$

α = $1/2$ del ángulo del dado.

Q = es la fuerza del dado.

L = Longitud de contacto

P = Fuerza de trefilado

p = Presión media del dado

$\bar{\sigma}_m$ = Esfuerzo de fluencia media del material

h = Longitud de un arco circular generado en el punto medio de la longitud de contacto L .

Debido a que α y la $\text{tg } \mu$ son pequeñas, Q es bastante más grande que P , las deformaciones ocurren principalmente bajo la influencia de la presión media del dado \bar{p} .

Para reunir a ambos el trabajo redundante, y el efecto de fricción, la fuerza de trefilado puede ser expresado como:

$$P = \bar{\sigma}_m \cdot A_2 \cdot (1 + \mu \cotg \alpha) \cdot \phi \cdot \text{Ln} (A_1/A_2) \dots \dots \dots (6)$$

Donde:

ϕ = al trabajo redundante $\approx 0.09 + 0.15 (h/L)$

O también:

$$P = \bar{\sigma}_m \cdot A_2 \cdot (1 + \mu \cotg \alpha + 2 \alpha) \cdot \text{Ln} (A_1/A_2) \dots \dots \dots (7)$$

Quando se aumentan los ángulos del dado las fuerzas de fricción decrecen y el trabajo redundante (h/L) aumenta; por lo tanto el ángulo óptimo es:

$$\text{Sen } 2\alpha = \sqrt{2 \mu \cdot \text{Ln} (A1/A2)} \dots \dots \dots (8)$$

EL_ANGULO_DE_ENTRADA_O_PERFIL_DEL_DADO

Como puede ser visto en la figura No.6 el ángulo de reducción es la región de trabajo del dado, este ángulo es crítico.

Para trabajo en frío de cobre el ángulo es normalmente 16 grados. Para materiales suaves el ángulo puede ser aumentados hasta 22 grados. El ángulo debe ser suficientemente grande para producir el mínimo contacto de área entre el dado y el alambre. Si el área de contacto es muy grande la fricción aumenta requiriendo de esta manera una fuerza de trefilado mayor y creando a su vez excesivo calor.

Lubricación insuficiente malogrará el dado y por consiguiente el alambre. Por otro lado un ángulo excesivamente grande creará condiciones de rotura o de burbuja central.

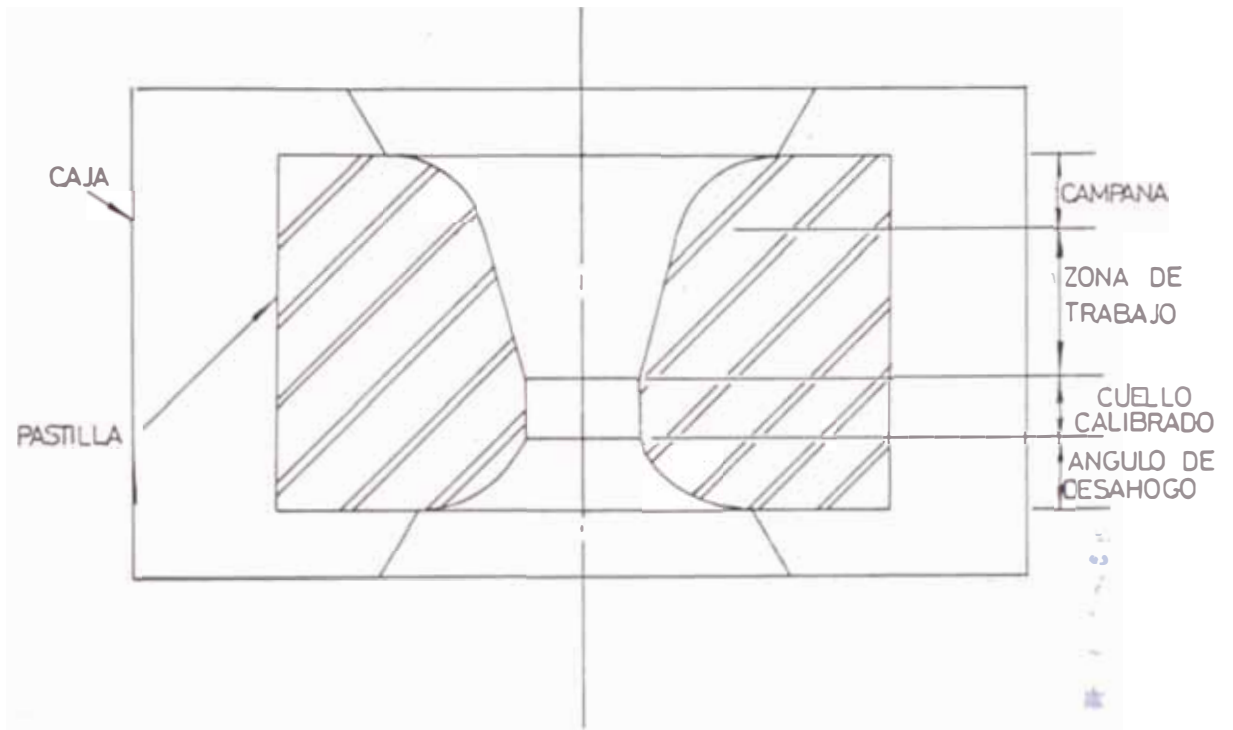


Figura No.6 : Identificación de las partes de un dado para trefilar alambre

La longitud del cuello calibrado es también crítica y debe ser entre 50 y 100% del diámetro del alambre dependiendo del material. Materiales suaves estarán cerca al 50% y materiales duros cerca al 100%. Para dado de trefilado de diamante industrial, estos porcentajes suelen ser más pequeños.

El ángulo de desahogo es sólo para que no se dañe el alambre cuando la máquina para.

Todas las superficies del dado deben estar bien pulidas y se deben redondear las intersecciones de superficie para permitir un buen flujo de material.

2.2.3 Tratamiento Térmico

Para este caso, el tratamiento térmico será, el de recocido, para el cobre. Durante los procesos de fabricación previos se ha deformado sucesivamente la estructura molecular del alambre, obteniéndose un metal cada vez más duro y quebradizo, con el objeto de imprimirle al cobre sus características originales y, lograr demás mejoras en la conductividad eléctrica, se procede a efectuar el tratamiento térmico mencionado, de la siguiente manera:

- El cobre se encuentra enrollado en carretes metálicos con un contenido neto aproximado de 350 400 Kg. Este carrete se coloca con el eje vertical sobre la base de la mufla.
- Se procede a cubrir el carrete con la tapa de la mufla, previamente habiéndolo colocado un deflector de flujo del gas inerte en el centro del agujero del carrete.
- Se procede a la primera purga de oxígeno, esto es dejando fluir el CO_2 a través de todo el sistema y permitiéndole que escape por el sello de agua que todavía no cuenta con el nivel de agua apropiado. Este procedimiento toma próximamente 2 minutos

- A continuación se agrega el agua hasta el nivel requerido, lográndose el sello.
- Se procede a la segunda purga permitiendo que los gases en el interior de la mufla, fluyan hacia el exterior abriendo la válvula esférica de escape.
- Una vez transcurrido los 2 minutos de tiempo se procede a colocar el horno, o elemento calefactor sobre la mufla, comenzando el calentamiento.
- Se cuenta con un tablero de control, el cual nos da la máxima temperatura y el tiempo de exposición.
- Cada 1/2 hora se purga con la válvula esférica de escape por un tiempo de 1/2 minuto con el objeto de permitir que fuguen los gases que aparecen en este proceso.
- Una vez cumplido el ciclo de calentamiento se retira el elemento calefactor y se deja la mufla enfriar a temperatura ambiente.

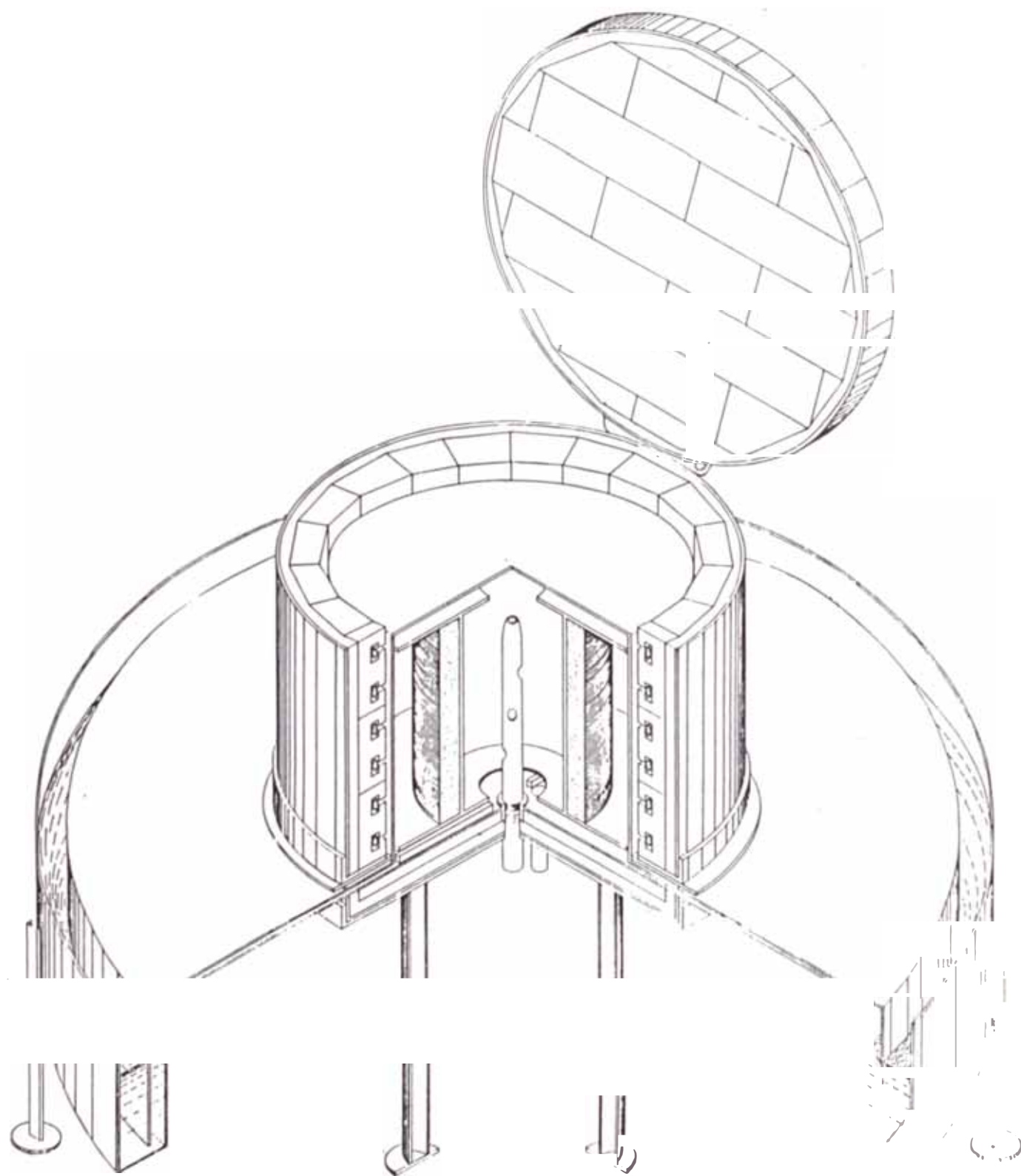


FIG. N°7

2.3 Equipos

2.3.1 Sistemas de Decapado

Existen dos tipos de métodos de Decapado:

- Métodos Físicos
 - Escobillas Giratorias
 - Afeitado
 - Granalladora continua
 - Fluido conteniendo partículas abrasivas

- Métodos Químicos
 - Reacción con Acido Sulfúrico
 - Reacción con Alcohol Isopropílico

Hemos escogido el Método Químico con ataque de Acido Sulfúrico por ser el de rendimiento económico más conveniente y por contar con el equipo más simple y ser el de menor inversión.

A continuación daremos una breve reseña de cada uno de los Métodos de Decapado.

- Escobillas Giratorias (Figura No.8)

El proceso de limpieza superficial se lleva a cabo mediante escobillas rotativas de cerdas de acero que rascan la superficie del alambre de cobre que se desplaza transversalmente.

Este procedimiento es bastante lento y casi ya no se emplea.

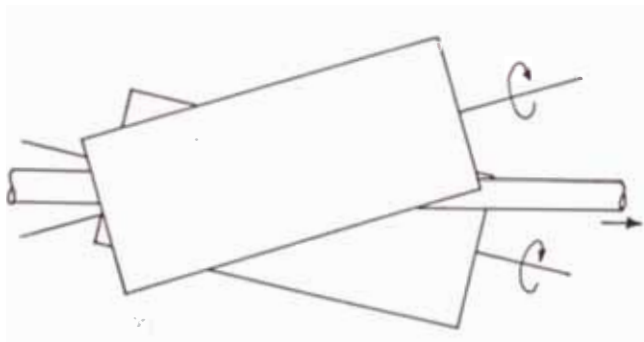


FIG. Nº 8

- Afeitado (Figura No.9)

Se conoce con este nombre al proceso de extraer mecánicamente la capa superficial del alambroón, que conteniendo impurezas es removida con parte de una película de material bueno, este proceso resulta antieconómico debido la cantidad de cobre que se pierde.

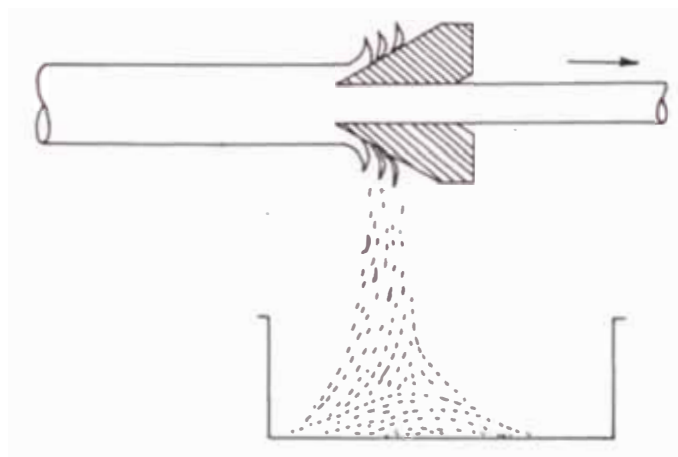


FIG. N° 9

- Gr nallador Continua (Figura No.10)

Es e procedimiento se puede llevar a cabo impulsando las partículas abrasivas, mediante el uso de aire comprimido o de una rueda centrifuga.

Estos procedimientos tienen el inconveniente de tener baja velocidad de producción, además de dejar muchas partículas de polvo metálico en el ambiente.

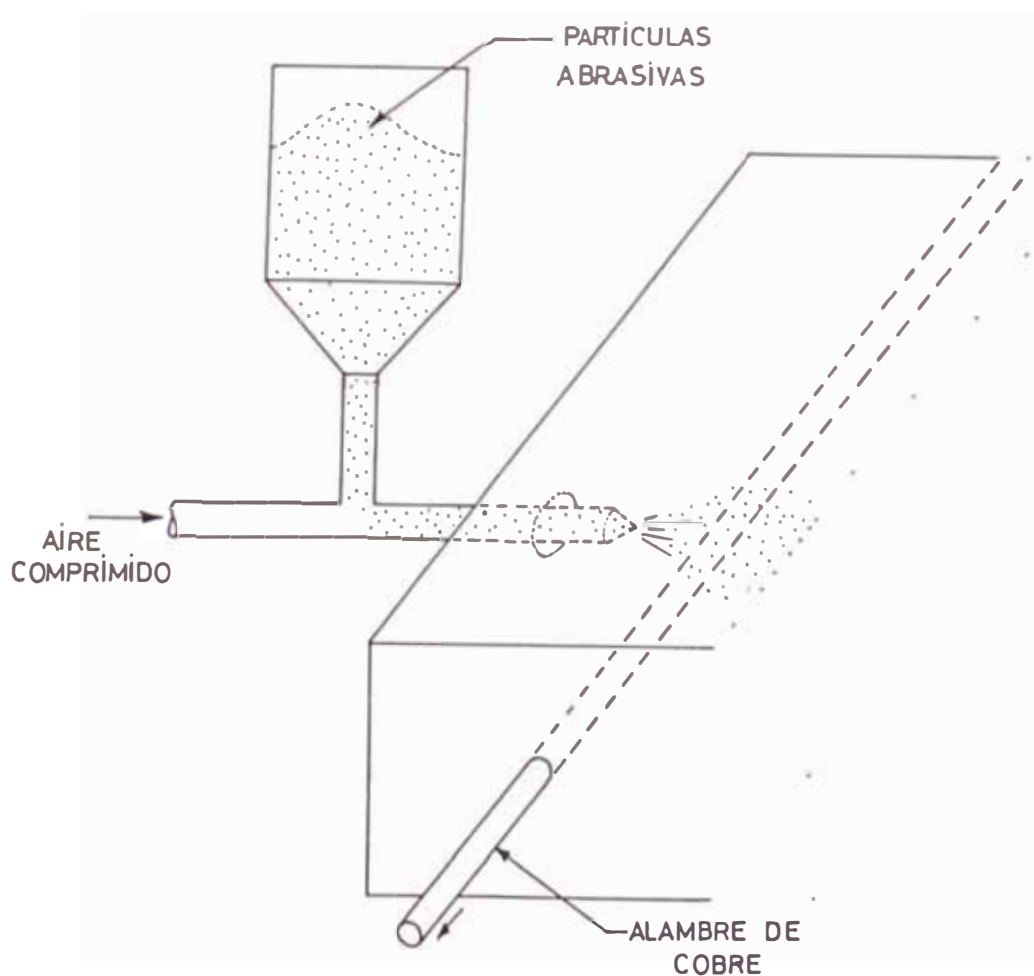


FIG N°10

Fluido conteniendo partículas abrasivas (Figura No.11).

Este método es similar al método seco, sin embargo bastante más eficiente, puesto que al fluido, vehículo en el cual se encuentran las partículas abrasivas, se le puede imprimir energía con mayor facilidad.

No quedan partículas de polvo flotando en el ambiente ya que se encuentra en un medio húmedo.

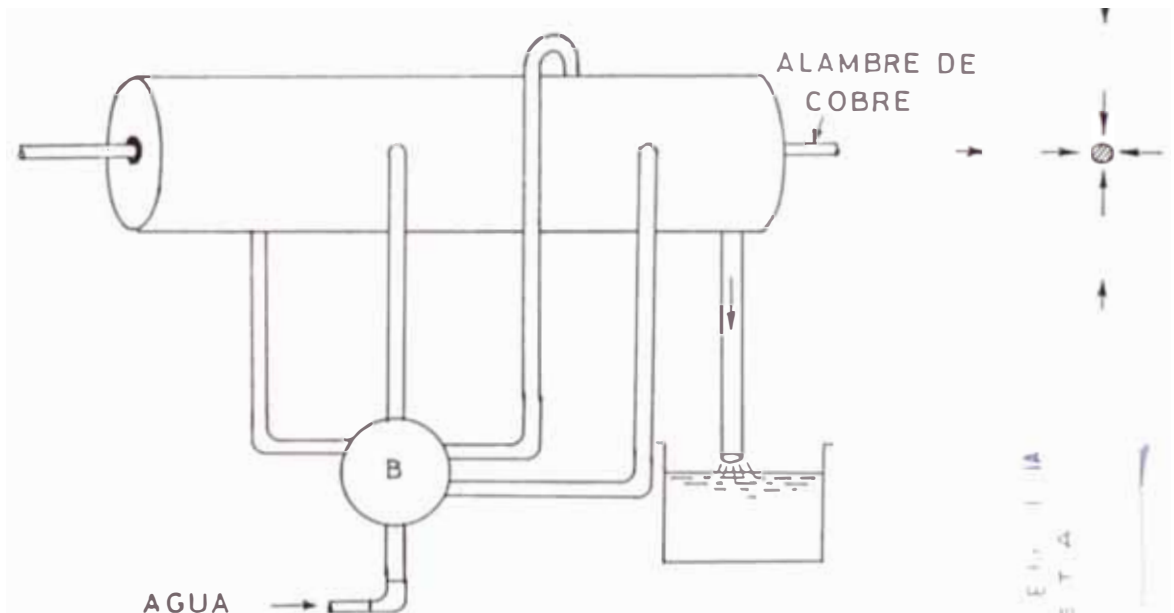


FIG. Nº 11

- Reacción con Acido Sulfúrico (Figura No.12)

Este método consta en hacer reaccionar el óxido de cobre superficial contenido en el alambón de cobre, con el ácido sulfúrico de la solución.

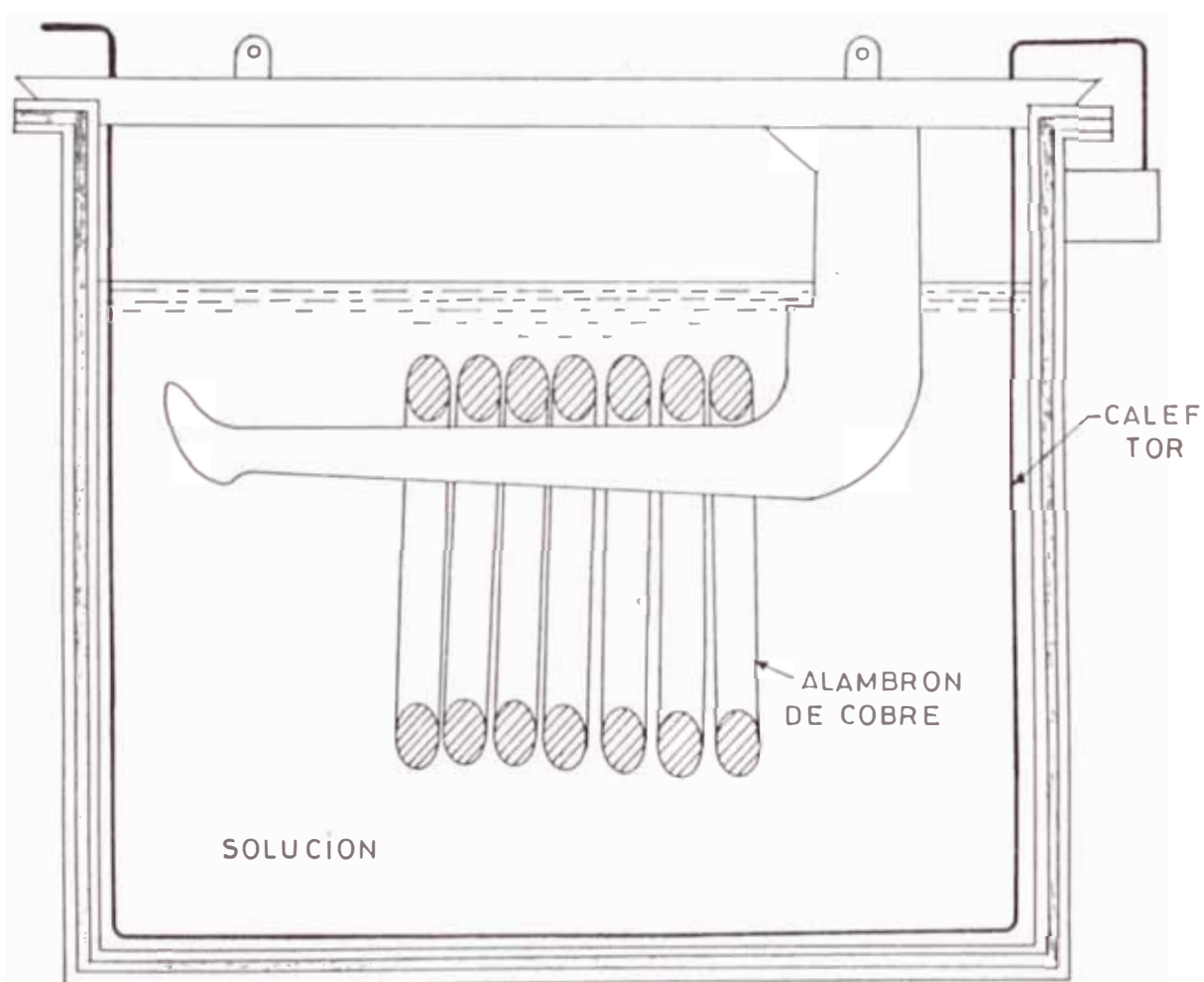


FIG. Nº 12

- Reacción con Alcohol Isopropílico (Figura No13)

Generalmente, se emplea a continuación del proceso de fabricación de alambón, esto es, aprovechando la temperatura de salida del material después del último rodillo laminador, se sumerge en un baño continuo recirculado en una solución con agua de manera que se logra la pirólisis, quedando completamente limpia la superficie

Los inconvenientes de éste método es que el proceso puede llevarse a cabo en la fábrica donde se elabora el alambón, pero a medida que pasa el tiempo se oscurece debido a la oxidación con el medio ambiente.

También se corre el riesgo de incorporar excesivo hidrógeno en la matriz del metal, arruinando el mismo.

Hemos escogido el método químico con ataque de Acido Sulfúrico por ser el de rendimiento económico más conveniente y por contar con el equipo más simple y ser el de menor inversión.

El equipo de Decapado es el siguiente:

- Tanque para la solución ácida de 1.60 x 1.60 x 1.60 m³
- Tanque para la solución pasivadora de 1.6 x 1.6 x 1.6 m³
- Poza para la ducha de agua a presión.
- Equipo de bombeo y boquilla para la limpieza, con cisterna.
- Teclé grua con desplazamiento Vertical-Horizontal motorizado con capacidad de 1 TM.

2.3.2 Si_tem_s_de_Trefilado

2.3.2.1 Trefiladoras_Simples

Son aquellas que están compuestas por una sola hilera de trefilado, en éstos equipos no existe el factor resbalamiento.

2.3.2.2 Trefiladoras_Múltiples

2.3.2.2.1 Trefiladoras_Contínuas

Son aquellas cuyas velocidades periféricas de las poleas de rraastre están calculadas para absorber el aumento en la longitud del alambre al adelgazarse, estas máquinas realizan dos o más operaciones de trefilado a la vez.

Existen dos tipos de Trefiladoras Contínuas:

- Las de Cono Escalon do
- Las de Tandem

2.3.2.2.2 Tr_fil_dor_s_de_Acumulación

Son aquellas que trabajan como su nombre lo indica acumulando la porción de alambre trefilado sobre la misma polea de tracción, después de contar con una cantidad de vueltas acumuladas sobre sí, éstas poleas cuentan con un mecanismo que desenrolla alambre por el

extremo acumulado, el cual ingresa a otra operación similar a continuación de ésta.

2.3.3 Sistemas de Tratamiento Térmico

Existen los siguientes métodos:

-- Método de recocido continuo por Cortocircuito

Este sistema consta de dos o más poleas conductoras de energía eléctrica por donde el alambre pasa luego de ser trefilado, cada una de ellas cargada con diferente polaridad produciéndose un cortocircuito en el alambre de cobre.

La resistencia al paso de la corriente genera calor, por lo tanto variando la velocidad de avance del alambre y el potencial eléctrico, se regula la cantidad de calor necesaria para recocer una determinada masa de cobre.

Para que no se produzca óxido superficial debido a que la temperatura a la que hay que elevar el cobre para recocerlo, si estuviese expuesto al ambiente el cobre se oxidaría, por lo tanto se le hace pasar por una cortina de vapor de agua, la cual desplaza el oxígeno e inmediatamente se le sumerge en agua, enfriándolo bruscamente.

- Método de recocido Multi Hilos continuos en
Atmósfera Inerte

Es un horno alimentado por petróleo o gas el cual tiene una serie de tubos atravesándolo por los cuales se desplazan los alambres a recocer, dichos tubos poseen alimentación de gas inerte creando presión positiva en su interior, evitando de esta manera el ingreso de aire contaminante al interior.

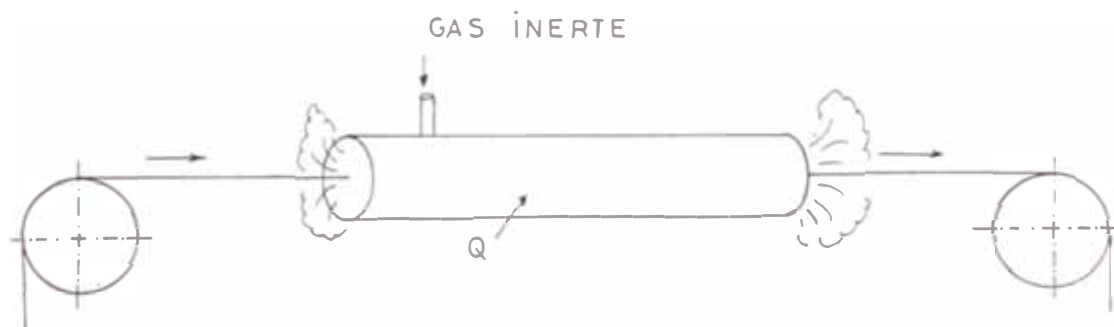


FIG. Nº 15

- Mufla l vacío

Este equipo consiste en un horno fijo y varias muflas móviles, el horno puede generar su calor a partir de petróleo, gas o energía eléctrica y habiendo extraído previamente el oxígeno contenido en las muflas y encontrándose su tapa sellada herméticamente se procede a la colocación de la mufla en el horno, a su calentamiento controlando la temperatura y tiempo apropiadamente.

Existe en la actualidad otra modalidad en el mismo equipo, luego de efectuar el vacío se le inyecta CO_2 ó N_2 con el objeto de apresurar el ciclo de calentamiento. Este equipo se fabrica económicamente para muflas capaces de tratar 1000 Kg o más.

Muflas con Atmósfera Inerte-Sello de agua y calefacción eléctrica

Este equipo consiste en una mufla partida en dos partes, una base y una tapa. La parte inferior de la base debe contar con un revestimiento térmico.

La base contiene en su periferia de forma anular un sello de agua que al intersectarse la tapa con la base se completa el sello. El elemento calefactor es de forma cilíndrica con tapa superior, facilitando de ésta manera la colocación del horno sobre la mufla, más aún si el horno está fabricado con ladrillos aislantes de mucho menor peso que el ladrillo refractario.

El equipo cuenta con su respectiva instalación de gas inerte de baja presión.

Una de las grandes ventajas de éstos equipos es que son eficientes hasta para trabajos de 400 Kg.

2.3.4 Equipos Auxiliares

Podemos considerar:

- Carretillas para el acarreo de alambrón.
- Un montacargas con capacidad de 500 Kg.
- Una balanza de 500 Kg.
- Datos de Trefilado de diversas medidas AWG.
- Mordaza tipo Cocodrilo para inicio de paso de alambre en la Máquina Trefiladora
- Instrumentos de medición, calibrador, micrómetro, instrumento de Laboratorio para medir la dureza o medidor de Tensión.
- Un equipo ORSAT para analizar los gases.

CAPITULO III

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FABRICACION

3.1 Diagrama de Flujo Básico

ALMACENAMIENTO

DECAPADO

TREFILADO

TRATAMIENTO TERMICO

ALMACENAMIENTO

3.3 Diagrama de Flujo del Proceso de Trefilado

Colocación de Rollos en el desenrollador

↓

Punteado

Enebrado

Colocación del extremo-punta
en el carretador

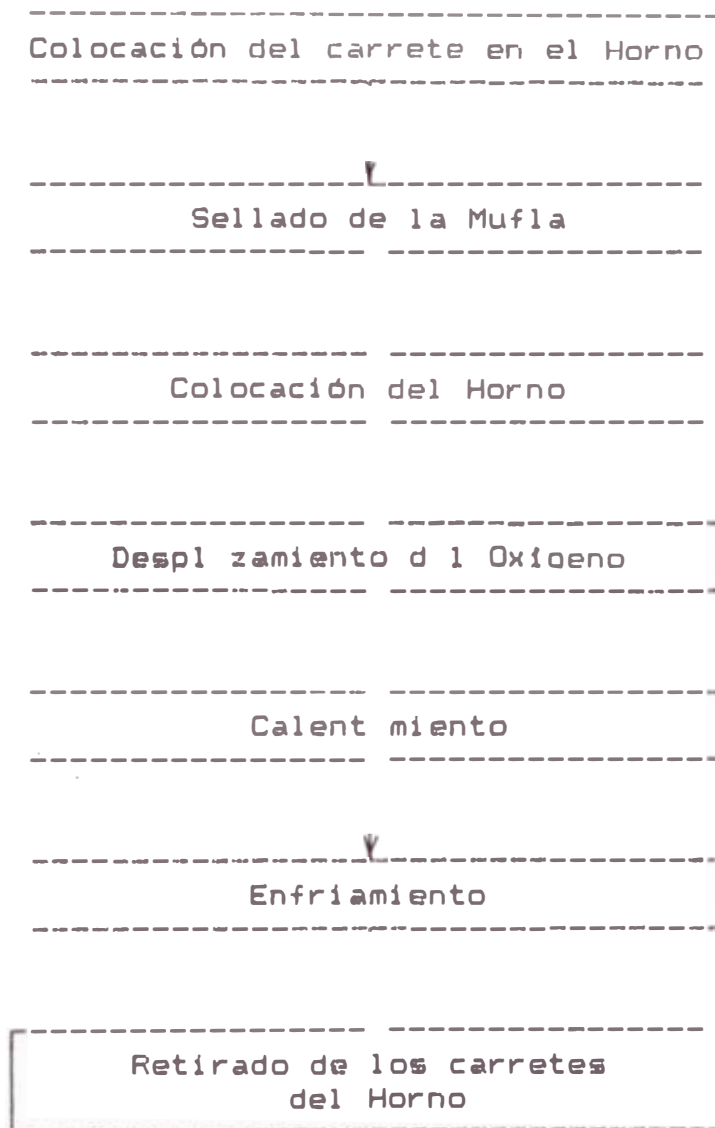
Soldado de punta con cola
de nuevos rollos

Inicio de la operación de Trefilado

↓

Retiro sucesivo de carretes y
provisionamiento de nuevos rollos
de alambres

3.4 Diagrama de Flujo del Proceso de Tratamiento Térmico



CAPITULO IV

CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA

Esta Planta ha sido diseñada para una producción de 50 TM/mes de alambre de cobre estimándose un 50% de la producción tratada térmicamente, lo cual implica directamente la capacidad mínima de los equipos de Tratamiento Térmico.

Decapado 100%, Trefilado 100%, Tratamiento Térmico 50%.

Decapado

Las consideraciones de renovación de las sustancias reactivas en cada periodo nos hace diseñar cuanto menos, tanques que tengan más de 1 m, y por motivo de la forma física de los rollos de alambrón que nos obliga tener una profundidad en el baño de decapado de por lo menos 1 metro, siguiendo la geometría de 7 rollos paralelos, y sumando las tolerancias con las paredes más el espacio que ocupará el gancho, llegando a 1.60 m. y haciendo los tanques para facilidad de fabricación y ahorro de materiales $1.60 \times 1.60 \times 1.60m^3$.

Estos tanques de decapado y pasivado, de acuerdo al volumen de reactivos químicos y a su concentración estarían en condiciones de procesar 7 rollos de alambrón, es decir 770 Kg. cada 15 minutos, teniendo la facilidad de usar ambos baños químicos la vez, debido a que se cuenta con 2 ganchos. Esto nos llevaría a una producción estimada máxima de 3.080 Kg/Hr y 24,640 Kg. en 8 horas necesitando un total de : $50000/24640 = 2.029$ días teóricos de un solo turno.

Sabemos que éste equipo se encuentra sobredimensionado en cuanto su capacidad de producción, sin embargo el fabricarlo a la mitad de tamaño costaría prácticamente lo mismo.

Tratamiento Térmico (Horno)

La capacidad del horno es de 400 Kg. en un tiempo de recocido de 16 horas en cada mufla de las cuales 5 horas son de calefacción y el resto de enfriamiento, durante las primeras 8 horas se lleva a cabo el proceso de purga.

Tomando en cuenta un solo turno. el equipo de tratamiento térmico estaría en condiciones de recocer 4 cargas de 400 Kg. al día, lo cual dá 1600 Kg/día, que llevado a 25 días al mes nos dará 40 Tonelada-.

Si fuese el caso, se podría procesar, ya que se dispone de una capacidad adicional del 50%, lo cual sería: 60 Ton. siendo esto un exceso de la capacidad de nuestra planta.

Se ha escogido estos equipos de tratamiento térmico para cantidades "pequeñas" de 400 Kg. debido que estamos en condiciones de producir diversos calibres de alambre con características físicas distintas.

4.1 Parámetros de Diseño

- Por capacidad de producción.
- Por tipo de producto a producir.
- Por costo de los equipos.

4.1.1 Tipo de Cobre a Usar - Forma de Suministro

- Alambros de cobre refinado de (5/16) Plg. de diámetro.
- Pureza mínima : 99.96%
- Análisis típico en ppm.

Plata	30
Plomo	8
Cinc	3
Fierro	
Níquel	1
Selenio	1
Telurio	1
Antimonio	< 10
Bismuto	< 1
Azufre	< 20
Oxígeno	250
Arsénico	< 4

- Embalaje : Se despacha en rollo cuyo diametro exterior es 33 Plg. y el diametro interior es 25 Plg. asegurados con tres amarres dobles de alambre de cobre No. 12. Se remite individualmente con peso de 112 Kg. en promedio.
- Longitud aproximada de cada rollo es de 900 pies.

4.1.2 Materia Prima disponible

El alambra3n de cobre, mencionado en el inciso anterior se produce en la Oroya en las instalaciones de Centromin, llegando 30,000 TM al a3o, dicha planta tiene un rechazo de productos "Fuera de Norma" de aproximadamente de 1,500 TM anuales, que en algunos casos pueden ser utilizados para la producci3n de lambres.

Existen varias empresas en el Per3 que utilizan el alambra3n manufacturado por Centromin Per3, como insumo y para ello se interviene en un sistema de compra mediante licitaciones anuales, incluso la demanda est3 estimada de la siguiente manera:

CEFER	1.100 TM/mes.
INDECO	750 TM/mes.
COPPREX	290 TM/mes.
TRIPLE C	270 TM/mes.
OTROS	90 TM/mes.

Del total del consumo de alambrcn el 80% se exporta como productos acabados y semi elaborados, quedando el 20% en el mercado nacional.

La disponibilidad de materia prima es suficiente para nuestras necesidades.

4.1.3 Producci3n por Cargas

La producci3n continua tiene por ventaja una vez programada la lnea la de realizarse sin interrupciones, justificándose entonces sólo para producciones importantes, sin embargo, tiene el inconveniente de no ser flexible en cuanto a la variedad de productos que se fabriquen, sin embargo, la producci3n por carga implica como su nombre lo indica, la programaci3n parcial y a la vez especifica de cada producto, esto hace en algunos casos elevar los costos de producci3n.

4.2 Cálculos de los Equipos de la Planta

4.2.1 Cálculo del Horno de Recocido con Atmósfera Inerte

4.2.1.1 Cálculo de la Potencia Eléctrica y Balance Térmico

A) Cálculo de la Potencia Eléctrica

Para realizar este cálculo tendremos que analizar las partes del horno que construiremos y los calores que absorberá cada una de ellos. Entonces analizando el horno según la Figura No.18 tendremos:

$$\begin{aligned}
 \text{Potencia Necesaria} = & Q \text{ Absorbido por la pared del horno.} + Q \text{ Absorbido por el carrete} + Q \text{ Absorbido por la mufla} \\
 & + Q \text{ Perdido a través de las paredes del horno} + Q \text{ Perdido por las aletas.} \dots\dots\dots (9)
 \end{aligned}$$

Estos calores lo calcularemos de la siguiente manera:

A.1) Cálculo del Calor Absorbido por la Pared del Horno (Ver Figura No.19)

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Absorbido Por la pared del Horno}} &= Q_{\text{Absorbido por el ladrillo}} + Q_{\text{Absorbido por la Lana KAD WOOL}} + \\
 &+ Q_{\text{Absorbido por la plancha de Aluminio}} \dots\dots\dots (10)
 \end{aligned}$$

Calor Absorbido por el Ladrillo Aislante

$$Q_{\text{Absorbido por el ladrillo}} = M_{\text{lad.}} \times C_{e \text{ lad.}} \times \left[\left(\frac{T_1 + T_2}{2} \right) - T_{\text{amb}} \right] \dots\dots (11)$$

Donde:

$M_{\text{lad.}}$ = masa total del ladrillo aislante en el horno en (kg).

$C_{e \text{ lad.}}$ = calor específico del ladrillo aislante en (KJ / Kg - °C), este valor se calcula con la temperatura promedio $(T_1 + T_2)/2$

T_1 = temperatura interior de pared del horno en °C, este valor fue hallado por medio de termocuplas.

T_2 = Temperatura exterior del ladrillo en °C.

$T_{\text{amb.}}$ = Temperatura ambiente en °C.

Calor Absorbido por la Lana Kao Wool

$$Q_{\text{Absorbido por la lana Kao Wool}} = M_{\text{lana}} \times C_{e \text{ lana}} \times \left[\left(\frac{T_3 + T_2}{2} \right) - T_{\text{amb.}} \right] \dots(12)$$

donde:

M_{lana} = Masa total de la lana Kao Wool en el horno en Kg.

$C_{e \text{ lana}}$ = Calor específico de la lana Kao Wool en (KJ/ Kg $^{\circ}$ C), este valor se calcula con la temperatura promedio $(T_3 + T_2)/2$

T_2 = Temperatura exterior del ladrillo o parte interior de la lana Kao Wool en $^{\circ}$ C.

T_3 = Temperatura exterior de la lana Kao Wool en $^{\circ}$ C.

Calor absorbido por el Aluminio

$$Q_{\text{Absorbido por la plancha de Aluminio}} = M_{\text{Alum.}} \times C_{e \text{ Alum.}} \times (T_4 - T_{\text{amb.}}) \dots(13)$$

donde:

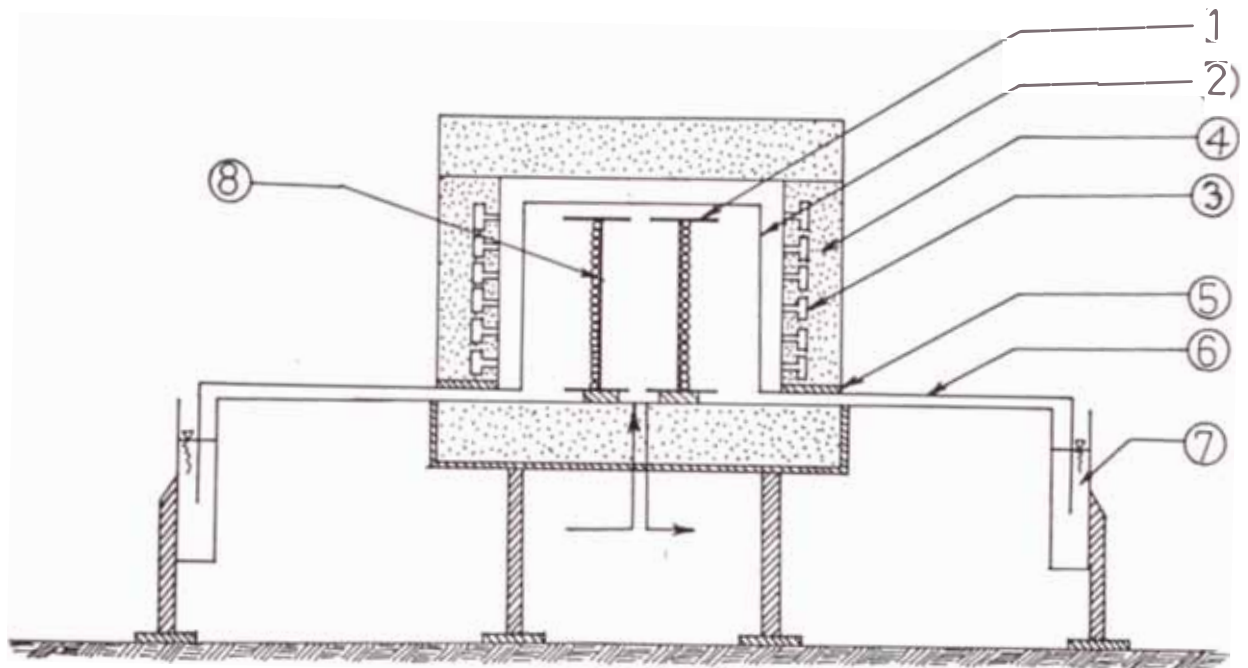
$M_{\text{alum.}}$ = Masa de la plancha de aluminio en Kg.

$C_{e \text{ alum.}}$ = Calor específico del aluminio en (KJ/Kg- $^{\circ}$ C), este valor se calcula con la temperatura $T_4 \approx T_3$ en $^{\circ}$ C.

T_4 = Temperatura de la plancha de aluminio que la consideramos igual a la temperatura T_3 , ya que el espesor de la plancha de aluminio es muy pequeño.

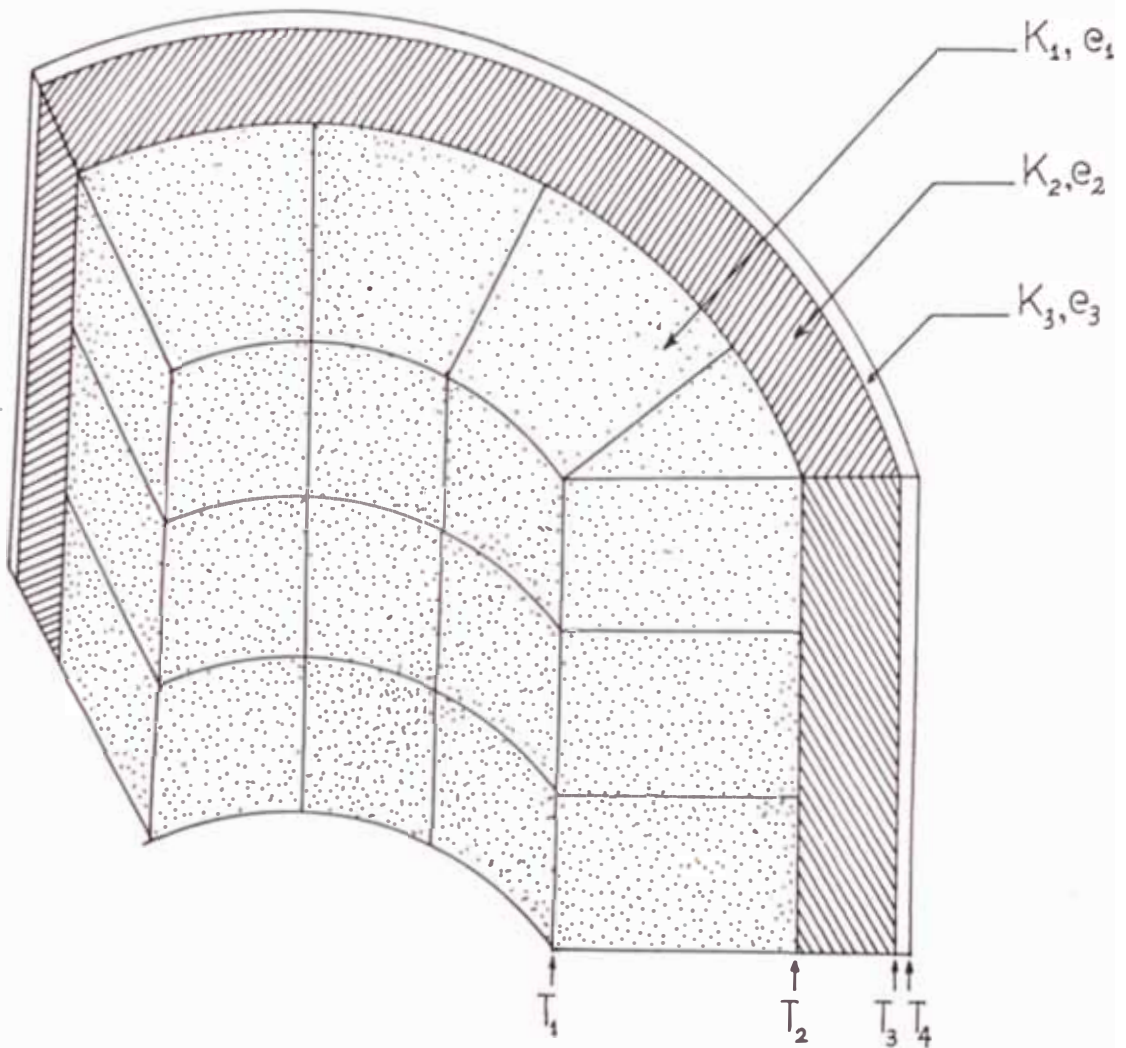
Figura No. 18

HORNO DE RECOCIDO



1. Carrete de plancha de acero de 30 kg.
2. Mufla de plancha de acero.
3. Resistencia eléctrica.
4. Horno: Ladrillo aislante, lana KAO WOOL y plancha de aluminio.
5. Asbesto aislante.
6. Parte de la mufla, que se comporta como aleta.
7. Trampa de agua.
8. Alambre de cobre.

Figura No.19



T_1, T_2, T_3, T_4 = Temperaturas de pared en $^{\circ}\text{C}$.

K_1, K_2, K_3 = Conductividad térmica en
($\text{W/m } ^{\circ}\text{C}$)

e_1, e_2, e_3 = Espesor de ladrillo, KAO WOOL y
aluminio, re pectivamente.

A.2 Cálculo del calor absorbido por el carrete

(Ver figura No.20)

En este cálculo consideramos el carrete con carga o sea carrete de plancha de acero más alambre de cobre.

$$Q_{\text{Absorbido por el carrete}} = Q_{\text{Absorbido por el carrete sin carga}} + Q_{\text{Absorbido por el alambre de cobre}} \dots\dots(14)$$

Calor absorbido por el carrete sin carga

$$Q_{\text{Absorbido por el carrete sin carga}} = M_{\text{carr}} \times C_{\text{e a}} \times (T_{\text{carr}} - T_{\text{amb}}) \dots\dots(15)$$

donde:

M_{carr} = Masa del carrete sin carga de 30 Kg., es de acero.

$C_{\text{e a}}$ = Calor específico del acero en (KJ/Kg.-°C), este valor se calcula en función de la temperatura del carrete.

T_{carr} = Temperatura del carrete en °C.

Calor absorbido por el alambre de Cobre

$$Q_{\text{Absorbido por el alambre de cobre}} = M_{\text{alam.}} \times C_{e\text{ c.}} \times (T_{c.} - T_{\text{amb.}}) \dots \dots \dots (16)$$

donde:

$M_{\text{alam.}}$ = Masa del alambre de cobre en Kg. el cálculo térmico se realizó para 294 Kg de cobre.

$C_{e\text{ c.}}$ = Calor específico del cobre en (KJ/Kg- °C), este valor se calcula en función de la temperatura del alambre de cobre.

$T_{c.}$ = Temperatura del cobre en °C.

A.3) Calor Absorbido por la Mufia

Para este cálculo considero sólo lo que está dentro del horno.

$$Q_{\text{Absorbido por la Mufia}} = M_{\text{Muf.}} \times C_{e \text{ a.}} \times (T_{\text{muf.}} - T_{\text{amb.}}) \dots \dots \dots (17)$$

donde:

$M_{\text{muf.}}$ = masa de la mufia de acero; considero solo lo que está dentro del horno en (Kg)

$C_{e \text{ a.}}$ = calor específico del acero en (KJ/Kg- °C) este valor se calcula en función de la temperatura de la mufia.

$T_{\text{muf.}}$ = temperatura de la mufia en °C.

A.4) Calor Perdido a través de las Paredes del Horno

Para este cálculo dividiremos al horno en dos partes:

- parte cilíndrica
- tapas del horno

Las cuales serán hallados en forma independientes; para una mejor comprensión veremos las Figuras No. 21 y 22.

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Perdido a través de la Pared del Horno}} &= Q_{\text{Perdido a través de la Pared del Horno (parte cilíndrica)}} + \\
 &+ 2 Q_{\text{Perdido a través de la Pared del Horno (TAPA)}} \quad (18)
 \end{aligned}$$

Parte Cilíndrica: (Ver Figura No.21)

$$Q_{\text{Pedido a través de la pared horno(P.C)}} = \frac{(T_1 - T_4)}{\left[\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi \cdot K_1 \cdot L} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi \cdot K_2 \cdot L} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi \cdot K_3 \cdot L} \right]} \quad (19)$$

Consideramos:

$$\frac{\ln(r_4/r_3)}{2\pi \cdot K_3 \cdot L} \approx \text{cero ya que este valor es demasiado pequeño.}$$

$T_3 \approx T_4$ ya que el espesor de la plancha de aluminio es pequeño.

Los valores T_1 y T_4 , temperatura de pared interior y exterior fueron hallados experimentalmente por medio de termocuplas.

Para completar el cálculo de la ecuación (19) tendremos que calcular la temperatura T_2 , la cual la hallaremos de la siguiente manera:

Calculo de T_2 : (en la pared, parte cilíndrica)

- 1.- Asumo T_2 .
- 2.- Cálculo de $(T_1+T_2)/2$ con la cual hallo K_1 : conductividad térmica del ladrillo aislante.
- 3.- Cálculo de $(T_2+T_3)/2$ con la cual hallo K_2 : conductividad térmica de la lana K20 WOOL.
- 4.- Chequee si:

$$\frac{T_1 - T_2}{\left[\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi \cdot K_1 \cdot L} \right]} = \frac{T_2 - T_3}{\left[\frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi \cdot K_2 \cdot L} \right]} = Q \text{ perdido... (20)}$$

a través de la pared del horno (P.C.)

- 5.- Si son iguales !OK!
Si no asumimos otro valor de T_2 y repetimos nuevamente el cálculo.

TAPAS DEL HORNO. (Ver figura No. 22)

$$Q \text{ Perdido} = \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{e_1}{K_1} \right)} = \frac{T_2 - T_3}{\left(\frac{e_2}{K_2} \right)} \text{ (21)}$$

a través de la pared del horno (Tapa).

- Para este cálculo considero $T_3 \approx T_4$ ya que el espesor de la plancha del aluminio es muy pequeña (0.5 mm).
- Además los valores de T_1 , T_4 , fueron hallados con termocuplas.
- e_1 = espesor del ladrillo aislante.
- e_2 = espesor de la lana KAO WOOL.
- K_1 = Conductividad térmica del ladrillo aislante en (W/m-°C)
- K_2 = Conductividad térmica de la lana KAO WOOL en (W/m-°C)

Para completar el cálculo de la ecuación (21) tendremos que calcular la temperatura T_2 , la cual la hallaremos de la siguiente manera:

Cálculo de T_2 : (en la pared de la Tapa)

- 1.- Asumo T_2 .
- 2.- Cálculo de $(T_1+T_2)/2$ con la cual hallo K_1 : conductividad térmica del ladrillo aislante.
- 3.- Cálculo de $(T_2+T_3)/2$ con la cual hallo K_2 : conductividad térmica de la lana KAO WOOL.
- 4.- Chequeo si:

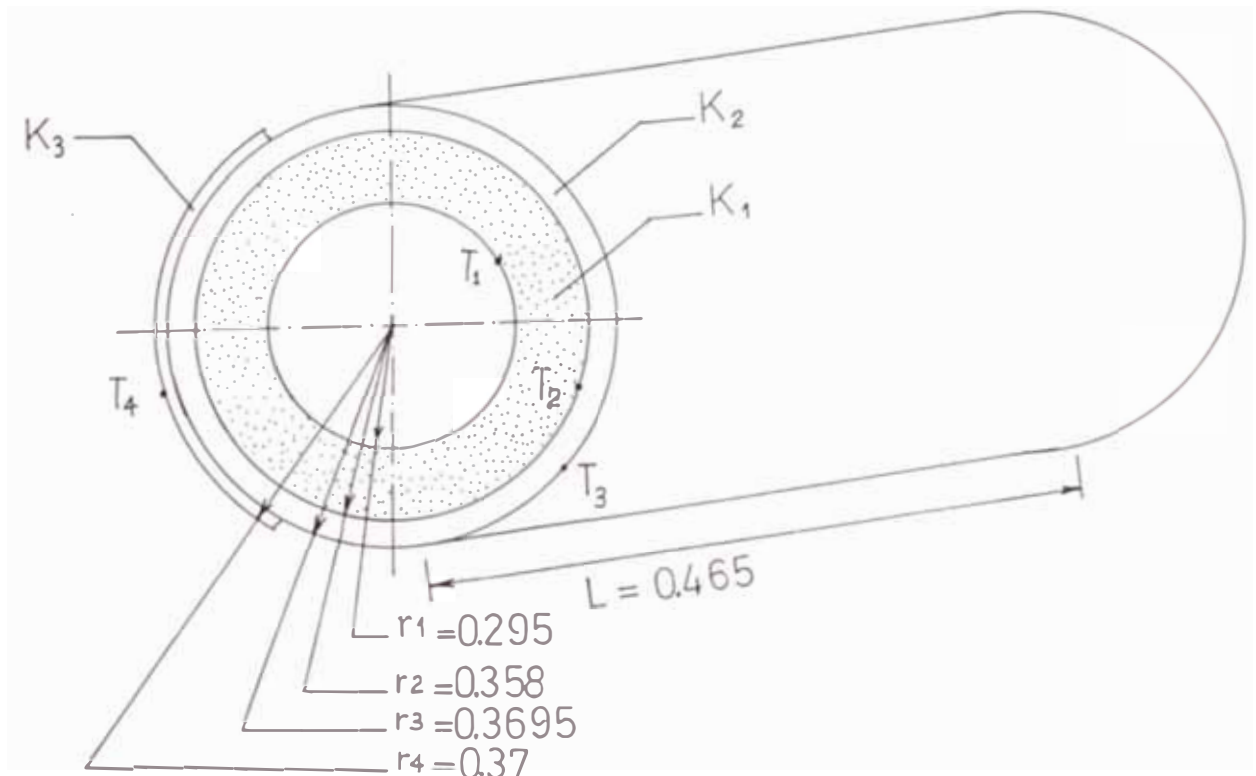
$$\frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{e_1}{K_1}\right)} = \frac{T_2 - T_3}{\left(\frac{e_2}{K_2}\right)} = Q$$

Perdido a través de la pared del horno (tapa).

- 5.- Si son iguales !OK!
Si no asumimos otro valor de T_2 iniciando nuevamente el cálculo.

Figura No.21

PARTE_CILINDRICA_DEL_HORNO



K_1 : Conductividad térmica del ladrillo aislante en $(W/m-^{\circ}C)$

K_2 : Conductividad térmica de la lana KAO WOOL en $(W/m-^{\circ}C)$

K_3 : Conductividad térmica del aluminio en $(W/m-^{\circ}C)$

T_1, T_2, T_3, T_4 : Temperaturas de pared del horno en $^{\circ}C$. Los valores T_1 y T_4 fueron hallados experimentalmente con termocuplas.

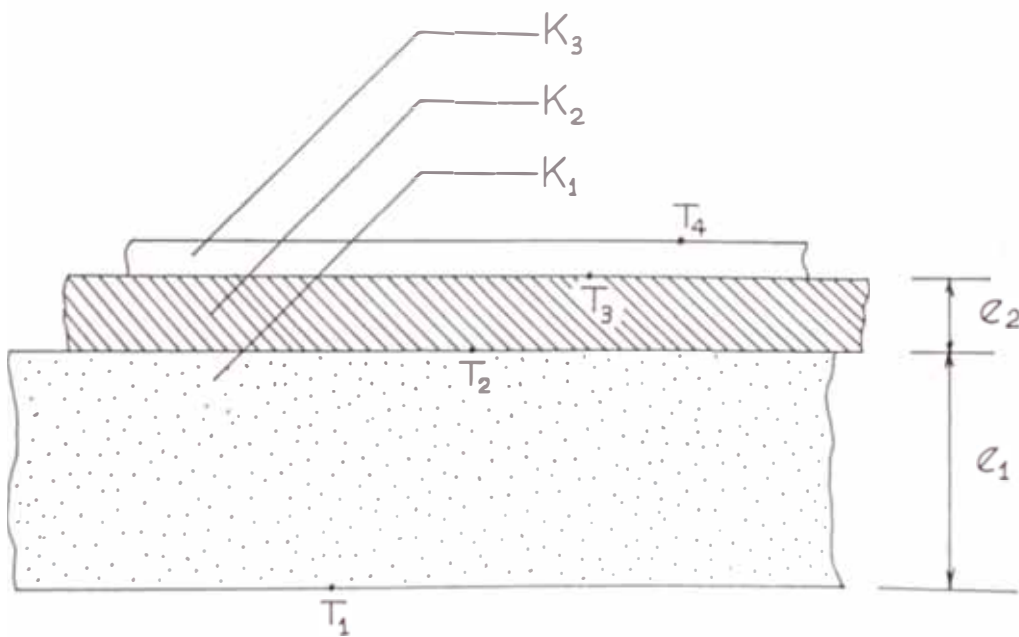
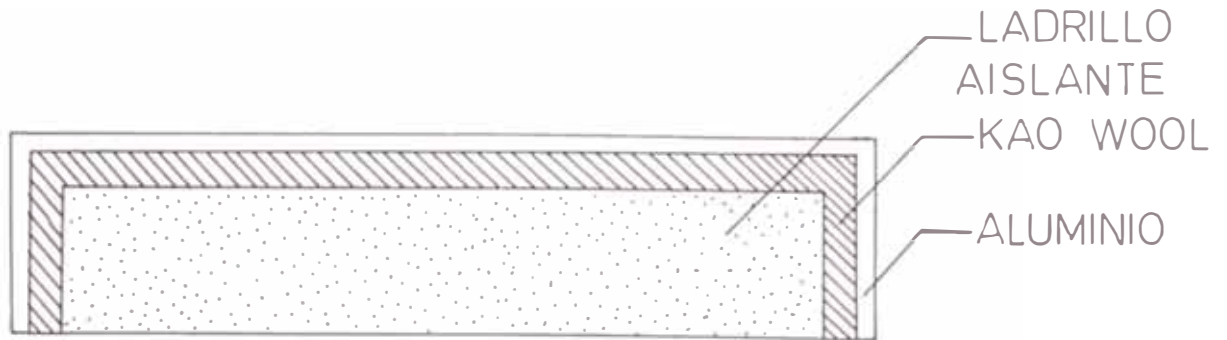
Consideramos $T_3 \approx T_4$ debido a que la plancha de aluminio es de espesor muy pequeño. (0.5 mm.)

r_1, r_2, r_3, r_4 : Radios del horno.

L : Altura del horno.

Figura No.22

TAPA DEL HORNO



T_1, T_2, T_3, T_4 : Temperaturas de pared del horno.

e_2, e_1 : Espesor de la lana KAO WOOL y el ladrillo aislante respectivamente.

Consideramos : $T_3 \approx T_4$, ya que el espesor de la plancha de aluminio es muy pequeño. (0.5 mm)

A.5 Cálculo del Calor perdido por las Aletas.

(Ver figura No. 23 y 24).

$$Q_{\text{Perdido por las aletas}} = h_{\text{aire}} \times A_f \times N_f \times (T_s - T_{\infty}) \dots (22)$$

donde:

h_{aire} = Coeficiente convectivo del aire en (W/m² · °K)

A_f = $2 \cdot \pi \cdot (r_e^2 - r_i^2)$ = area de la aleta circular; se toma las dos caras.

N_f = Eficiencia de aleta.

T_s = Temperatura caliente en la parte interior en °C.

T_{∞} = Temperatura en la parte exterior de la aleta en °C.

Además para el cálculo de N_f : eficiencia de aleta tendremos que conocer los valores de:

$$* (r_e - r_i) \sqrt{\frac{h_{\text{aire}}}{k \cdot Y_b}}$$

$$* (r_e/r_i)$$

donde:

r_e = Radio exterior de la aleta circular.

r_i = Radio interior de la aleta circular.

K = Conductividad térmica del acero en
(W/m-°C)

h_{aire} = Coeficiente convectivo del aire en
(W/m²-°C)

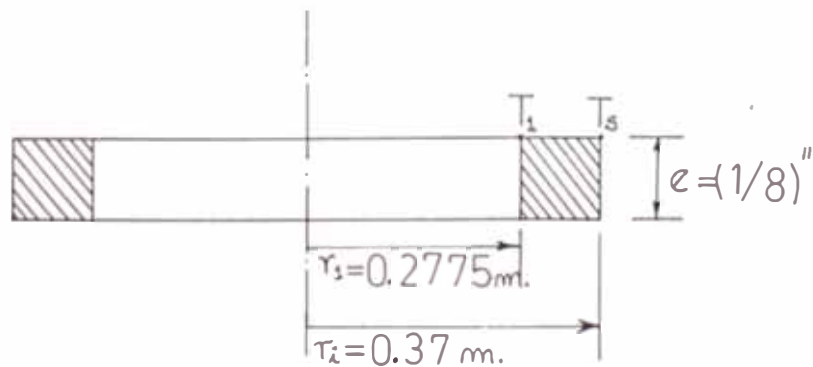
Y_b = Espesor de la aleta en m.

Para poder calcular la ecuación (22), tendremos que hallar la temperatura T_s que la realizaremos de la siguiente manera:

Cálculo de T_s :

1.- Consideramos el tramo de 1 a S (Ver Figura No24) como un cilindro

$$2.- \frac{T_1 - T_s}{\left[\frac{\ln(r_i/r_s)}{2 \pi \cdot K \cdot e} \right]} = Q \text{ Perdido en el cilindro Tramo 1-S}$$



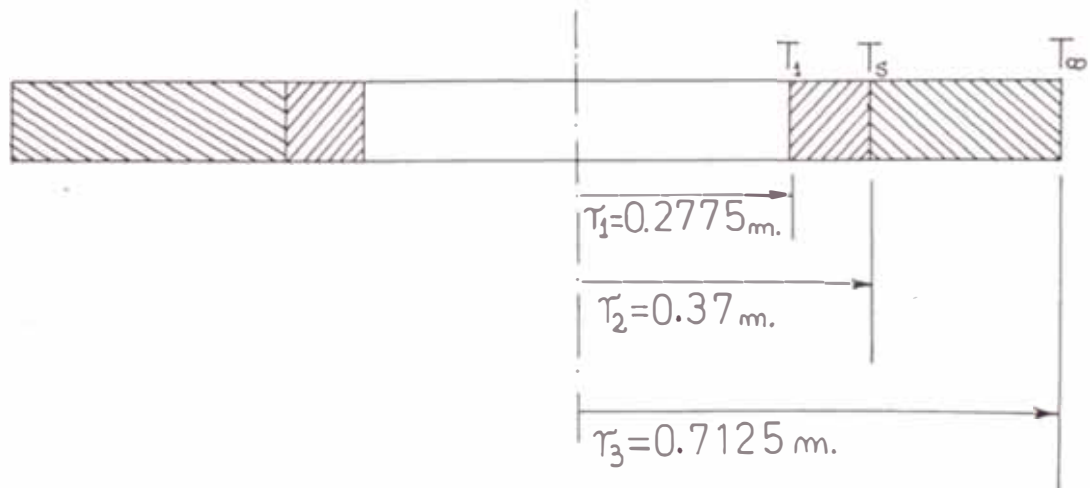
3.- El calor perdido por la Aleta:
Tramo $(s-\infty)$

$$Q_{\text{Perdido por 1 Aleta}} = h_{\text{aire}} \times A_f \times N_f \times (T_s - T_{\infty})$$

donde:

$$h_{\text{aire}} = 5 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{°C)}$$

$$T_{\infty} = 26 \text{ °C}$$



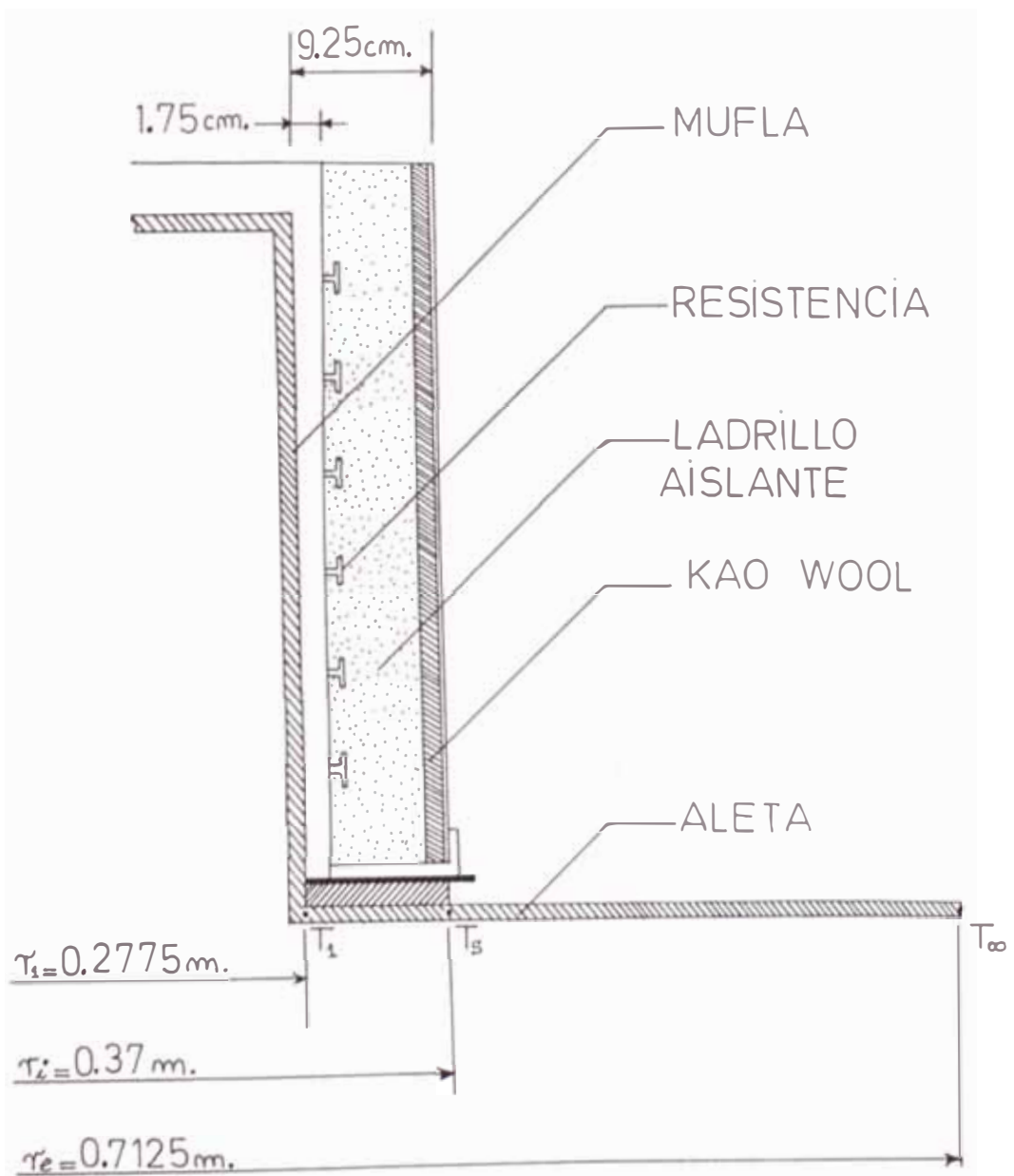
4.- Igualando:

$$\frac{T_1 - T_s}{\left[\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi \cdot k \cdot e} \right]} = \frac{h_{\text{aire}} \times A_f \times N_f \times (T_s - T_\infty)}{}$$

5.- Si estos calores son iguales, encontraremos T_s para los diferentes valores de T_1 = temperatura de pared de la mufla

Figura No. 24

DIAGRAMA_ALETA-HORNO-MUFLA



CALCULOSA.1) Cálculo del Calor Absorbido por la Pared del Horno

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Absorbido por la pared el horno}} = & Q_{\text{Absorbido por el ladrillo}} + Q_{\text{Absorbido por la lana KAO WOOL}} + \\
 & + Q_{\text{Absorbido por la plancha de Aluminio}} \dots\dots\dots(23)
 \end{aligned}$$

Calor Absorbido por el Ladrillo Aislante

$$Q_{\text{Absorbido por el ladrillo}} = M_{\text{lad.}} \times C_{e \text{ lad.}} \times \left[\left(\frac{T_1 + T_2}{2} \right) - T_{\text{amb}} \right] \dots\dots(24)$$

Donde:

$$M_{\text{lad.}} = 40.1034 \text{ Kg.}$$

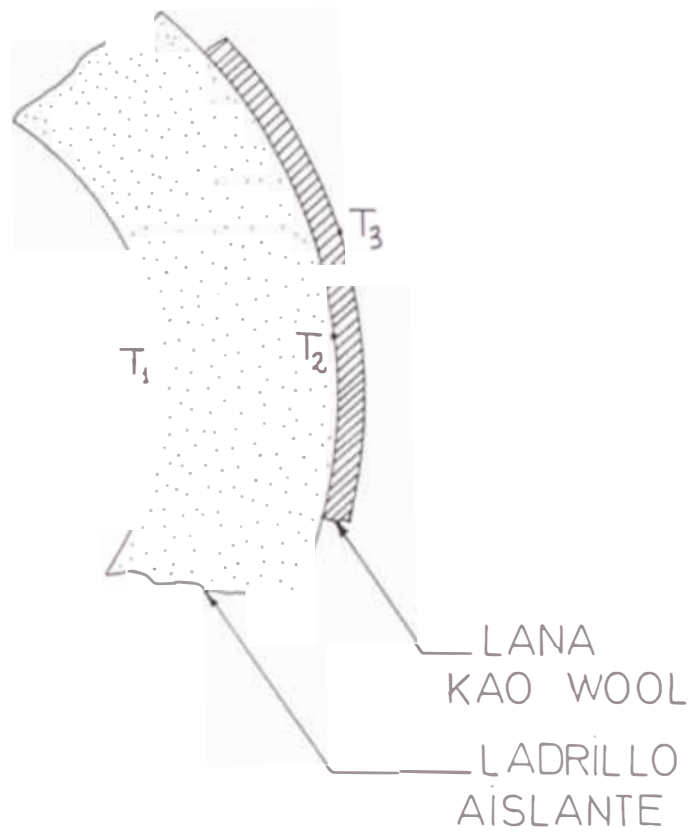
$$T_{\text{amb.}} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$C_{e \text{ lad.}} = \left[\frac{T_1 + T_2 + 3662.272684}{3014.2162} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

La función de $C_{e \text{ lad.}}$ está calculado en el apéndice (I).

Los valores de este cálculo se verá en la TABLA No4

Para una mejor idea veremos la siguiente figura:



Cálculo Absorbido por la lana KAO WOOL

$$Q_{\text{Absorbido por la lana KAO WOOL}} = M_{\text{lana}} \times C_{e \text{ lana}} \times \left[\left(\frac{T_3 + T_2}{2} \right) - T_{\text{amb}} \right] \dots (25)$$

donde:

$$M_{\text{lana}} = 7.6658 \text{ Kg.}$$

$$C_{e \text{ lana}} = \left(\frac{T_2 + T_3 + 3662.272684}{1507.1081} \right) \cdot \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

La función de C_e de la lana KAO WOOL está calculada en el apéndice (I).

Los valores de este cálculo se verá en la TABLA No 53.

A.2) Cálculo del Calor Absorbido por el Carrete

Para este cálculo hallaremos primero el calor absorbido por el carrete sin carga y luego el calor que absorbe el alambre por sí solo.

Cálculo del Calor Absorbido por el Carrete sin carga

$$Q_{\text{Absorbido por el carrete sin carga}} = M_{\text{carr.}} \times C_e \times (T_{\text{carr.}} - T_{\text{amb.}}) \dots (26)$$

donde:

$$M_{\text{carr.}} = 30 \text{ Kg}$$

$$C_{e.a.} = \left(\frac{T_{\text{carrete}} + 2052.504239}{4452.286853} \right) \cdot \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

La función del C_e del acero está calculado en el apéndice (I).

$$T_{\text{amb.}} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Los valores de este cálculo se verá en la TABLA No.6

Cálculo del Calor Absorbido por el Alambre de Cobre

$$Q_{\text{Absorbido por el alambre de cobre}} = M_{\text{alamb. c.}} \times C_{e \text{ c.}} \times (T_c - T_{\text{amb.}}) \dots (27)$$

donde:

$$M_{\text{alamb.}} = 294 \text{ Kg}$$

$$C_{e \text{ c.}} = \left(\frac{T_{\text{cobre}} + 642.0287945}{1035.530314} \right) \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

la función del C_e cobre está calculado en el apéndice (I).

Los valores de este cálculo se verá en la TABLA No 7

A.3) Cálculo del Calor Absorbido por la Mufla

Para este cálculo consideramos a la mufla, solo la parte que se encuentra dentro del horno.

$$Q_{\text{Absorbido por la mufla}} = M_{\text{muf. a}} \times C_{e \text{ a}} \times (T_{\text{muf}} - T_{\text{amb.}}) \dots \dots \dots (28)$$

donde:

$$M_{\text{muf.}} = 25.74 \text{ Kg.}$$

$$C_{e \text{ a.}} = \left[\frac{T_{\text{muf}} + 2052.504239}{4452.286853} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

La función del C_e del acero está calculado en el apéndice (I).

$$T_{\text{amb.}} = 20^\circ\text{C.}$$

Los valores de este cálculo se verá en la TABLA No 9

Para una mejor comprensión elaboraremos la TABLA No. 10', la cual nos dará una idea de las temperaturas que intervienen en el horno.

A.4) Cálculo del Calor Perdido a través de las Paredes del Horno

$$Q_{\text{Perdido a través de la pared del Horno}} = Q_{\text{Perdido a través de la pared del Horno (P.C)}} + 2 \cdot Q_{\text{Perdido a través de la pared del Horno (Tapa)}} \dots\dots\dots (29)$$

Parte Cilíndrica

$$Q_{\text{Perdido a través de la pared del horno (P.C.)}} = \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi \cdot K_1 \cdot L}\right)} = \frac{T_2 - T_3}{\left(\frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi \cdot K_2 \cdot L}\right)} \dots\dots\dots (30)$$

De esta ecuación tendremos que calcular T2:

Pero según el apéndice (I) tenemos la función de K1 y K2: conductividades térmicas del ladrillo aislante y la lana KAO WOOL respectivamente.

$$K_1 = \left(\frac{T_1 + T_2 + 2014.335591}{19509.30354} \right) \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

$$K_2 = \left(\frac{T_2 + T_3 + 1409.547181}{19509.30354} \right) \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

Además:

$$\begin{aligned} r_1 &= 0.295 \text{ m} \\ r_2 &= 0.358 \text{ m} \\ r_3 &= 0.3695 \text{ m} \\ L &= 0.465 \text{ m} \end{aligned}$$

Reemplazando en la Ec. (30) tendremos el valor de T2 que requerimos:

$$\frac{T_1 - T_2}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi \cdot K_1 \cdot L}} = \frac{T_2 - T_3}{\frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi \cdot K_2 \cdot L}}$$

$$\frac{\ln(r_3/r_2)}{\ln(r_2/r_1)} = \frac{K_2 \cdot (T_2 - T_3)}{K_1 \cdot (T_1 - T_2)}$$

$$\frac{\ln\left(\frac{0.3695}{0.358}\right)}{\ln\left(\frac{0.358}{0.295}\right)} = \frac{\left(\frac{T_2 + T_3 + 1409.547181}{19509.30354}\right) \cdot (T_2 - T_3)}{\left(\frac{T_1 + T_2 + 2014.335591}{19509.30354}\right) \cdot (T_1 - T_2)}$$

$$0.1633505947 = \left(\frac{T_2 + T_3 + 1409.547181}{T_1 + T_2 + 2014.335591}\right) \times \left(\frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_2}\right) \dots (\alpha)$$

La ecuación (α) tiene que ser verificada con lo cual encontraremos T2; estos valores lo tendremos en las TABLAS No.11 y12; las conductividades térmicas del ladrillo aislante y la lana KAO WOOL para diferentes temperaturas de pared del horno.

- Conociendo la temperatura T2 ya podremos calcular el calor perdido a través de la pared del horno, parte cilíndrica, la cual la mostraremos en la TABLA No.13 .

La ecuación será:

$$Q \text{ Perdido a través de la pared del horno (P. C)} = \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi \cdot k_1 \cdot L} \right)} \dots \dots \dots (\rho)$$

Tapa del Horno

$$Q \text{ Perdido a través de la pared del horno (TAPA)} = \frac{T_1 - T_2}{(e_1/K_1)} = \frac{T_2 - T_3}{(e_2/K_2)} \dots\dots\dots (31)$$

donde:

$$e_1 = 0.059 \text{ m}$$

$$e_2 = 0.0115 \text{ m}$$

$$K_1 = \left(\frac{T_1 + T_2 + 2014.335591}{19509.30354} \right) \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

$$K_2 = \left(\frac{T_2 + T_3 + 1409.547181}{19509.30354} \right) \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

Reemplazando en la Ec. (31) tendremos el valor de la temperatura T2 con la cual estaría resuelto la perdida de calor a través de las tapas del horno:

Entonces:

$$\frac{(T_1 - T_2)}{\left[\frac{e_1}{\left(\frac{T_1 + T_2 + 2014.335591}{19509.30354} \right)} \right]} = \frac{(T_2 - T_3)}{\left[\frac{e_2}{\left(\frac{T_2 + T_3 + 1409.547181}{19509.30354} \right)} \right]}$$

$$\left(\frac{e_2}{e_1}\right) = \left(\frac{T_2 + T_3 + 1409.547181}{T_1 + T_2 + 2014.335591}\right) \times \left(\frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_2}\right)$$

$$0.1949152542 = \left(\frac{T_2 + T_3 + 1409.547181}{T_1 + T_2 + 2014.335591}\right) \times \left(\frac{T_2 - T_3}{T_1 - T_2}\right) \dots\dots (\gamma)$$

La ecuación (γ) tiene que ser verificada con la cual tendremos T_2 ; estos valores se dan en las TABLAS No.14 y 15 : las conductividades térmicas del ladrillo aislante y la lana KAO WOOL para diferentes temperaturas de pared de la tapa del horno.

Conociendo la temperatura T_2 ya podemos calcular el calor perdido a través de la pared del horno en la Tapa; la cual la mostraremos en la TABLA No16 .

La ecuación a calcular será:

$$Q \text{ Perdido a través de la pared del horno (TAPA)} = \frac{T_1 - T_2}{(e_1/K_1)}$$

TABLA No. 14

VALORES DE T2, VERIFICANDO LA CONSTANTE 0.1949152542

T1 (°C)	T2 (°C)	T3 (°C)	F
30	26.08	25	0.19436566
50	31.22	26	0.1945525434
100	43.92	28	0.1948606823
100	56.93	30	0.1949378847
200	70.23	32	0.1949459188
250	86.4	37.5	0.194980239
300	99.47	38.5	0.1949261171
350	112.46	39	0.1949076597
360	115.74	40	0.1949191216
360	117.89	43	0.1949145774
380	123.74	44	0.1949114804
400	129.63	45	0.1949208786
400	130.34	46	0.1949202372
410	134.36	48	0.1949258845
420	138.37	50	0.1949196886
425	142.2	54	0.1949036625
425	143.23	55	0.1949083160
440	149.26	58	0.1949217852
440	151.03	60.5	0.1949282491

A.5) Cálculo del Calor Perdido por las Aletas

$$Q_{\text{Perdido por las Aletas}} = h_{\text{aire}} \times A_f \times N_f \times (T_s - T_{\infty}) \dots (32)$$

$$\text{Tomos: } h_{\text{aire}} = 5 \text{ (W/m}^2 \text{-}^{\circ}\text{C)}$$

$$T_{\infty} = 26^{\circ}\text{C}$$

Para conocer T_s tendremos que calcular de la manera definida anteriormente:

$$Q_{\text{Perdido por las Aletas}} = \frac{T_1 - T_s}{\left(\frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi \cdot K \cdot e} \right)} = h_{\text{aire}} \times A_f \times N_f \times (T_s - T_{\infty}) \dots (\phi)$$

Pero:

$$r_2 = 0.37 \text{ m}$$

$$r_1 = 0.2775 \text{ m}$$

$$e = 0.003175 \text{ m}$$

$$A_f = 2 \times \pi \cdot \left[(0.7125)^2 - (0.37)^2 \right]$$

$$A_f = 2.3295 \text{ m}^2$$

Además:

$$K = 36 \text{ (W/m}^\circ\text{C)} \dots\dots\dots \text{ a } T = 394 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$K = 43 \text{ (W/m}^\circ\text{C)} \dots\dots\dots \text{ a } T = 52 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tomo :

$$K = (36+43)/2$$

$$K = 39.5 \text{ (W/m}^\circ\text{C)} \approx 40 \text{ (W/m}^\circ\text{C)}$$

$$(re-ri) \sqrt{\frac{hf}{K \cdot Yb}} = (0.7125-0.37) \sqrt{\frac{5 \text{ (W/m}^2\text{ }^\circ\text{C)}}{40 \text{ (W/m}^\circ\text{C)} \times 0.003175 \text{ m}}}$$

$$(re-ri) \sqrt{\frac{hf}{K \cdot Yb}} = 2.149$$

También:

$$(re/ri) = (0.7125/ 0.37) = 1.926$$

Con estos valores: encontraremos la eficiencia:

$$Nf = 0.375$$

Reemplazando los datos en la ecuación (ϕ) tendremos:

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot (0.003175) \text{ m} \times 40 \text{ (W/m}^\circ\text{C)} \times (T_1 - T_s)}{\text{Ln} (0.37/0.2775)} =$$

$$= 5 \text{ (W/m}^2\text{ }^\circ\text{C)} \times 2.3295 \text{ m}^2 \times 0.375 \times (T_s - 26)^\circ\text{C}$$

$$0.6350483672 = (T_s - 26)/(T_1 - T_s) \dots\dots\dots (\theta)$$

La ecuación (θ) tiene que ser verificada con lo cual encontraremos T_s , estos valores lo tendremos en la TABLA No 18 . Luego reemplazando en la ecuación (32) tendremos el calor perdido por las aletas, la cual la enumeraremos en la TABLA No.19 .

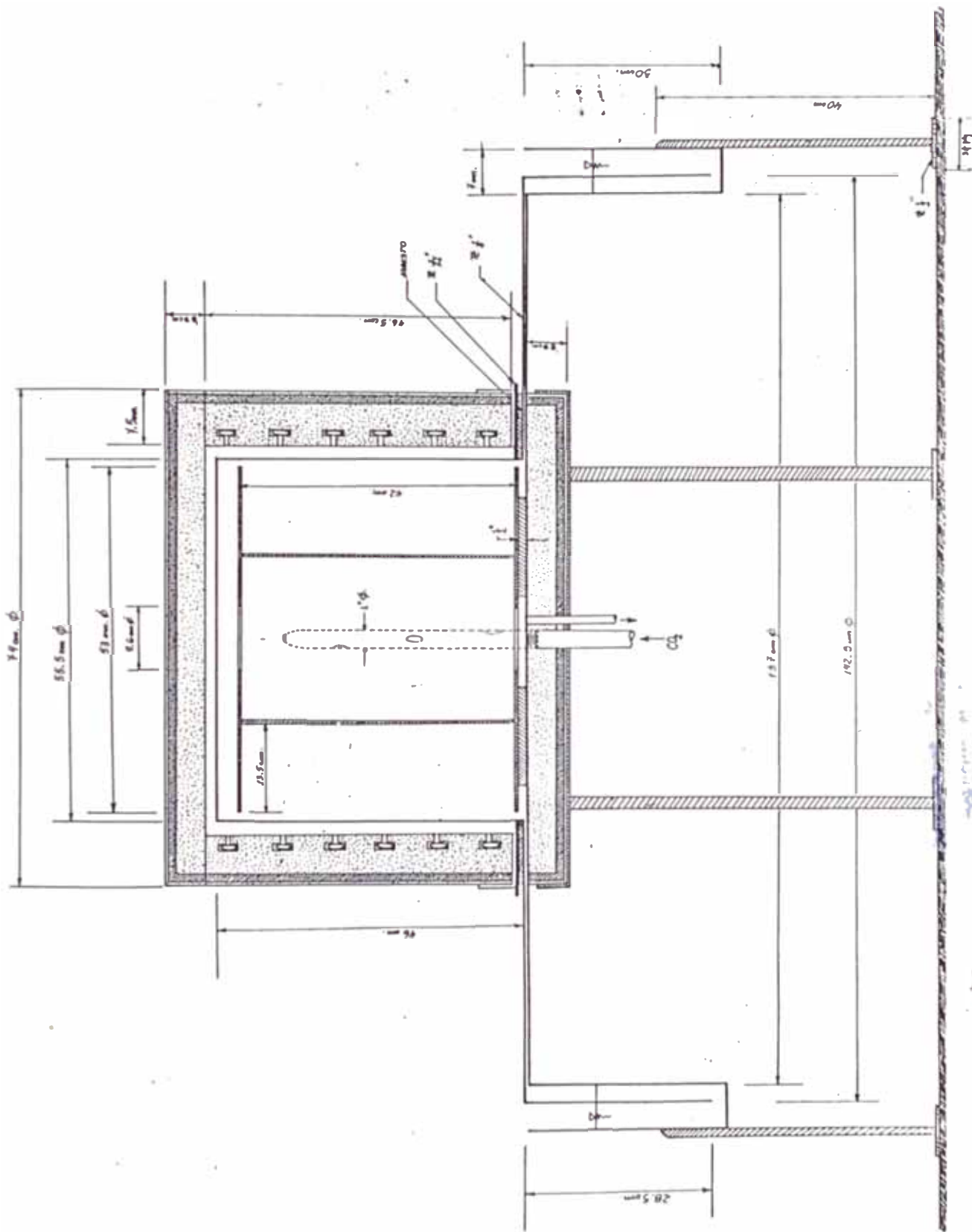


FIG. 25

ESCALA 1/4

4.2.1.2 Equipo para la Atmósfera Inerte; y Análisis de Gases

Consta de:

- Un cilindro de acero de alta presión para CO₂ tipo: ICC 3AA 2015.
Capacidad : 50 litros de volumen de agua.
Presión : 2,000 psi.

- Un regulador para gas de una etapa, de 2,000 a 1 psi y 40 pies³ /min.

- Banco de tuberías de 1 plg. de diámetro.

- Un regulador de campana invertida de 1,000 a 10 mm. de columna de agua y 35 pies /min.

- Un manómetro diferencial de 25 mm.

- Una válvula esférica de purga.

- Un analizador de contenido de oxígeno tipo ORSAT

4.2.1.3 Construcción - Pruebas y Control de Calidad

En una primera oportunidad y basándome en catálogos e información general, se construyó la mufla con medidas distintas a las actuales, las aletas de la mufla tenían 6 Plg. en vez de 12 Plg. y el piso del horno sobre el cual descansaba el carrito y por ende superficie en contacto con la atmósfera interior supuestamente inerte, estaba fabricada en ladrillo aislante y, la tubería de inyección de gas inerte de (1/4) Plg. en vez de 1 Plg., fueron errores cometidos que se modificaron uno por uno conforme se probaba el horno.

En el primer caso la aleta de 6 Plg. al encontrarse muy cerca de la fuente de calor vaporizaba parte del agua que se usaba como sello y esto ocasionaba el oscurecimiento de la superficie del alambre que estaba siendo recocido, al percatarnos de esta situación y tomando los valores de temperatura en diversos puntos de la aleta, se identificó la gradiente de temperatura y se modificó la aleta duplicándose su longitud a 12 Plg., solucionándose este primer impase.

En el segundo caso, el piso del Horno fué fabricado en ladrillo aislante, que es extremadamente poroso, estos ladrillos tenían en su interior aire atrapado del medio ambiente y al momento de calentar el horno, éste se dilataba y se mezclaba con la atmósfera que pretendimos crear y la contaminaba, oxidando el cobre, perdiendo también el brillo requerido, después de meditar sobre este asunto llegamos a la conclusión que la mufla debía ser hermética. Utilizamos entonces la parte superior ya existente y, fabricamos un nuevo piso del horno con plancha de acero, al realizar la siguiente experiencia de horneado, el acabado superficial del cobre tratado fué sustancialmente mejor, sin embargo las capas exteriores de cobre en los carretes salían con algunos pequeñas manchas, debido a la humedad en el interior de la mufla.

Esta situación se solucionó cambiando las tuberías de purga aumentando su sección en 16 veces y purgando más a menudo.

Pudimos apreciar entonces que las tuberías de escape del horno salía vapor de agua cada vez que se purgab , se acortó el tiempo entre purgas y tras repetidos intentos se optimizó el funcionamiento.

En alguna oportunidad siguiente el material horneado salió manchado como en sus inicios, situación que creíamos ampliamente superada, y hasta el momento estábamos utilizando nitrógeno como gas, inerte y decidimos cambiar a CO_2 que con sin ser inerte es un gas bastante estable para nuestras temperaturas de trabajo, el problema se resolvió en un 100%, los resultados fueron óptimos y conseguimos el mejor acabado brillante del mercado.

Entonces, entendimos que el Nitrógeno estaba contaminado y que no había manera práctica de comprobar la pureza de cada cilindro que se compraba, por lo tanto esto motivó que estandarizamos el uso del CO_2 en un lugar del Nitrógeno.

4.2.2 Cálculo de las Pozas de Decapado

Teniendo el rollo de alambón de cobre aproximadamente 90 cm. de diámetro exterior y acostumbrándose en este campo el acarreo de rollos de alambón acomodando uno atrás del otro en un gancho porta rollos y teniendo cada rollo aproximadamente algo menos de 20 cm. de ancho, podrían entrar 7 rollos como máximo, repartiendo las tolerancias ambos extremos del gancho, llegando a 1.60 m. de lado.

Este tanque debe ser una figura geométrica, capaz de contener la mayor cantidad de líquido con la menor área expuesta posible debido a que se trabaja a temperatura arriba de la ambiente; por lo tanto para evitar en lo posible las fugas de calor, escogemos el cubo como forma de nuestra poza de decajado.

El peso de 7 rollos es aproximadamente 770 Kg. haciendo un estimado y para no tener variaciones importantes en la temperatura de las pozas cuando se introducen los 770 Kg. de Cobre frío escojo un volumen de solución cinco veces mayor que la del cobre, por lo tanto siendo el volumen del cobre de 770 lts. que multiplicado por cinco nos daría 3,850 lts. quedando un cubo con 1.56 m. de lado mínimo.

4.2.2.1 Cálculo de las Resistencias Térmicas de Calefacción. Optimización.

- Para realizar este cálculo tendremos que enumerar y definir los calores que intervienen en la operación de la cuba de decapado y de ésta manera poder seleccionar la resistencia térmica a utilizar.
- Antes de definir los calores que intervienen en la cuba veremos la Figura No.28 la cual nos da en forma esquemática una idea física de la cuba.

A continuación enumeraremos los calores que intervienen:

1. Calor Absorbido por la Solución:

$$Q_{\text{Absorbido por la Solución}} = M_{\text{Sol.}} \times C_{\text{Sol.}} \times T_{\text{sol.}} - T_{\text{amb.}} \dots (33)$$

2. Calor Absorbido por el Cobre:

$$Q_{\text{Absorbido por el Cobre}} = M_{\text{Cobre}} \times C_{\text{Cobre}} \times T_{\text{Cobre}} - T_{\text{amb.}} \dots (34)$$

3. Calor Absorbido por las Paredes (Ver Figura No. 29)

$$Q_{\text{Absorbido por las Paredes}} = Q_{\text{Absorbido por la Fibra - 1}} + Q_{\text{Absorbido por la Plancha de Acero}} + Q_{\text{Absorbido por la Fibra - 2}} \dots (35)$$

Los cuales lo calcularemos de la siguiente manera:

$$Q_{\text{Absorbido por la Fibra-1}} = M_{\text{Fibra - 1}} \times C_{e \text{ Fibra}} \times \left[\left(\frac{T_2 + T_1}{2} \right) - T_{\text{amb}} \right] \dots (36)$$

$$Q_{\text{Absorbido por la Plancha de Acero}} = M_{\text{Plancha de Acero}} \times C_{e \text{ Acero}} \times \left[\left(\frac{T_2 + T_3}{2} \right) - T_{\text{amb.}} \right] \dots (37)$$

$$Q_{\text{Absorbido por la Fibra - 2}} = M_{\text{Fibra-2}} \times C_{e \text{ Fibra}} \times \left[\left(\frac{T_3 + T_4}{2} \right) - T_{\text{amb.}} \right] \dots (38)$$

4. Calor Absorbido por el Gancho (Ver Figura No.30)

$$Q_{\text{Absorbido por el Gancho}} = Q_{\text{Absorbido por la Fibra}} + Q_{\text{Absorbido por la plancha de Acero}} \dots (39)$$

donde:

$$Q_{\text{Absorbido por la Fibra}} = M_{\text{Fibra}} \times C_{e \text{ Fibra}} \times (T_{\text{fibra}} - T_{\text{amb.}}) \dots (40)$$

$$Q_{\text{Absorbida por la Plancha de Acero}} = M_{\text{Plancha de Acero}} \times C_{e \text{ Acero}} \times (T_{\text{Acero}} - T_{\text{amb.}}) \dots (41)$$

5. Calor Perdido por las Paredes (Ver Figura (No.31))

$$Q \text{ Perdido por las Paredes} = \frac{(T_{sol.} - T_{amb.})}{\left[\frac{1}{h_{sol.}} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{e_3}{k_3} + \frac{1}{h_{aire}} \right]} \dots\dots\dots (42)$$

donde:

- e1 = espesor de la fibra - parte interior en metros.
- e2 = espesor de la plancha de acero en metros.
- e3 = espesor de la fibra - parte exterior en metros.
- k1 = k3 = conductividad térmica de la fibra en (W/m-°C)
- k2 = conductividad térmica del acero en (W/m-°C)
- h_{aire} = coeficiente convectivo del aire en (W/m²-°C)
- h_{sol.} = coeficiente convectivo de la solución en (W/m²-°C)

- Cabe hacer notar que la fracción: $\frac{1}{h_{sol.}} \approx 0$

ya que (h_{sol.}) = 1.219.3 (W/m²-°C)

- El calor perdido por las paredes también se podría calcular de la siguiente manera:

$$Q \text{ Perdido por las Paredes} = h_{aire} \times (T_{pared} - T_{amb.}) \dots\dots\dots (43)$$

- De ésta manera realizaremos los cálculos que nos llevarán definir la resistencia térmica a utilizar en la poza de decapado.

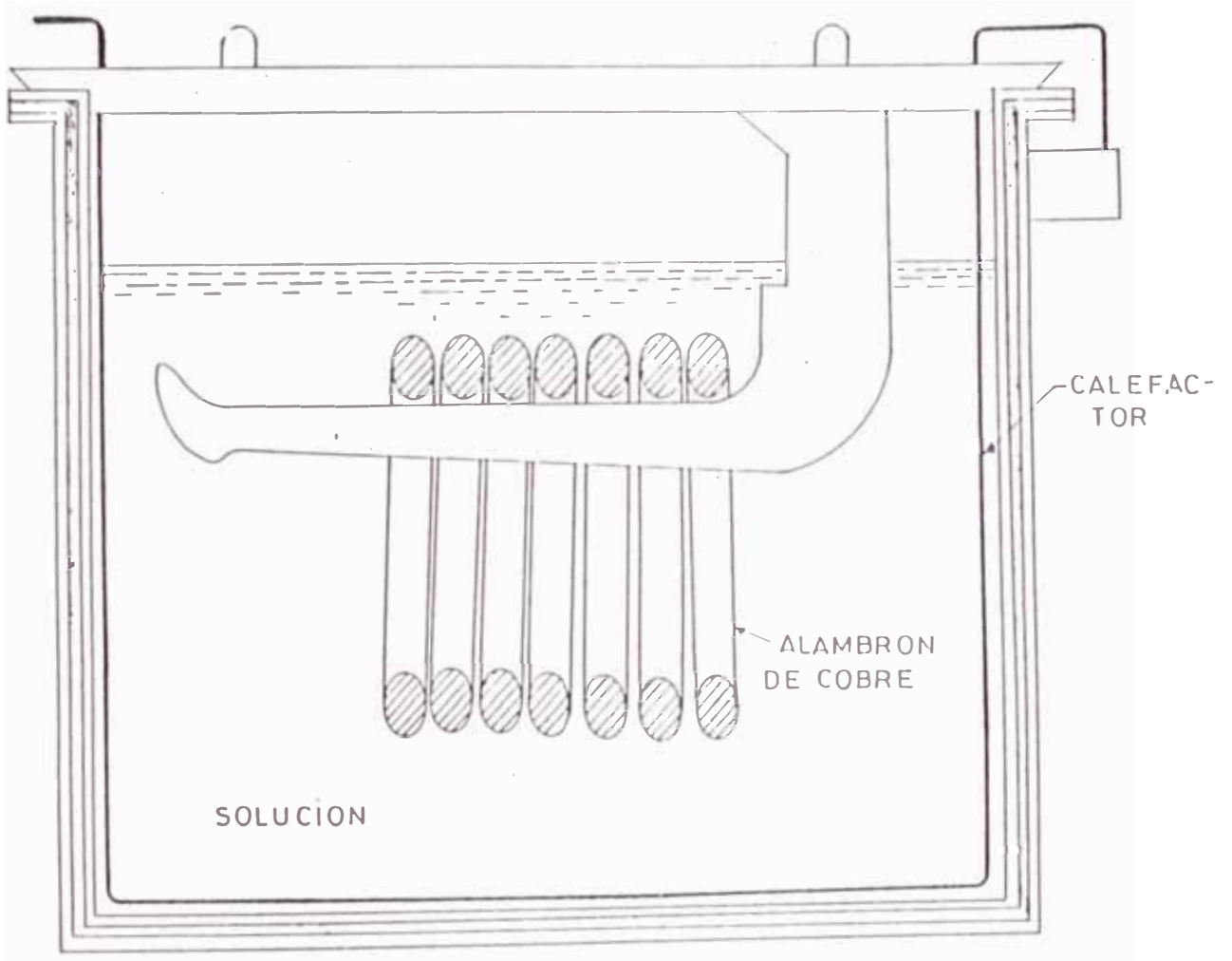


FIG. Nº28

Figura No.29

CORTE DE LA POZA DE DECAFADO

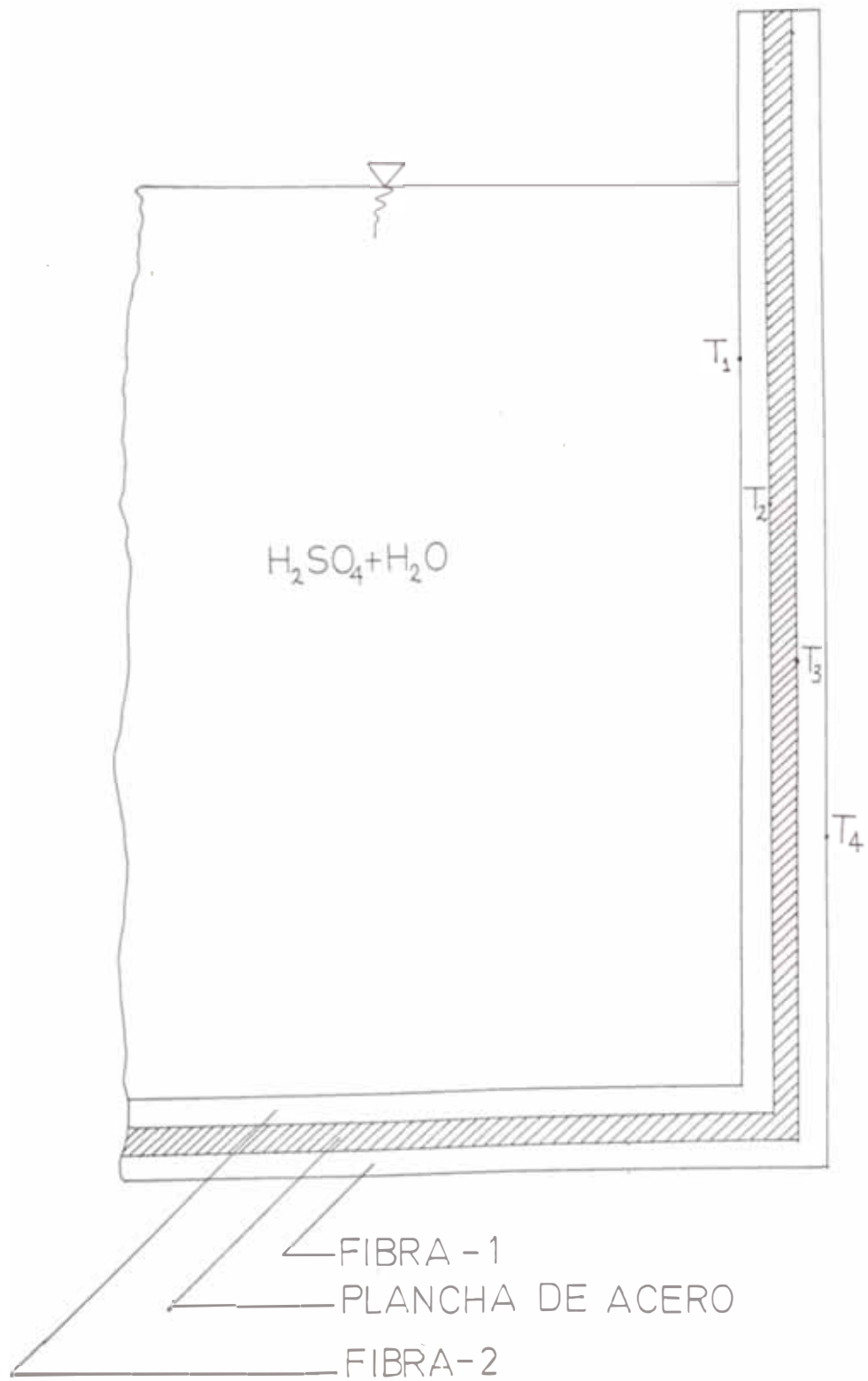
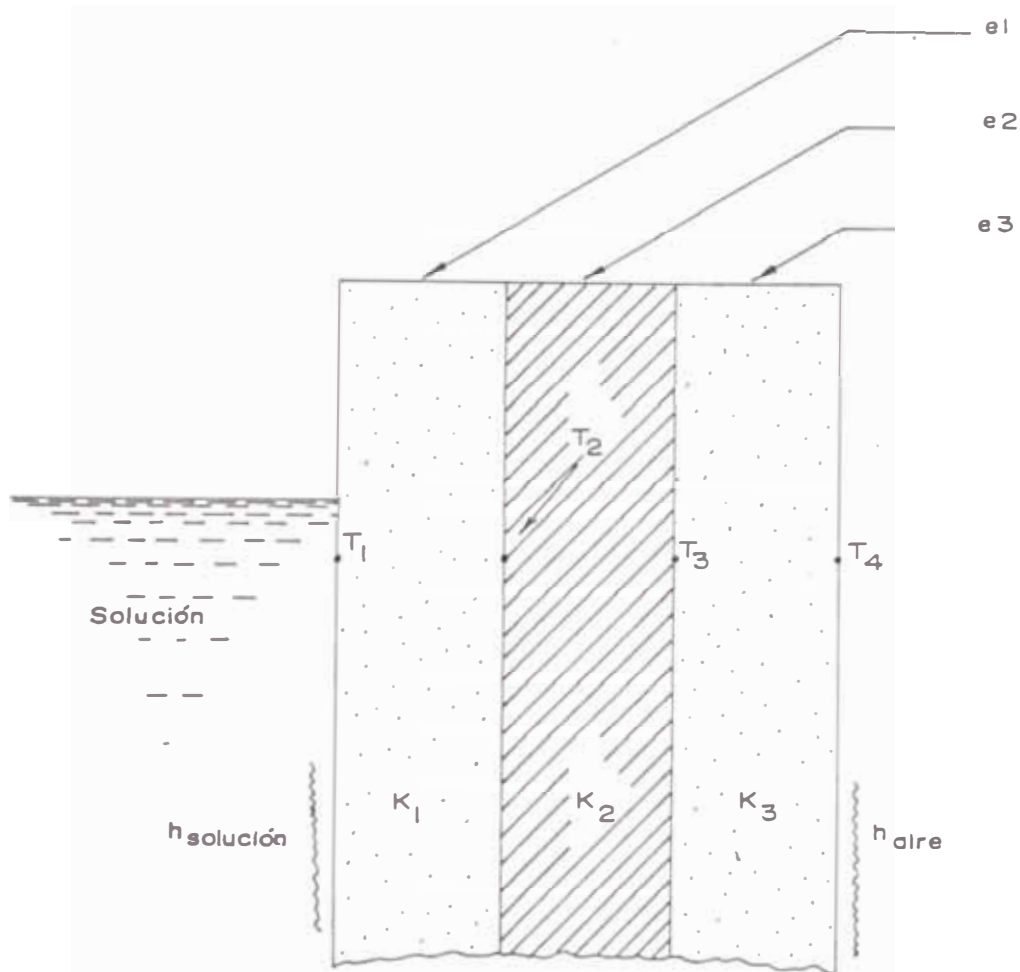


Figura No.31

PARED DE LA POZA DE DECAPADO



- e1 = 1/8" fibra de vidrio.
- e2 = 1/8" plancha de acero.
- e3 = 1/8" fibra de vidrio.

h_{aire} = coeficiente convectivo en $(W/m^2 \text{ } ^\circ C)$

T4 = Temperatura de pared en $^\circ C$ expuesta al aire

T1 = Temperatura de la solución en $^\circ C$ expuesta a la solución

K1=K3 = Conductividad térmica de la fibra poliéster-reforzado con fibra de vidrio en $(W/m \text{ } ^\circ C)$

K2 = Conductividad térmica de la plancha de acero en $(W/m \text{ } ^\circ C)$

Metodo de Cálculo1. Calor Absorbido por la Solución:

$$Q_{\text{Absorbido}} = M_{\text{Sol.}} \times C_{e \text{ Sol.}} \times (T_{\text{sol}} - T_{\text{amb}}) \dots \dots (44)$$

por la Solución

1.1 Cálculo del Calor Específico de la Solución:

Este cálculo se realizará por peso en 1 m^3 .

Además:

ACIDO SULFURICO : $\text{H}_2 \text{SO}_4$

Ce (KJ/Kg-°C)	γ (gr/cm ³)	T (°C)
1.423512	1.84	10
1.507248		45

AGUA : H_2O

Ce (KJ/Kg-°C)	γ (gr/cm ³)	T (°C)
4.1868	1.00	100
4.228668		200

En 1 m^3 : 0.8 m^3 de Agua60%
 0.2 m^3 de Acido Sulfúrico....20%

- Peso del agua : $0.8 \text{ m}^3 \times 1000 \text{ Kg/m}^3 = 800 \text{ kg agua}$

- Peso del Acido : $0.2 \text{ m}^3 \times 1840 \text{ Kg/m}^3 = 368 \text{kg acido Sulfúrico}$

$$C_{e \text{ Sol.}} = \frac{800 \text{ Kg} \times 4.2 (\text{KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{C}) + 368 \text{ Kg} \times 1.5 (\text{KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{C})}{(800 + 368) \text{ Kg.}}$$

$$C_{e \text{ Sol.}} = 3.349 \text{ KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

1.2 Cálculo del Peso Especifico de la Solución

Como sabemos que:

Peso del agua	:	800 Kg	
Peso del Acido	:	368 Kg	
Sulfúrico			1168 Kg

$$\gamma_{\text{Solución}} = 1168 \text{ Kg/m}^3$$

1.3 Cálculo de la Masa de la Solución. en el Tanque

Sabemos que el tanque tiene las siguientes medidas :
 1.6 x 1.6 x 1.6 m . pero está lleno hasta 1.45 m.,
 entonces el volumen será:

$$V = 1.6 \times 1.6 \times 1.45$$

$$V = 3.712 \text{ m}^3$$

=====

La masa será:

$$W = \gamma \times V$$

donde:

γ - peso específico de la solución.
 V - volumen de la solución.

$$W = 1168 \text{ Kg/m}^3 \times 3.712 \text{ m}^3$$

$$= 4335.616 \text{ Kg.} \quad \text{masa de la solución}$$

$$M_{\text{solución}} = 4335.616 \text{ Kg.}$$

- La temperatura ambiente en Chincha es 25 °C

Tambiente : 25 °C

Reemplazando en 1 tendremos:

Q Absorbido = 4,335.616Kg x 3.349 (KJ/Kg-°C) x (Tsol - 25) °C
 por la
 solución.

Realizamos el cálculo de ejemplo para :
 Tsol. = 40 °C.

Q Absorbido = 4335.616Kg x 3.349 (KJ/Kg-°C) x (40-25) °C
 por la
 solución.

$$Q \text{ Absorbido por la solución.} = 217,799.6697 \text{ KJ.}$$

=====

De la misma manera calcularemos para las demás temperaturas de calentamiento.

La Tabla No.20 nos dará los valores de los calores absorbidos por la solución para diferentes temperaturas de calentamiento de la solución.

2. Calor Absorbido por el Cobre

$$Q_{\text{Absorbido por el cobre}} = M_{\text{cobre}} \times C_{e \text{ cobre}} \times (T_{\text{cobre}} - T_{\text{amb}}) \dots (45)$$

Sabemos que:

$$M_{\text{cobre}} = 770 \text{ Kg.}$$

$$T_{\text{amb.}} = 25^{\circ}\text{C}$$

$$C_{e \text{ cobre}} = \left[\frac{T + 642.0287945}{1035.530314} \right] \dots \text{función del calor específico del cobre en función de la temperatura en (KJ/Kg-}^{\circ}\text{C)}$$

$$T = T_{\text{cobre}} \text{ en } ^{\circ}\text{C}$$

Realizaremos el ejemplo de cálculo para $T_{\text{cobre}} = 30^{\circ}\text{C}$

$$Q_{\text{Absorbido por el cobre}} = 770 \text{ Kg} \times \left[\frac{30 + 642.0287945}{1035.530314} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{Kg-}^{\circ}\text{C}} \times (30 - 25)^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{Absorbido por el cobre}} = 2.498.537 \text{ KJ}$$

La Tabla No. 21. nos dará los valores de los calores absorbido por el cobre para diferentes temperaturas de calentamiento.

3. Calor_Absorbido_por_las_Paredes

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Absorbido por las paredes}} &= Q_{\text{Absorbido por la Fibra-1}} + Q_{\text{Absorbido por la plancha de acero}} + \\
 &+ Q_{\text{Absorbido por la Fibra-2}} \dots\dots\dots(46)
 \end{aligned}$$

donde:

3.1 Calor_Absorbido_por_la_Fibra_-_1

$$Q_{\text{Absorbido por la Fibra-1}} = M_{\text{fibra-1}} \times C_{e \text{ fibra}} \times \left[\left(\frac{T_1 + T_2}{2} \right) - T_{\text{amb}} \right] \dots(47)$$

Cálculo de la Masa de la Fibra-1 : (Ver Figura No.2)

$$M_{\text{Fibra-1}} = \rho_{\text{Fibra}} \times V_{\text{Fibra-1}}$$

$$V_{\text{fibra-1}} = \left[(1.60635 \times 1.60635 \times 1.603175) - (1.6 \times 1.6 \times 1.6) \right] m^3$$

$$V_{\text{fibra-1}} = 0.040769159 \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{Fibra}} = 1.800 \text{ Kg/m}^3$$

Entonces:

$$M_{\text{fibra-1}} = 1.800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0.040769159 \text{ m}^3$$

$$M_{\text{fibra-1}} = 73.3844862 \text{ Kg.}$$

=====

- El calor específico de la Fibra-1 será :

$$C_{e \text{ Fibra-1}} = 0.3 \frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}} = 1.256281407 \text{ (KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{C)}$$

Además: $T_{\text{amb.}} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$

Reemplazando en (47) tendremos el calor absorbido por la fibra-1. La Tabla No.22 nos dará estos valores para diferentes temperaturas de pared, T_1 , T_2 , en ($^{\circ}\text{C}$).

TABLA No. 22

T1 (°C)	T2 (°C)	$(T1+T2)/2$ (°C)	Q Absorbido por la Fibra - 1 (KJ)
26	25.98	25.99	91.2696
27	26.96	26.98	182.5393
28	27.93	27.965	273.3479
29	28.90	28.95	364.1567
30	29.87	29.935	454.9654
35	34.68	34.84	907.1650
40	39.46	39.73	1.357.9817
45	44.21	44.605	1.807.4156
50	48.95	49.475	2.256.3886
55	53.67	54.335	2.704.4396
60	58.38	59.19	3.152.0296
65	63.08	64.04	3.599.1587

3.2 Calor Absorbido por la Plancha de Acero

$$Q_{\text{Absorbido por la plancha de acero}} = M_{\text{plancha de acero}} \times C_e_{\text{acero}} \times (T_{\text{acero}} - T_{\text{amb}}) \dots (48)$$

- Cálculo de la masa de la Plancha de acero.
(Ver Fig. No.28 .

$$M_{\text{Plancha de acero}} = \rho_{\text{acero}} \times V_{\text{Plancha de acero}}$$

$$V_{\text{de acero}} = \left[(1.6127 \times 1.6127 \times 1.60635) - (1.60135 \times 1.60635 \times 1.603175) \right] \text{ m}^3$$

$$V_{\text{plancha de acero}} = 0.041027993 \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{acero}} = 7,801 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

reemplazando :

$$M_{\text{plancha de acero}} = 7.801 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0.041027993 \text{ m}^3$$

$$M_{\text{plancha de acero}} = 320.0593734 \text{ Kg.}$$

- Cálculo del calor específico de la Plancha de acero.

$$Ca = \left[\frac{T + 2052.504239}{4452.286853} \right] \frac{KJ}{Kg-^{\circ}C}$$

donde : $T = \frac{T_2 + T_3}{2}$ ver figura No.28

Reemplazamos en (48) tendremos:

$$Q \text{ Absorbido por la Plancha de Acero} = 320.05937Kg \times \left[\frac{(T_2+T_3)/2+2052.504239}{4452.286853} \right] \frac{KJ}{Kg-^{\circ}C} \times \left[(T_2 + T_3)/2 - 25 \right]^{\circ}C$$

La Tabla No.23 nos dará el calor absorbido por la plancha de acero para diferentes temperaturas de pared T_2 , T_3 en $^{\circ}C$.

TABLA No.23

T_2 ($^{\circ}C$)	T_3 ($^{\circ}C$)	$(T_2+T_3)/2$ ($^{\circ}C$)	Calor absorbido por la plancha de Acero (KJ)
25.9845	25.9844	25.98445	147.0919
26.9614	26.9611	26.96125	293.1705
27.9345	27.9341	27.9343	438.8406
28.9044	28.9039	28.90415	584.1592
29.8718	29.8710	29.8714	729.2229
34.6829	34.6810	34.68195	1.452.6849
39.4619	39.4587	39.4603	2.174.5933
44.2180	44.2132	44.2156	2.896.2881
48.9555	48.9492	48.95235	3.618.3949
53.6773	53.6693	53.6733	4.341.3027
58.3848	58.3751	58.37995	5.065.2105
63.0806	63.0690	63.0748	5.790.1764

3.3 Calor Absorbido por la Fibra-2

$$Q_{\text{Absorbido por la Fibra-2}} = M_{\text{Fibra-2}} \times C_{e \text{ Fibra}} \times \left[\frac{T_3 + T_4}{2} - T_{\text{amb}} \right] \quad \dots (49)$$

Cálculo de la masa de la Fibra-2 : (Ver figura No.28

$$M_{\text{fibra-2}} = \rho_{\text{fibra}} \times V_{\text{fibra-2}}$$

$$V_{\text{Fibra-2}} = [(1.61905 \times 1.61905 \times 1.609525) - (1.6127 \times 1.6127 \times 1.60635)] \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Fibra-2}} = 0.041287592 \text{ m}^3$$

=====

$$\rho_{\text{Fibra}} = 1.800 \text{ Kg/m}^3$$

=====

Entonces:

$$M_{\text{fibra-2}} = 1.800 \text{ Kg/m}^3 \times 0.041287592 \text{ m}^3$$

$$M_{\text{fibra-2}} = 74.3176656 \text{ Kg.}$$

=====

El calor específico de la Fibra-2 será :

$$C_{e \text{ Fibra-2}} = 0.3 \frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}} = 1.256281407 \text{ (KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{C)}$$

Además : $T_{amb.} = 25^{\circ}C.$

Reemplazando en (49) tendremos el calor absorbido por la fibra-2. La Tabla No.24 nos dará estos valores para diferentes temperaturas de pared T3, T4 en (°C).

4. Calor Absorbido por el Gancho

$$Q_{\text{Absorbido por el Gancho}} = Q_{\text{Absorbido por la Fibra}} + Q_{\text{Absorbido por la Plancha de Acero}} \dots (50)$$

4.1 Calor absorbido por la Fibra

$$Q_{\text{Absorbido por la Fibra}} = M_{\text{Fibra}} \times C_{e \text{ Fibra}} \times (T_{\text{fibra}} - T_{\text{amb}}) \dots (51)$$

$$M_{\text{Fibra}} = 3.78 \text{ Kg} \dots (\text{ver cálculo masa del gancho})$$

$$C_{e \text{ Fibra}} = 0.38 \frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}} = 1.256281407 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$T_{\text{amb.}} = 25^\circ\text{C}.$$

Realizamos el ejemplo de cálculo para $T_{\text{fibra}}=50^\circ\text{C}$

$$Q_{\text{Absorbido por la Fibra}} = 3.78 \text{ Kg} \times 1.256281407 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (50-25)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{Absorbido por la Fibra}} = \underline{\underline{118.7175 \text{ KJ}}}$$

La Tabla No.26 nos dará los valores de los calores absorbidos por la fibra para diferentes temperaturas de calentamiento.

4.2 Calor Absorbido por la Plancha de Acero

$$Q_{\text{Absorbido}} = M_{\text{plancha de acero}} \times C_{e \text{ acero}} \times (T_{\text{acero}} - T_{\text{amb.}}) \dots (52)$$

$$M_{\text{plancha de acero}} = 79 \text{ Kg} \dots (\text{Ver cálculo de masa del gancho})$$

$$C_{e \text{ acero}} = \left[\frac{T_{\text{acero}} + 2052.504239}{4452.286853} \right] (\text{KJ/Kg-}^{\circ}\text{C}) \dots \text{Ver Apéndice I}$$

$$T_{\text{amb.}} = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Realizaremos el ejemplo de cálculo para $T_{\text{acero}} = 40^{\circ}\text{C}$

$$Q_{\text{Absorbido}} = 79 \text{ Kg} \times \left[\frac{40 + 2052.504239}{4452.286853} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{Kg-}^{\circ}\text{C}} \times (40 - 25)^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{\text{Absorbido}} = 555.5599 \text{ KJ}$$

La Tabla No.27 nos dará los calores absorbidos por la plancha de acero para diferentes temperaturas de calentamiento.

CALCULO DE LA MASA DEL GANCHO

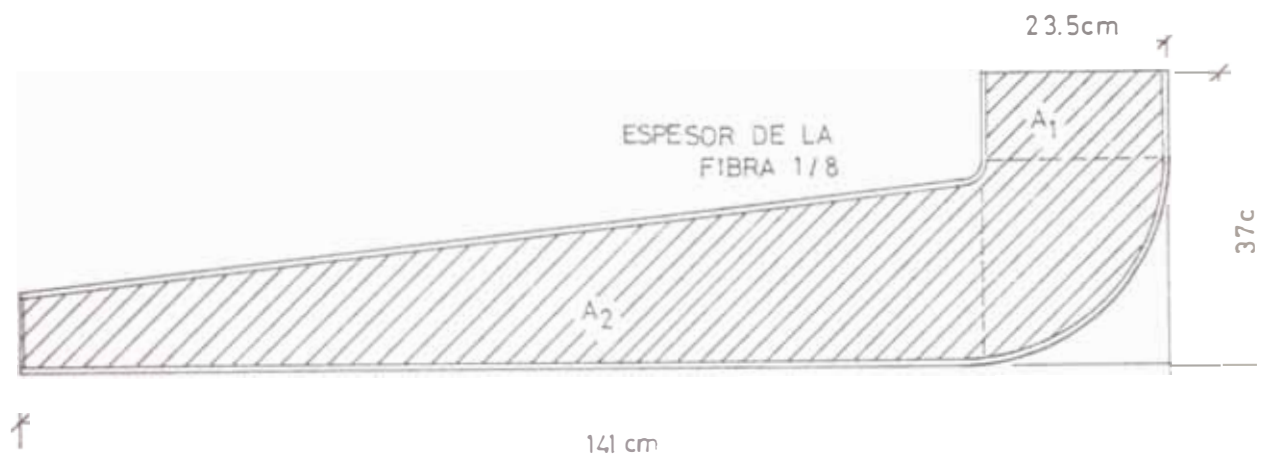


FIG. N° 32

MASA_DEL_ACERO

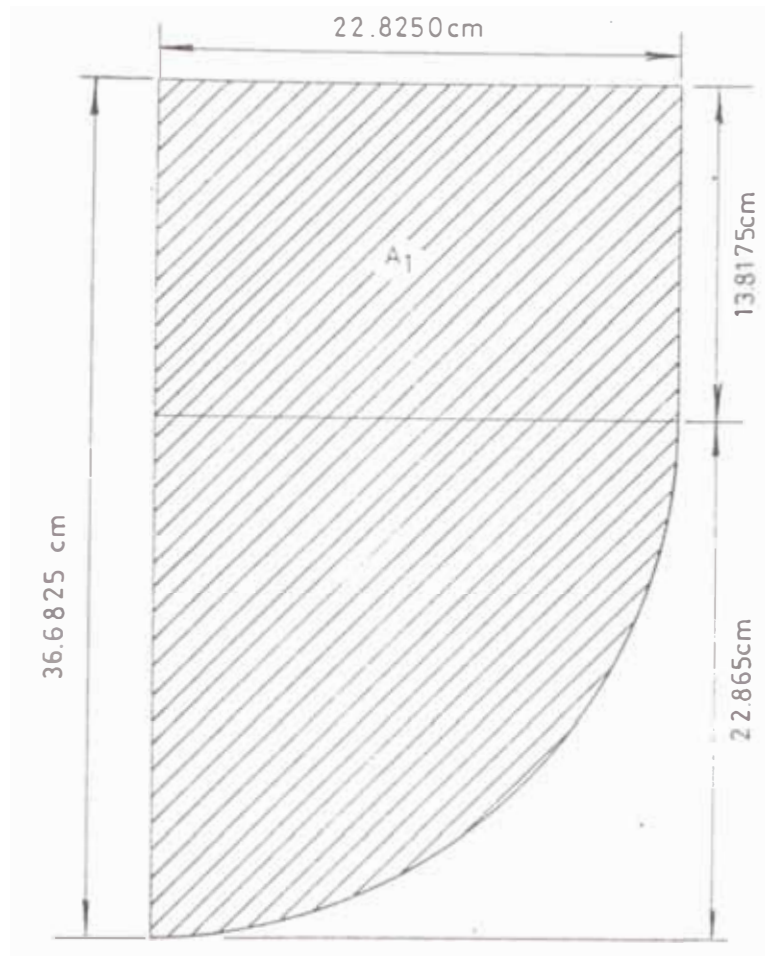


FIG. N° 33

$$A_1 = (22.8650 \times 13.8175) \text{ cm}^2 + \frac{\pi (22.865)^2}{4}$$
$$A_1 = 726.5497 \text{ cm}^2$$

=====

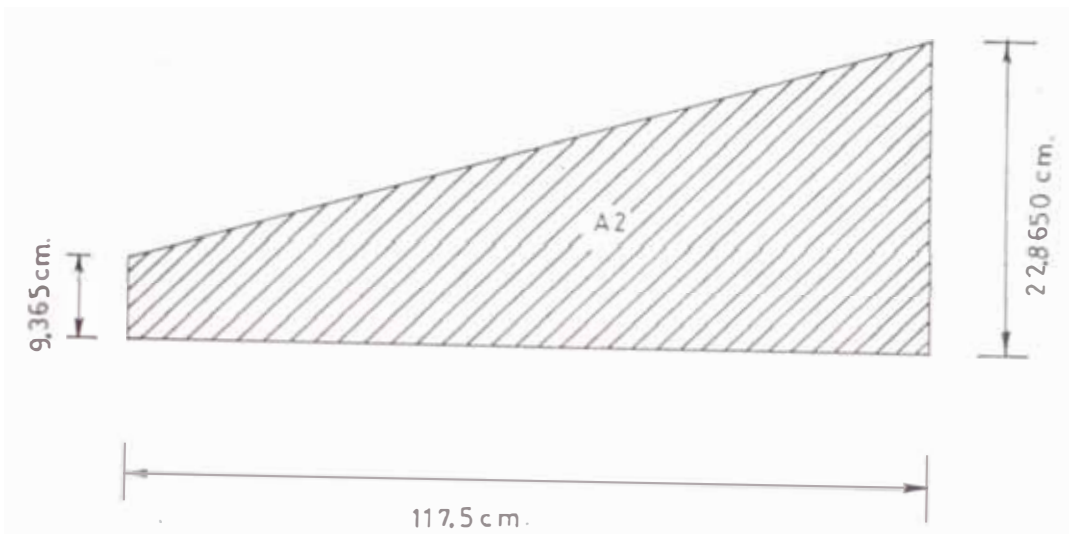


FIG. Nº 34

$$A2 = \left[\frac{(22.8650 + 9.365)}{2} \right] \times 117.5 \text{ cm}^2$$

$$A2 = 1893.5125 \text{ cm}^2$$

=====

ANCHO DEL ACERO:

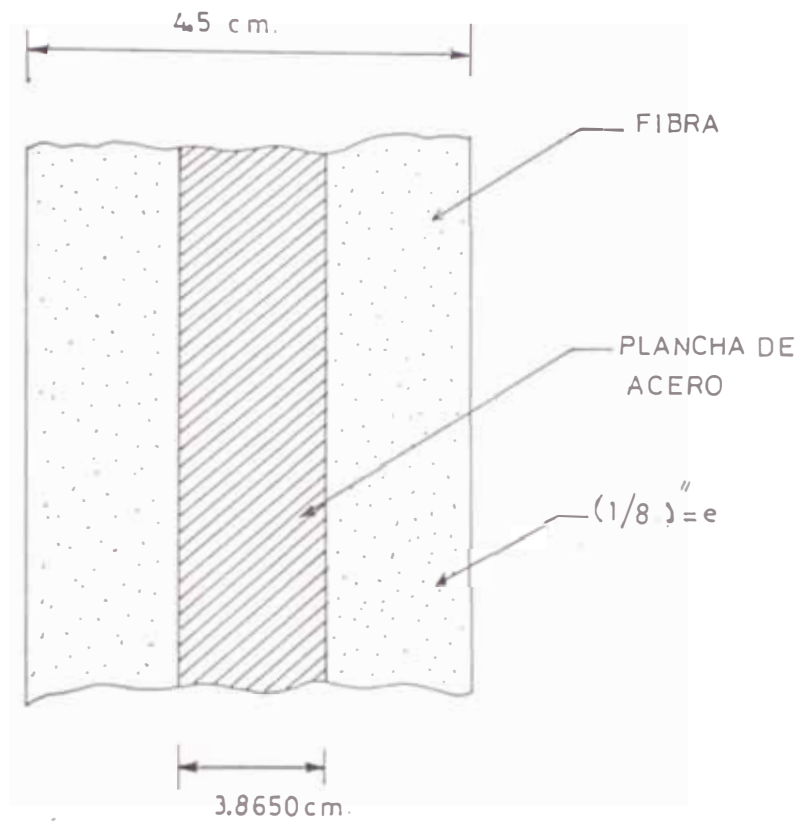


FIG. N° 35

Entonces el volumen será:

$$V_1 = A_t \cdot x \cdot e_{\text{pl}}$$

$$A_t = \text{Area total} = A_1 + A_2$$

$$e_{\text{pl}} = \text{Espesor de la plancha}$$

$$V_1 = \text{Volumen de la plancha de acero}$$

$$A_t = A_1 + A_2 = 726.5497 \text{ cm}^2 + 1893.5125 \text{ cm}^2$$

$$A_t = 2.620.0622 \text{ cm}^2$$

$$e_p = 3.8650 \text{ cm}$$

entonces:

$$V_1 = 2620.0622 \text{ cm}^2 \times 3.8650 \text{ cm.}$$

$$V_1 = 0.0101265404 \text{ m}^3$$

La masa de la plancha de acero será :

$$M_{\text{plancha de acero}} = V_1 \times \rho_{\text{acero}}$$

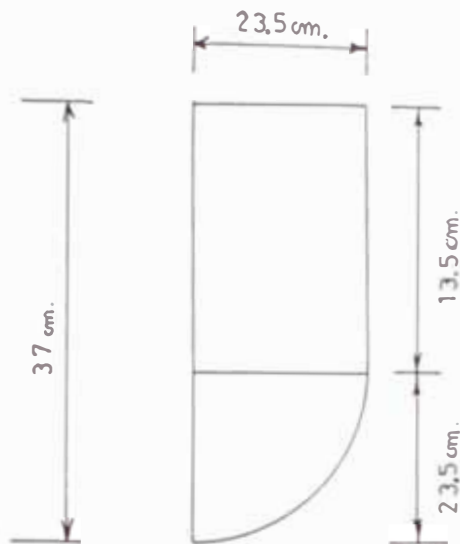
$$M_{\text{plancha de acero}} = 0.0101265404 \text{ m}^3 \times 7.801 \text{ Kg/m}^3$$

$$M_{\text{plancha de acero}} = 79 \text{ Kg.}$$

- La masa de la Fibra.

$$M_{\text{Fibra}} = (V_2 - V_1) \text{ m}^3 \times \rho_{\text{Fibra}}$$

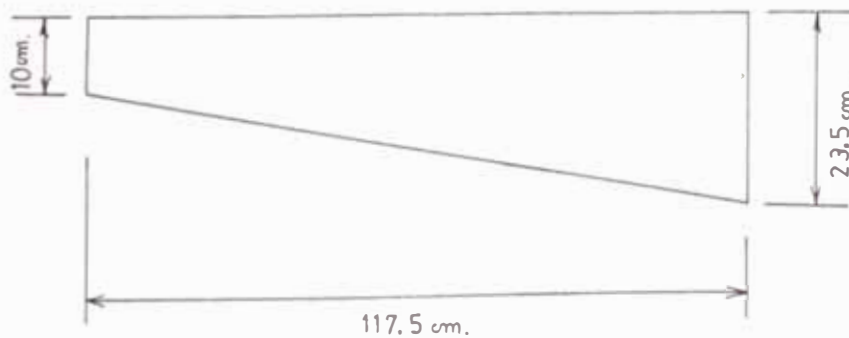
Considerando la fibra :



$$A_3 = (23.5 \times 13.5) \text{ cm}^2 + \frac{\pi (23.5)^2}{4} \text{ cm}^2$$

$$A_3 = 750.9861 \text{ cm}^2$$

=====



$$A_4 = \left[\frac{23.5 + 10}{2} \right] \times 117.5 \text{ cm}^2$$

$$A_4 = 1968.1250 \text{ cm}^2$$

$$A_t = (A_3 + A_4) = 750.9861 \text{ cm} + 1968.1250 \text{ cm}^2$$

$$A_t = 2719.1111 \text{ cm}^2$$

El volumen será : $V_2 = A_t \times e$

donde :

$$e = \text{espesor considerando la fibra} = 4.5 \text{ cm}$$

$$V_2 = 2719.1111 \text{ cm}^2 \times 4.5 \text{ cm.}$$

$$V_2 = 0.012236 \text{ m}^3$$

La masa de la fibra será :

$$M_{\text{Fibra}} = (0.012236 - 0.010126540) \text{ m}^3 \times 1800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$M_{\text{Fibra}} = 3.78 \text{ Kg}$$

5. Calor Perdido por las Paredes (Ver figura No.31)

$$Q \text{ Perdido por las paredes} = \frac{(T_1 - T_{amb.})}{\left[\frac{1}{h_{sol.}} + \frac{e_1}{K_1} + \frac{e_2}{K_2} + \frac{e_3}{K_3} + \frac{1}{h_{aire}} \right]}$$

$$= h_{aire} (T_4 - T_{amb.}) \dots \dots \dots (53)$$

ya que: $h_{sol.} = 1,219.3 \text{ (W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)}$

$$\frac{1}{h_{sol.}} = \frac{1}{1219.3} \approx \text{cero}$$

Además:

$$Q \text{ Perdido por las paredes} = \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{e_1}{K_1} \right)} = \frac{T_2 - T_3}{\left(\frac{e_2}{K_2} \right)} = \frac{T_3 - T_4}{\left(\frac{e_3}{K_3} \right)} \dots \dots (54)$$

Para realizar el cálculo del calor perdido por las paredes tendremos que calcular la temperatura T_4 = temperatura de pared, la cual también nos llevará a conocer el coeficiente convectivo del aire (haire): de ésta manera tendremos además las temperaturas T_2 , T_3 , temperaturas internas de pared.

-- Datos que utilizaremos:

$$e_1 = e_3 = \text{espesor de la fibra} \\ = (1/8)\text{Plg.} = 0.003175 \text{ m.}$$

$$e_2 = \text{espesor de la plancha de acero} \\ = (1/8)\text{Plg.} = 0.003175 \text{ m.}$$

$$K_1 = K_3 = \text{conductividad térmica de la fibra} \\ = 0.15 \text{ BTU/hr-pie}^2 \times ^\circ\text{F/pie} \\ = 0.2596053998 \text{ (W/m } ^\circ\text{C)}$$

$$K_2 = \text{conductividad térmica del acero} \\ = 43 \text{ (W/m } ^\circ\text{C)}$$

Además los factores de conversión serán:

$$\frac{W}{m \text{ } ^\circ\text{C}} = 0.5778 \frac{\text{BTU}}{\text{hr-pie}^2 \text{ (F/pie)}} \dots\dots\dots \text{factor de la conductividad.}$$

$$\frac{W}{m \text{ } ^\circ\text{C}} = 0.1761 \frac{\text{BTU}}{\text{hrxpie}^2 \text{ x } ^\circ\text{F}} \dots\dots\dots \text{factor del coeficiente convectivo.}$$

Llevando a otras unidades:

$$h \text{ m} = 1.078932425 \left[(9/5) (T4-25) \right]^{1/3} \text{ (W /m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)}.$$

Simplificando :

$$h \text{ m} = 1.312456989 \left[(T4-25) \right]^{1/3} \text{ (W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C)}.$$

donde T4 = Temperatura de pared en $^\circ\text{C}$.

Reemplazando en la ecuación (53) tendremos la temperatura T4 = temperatura de pared, con la cual ya podremos calcular el calor perdido por las paredes.

$$Q \text{ Perdido por las Paredes} = \frac{(T_{\text{solución}} - 25)}{\left[\frac{0.003}{0.259} + \frac{0.003}{43} + \frac{0.003}{0.259} + \frac{1}{1.312456989 [(T4-25)]^{1/3}} \right]} \dots\dots\dots (55)$$

$$= 1.312456989 \left[(T4-25) \right]^{1/3} \times (T4-25)$$

Como: T_{solución} = T1 en $^\circ\text{C}$

Simplificando :

$$(T1-25) = \left[0.0321998685(T4-25)^{\frac{1}{3}} + 1 \right] \times (T4-25) \dots (56)$$

Con la ecuación (56.) tendremos los valores de T4 para los diferentes valores de temperatura de la solución (T1). La Tabla No. 29 nos dará los valores de T4.

5.1 Cálculo del coeficiente convectivo del aire

Para Placas Verticales.

$$10^3 > L^3 (\Delta T)_s > 10^{-2}$$

$$h_m = 0.28 \left[\frac{(\Delta T)_s}{L} \right]^{0.25}$$

$$L^3 (\Delta T)_s > 10^3$$

$$h_m = 0.19 \left[(\Delta T)_s \right]^{1/3}$$

donde:

L = Longitud de la superficie de transmisión de calor, longitud calentada en pies (longitud vertical).

$(\Delta T)_s$ = Diferencia de temperatura entre la superficie y el medio circundante °F.

h_m = Valor medio del coeficiente convectivo para toda la superficie basada en $(\Delta T)_m$; en $\frac{\text{BTU}}{\text{hr-pie}^2 \cdot ^\circ\text{F}}$

Como sabemos que:

$$L = 1.6 \text{ m} = 5.249 \text{ pies}$$

$$L^3 = 144.62 \text{ pies}^3$$

$$(\Delta T)_s = (T_4 - T_{amb.})$$

Como : $T_4, T_{amb.}$ en °F, lo convertiremos en °C.

$$\frac{^\circ\text{C}}{5} = \frac{^\circ\text{F} - 32}{9} \longrightarrow \text{F} = \frac{9}{5} ^\circ\text{C} + 32$$

$$(\Delta T)_s = \frac{9}{5} (T_4 - T_{amb.}) \dots T_4 \text{ y } T_{amb.} \text{ en } ^\circ\text{C}.$$

$$144.62 \times (9/5) (65 - 25) > 10^3$$

$$10,412.64 > 10^3$$

O sea:

$$h_m = 0.19 \left[\frac{9}{5} (T_4 - 25) \right]^{1/3} \frac{\text{BTU}}{\text{hr} \times \text{pie}^2 \times ^\circ\text{F}}$$

Después del cálculo de T_4 , temperatura de la pared, podremos calcular el coeficiente convectivo del aire para los diferentes valores de T_4 ; de la misma forma tendremos el calor perdido por las paredes, ya que:

$$h_{\text{aire}} = 1.31245698 \left[(T_4 - 25) \right]^{1/3} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \times ^\circ\text{C}}$$

$$Q_{\text{Perdido por las paredes}} = h_{\text{aire}} \times (T_4 - 25) \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \dots \dots \dots (57)$$

Además: el área de pérdida de calor, por las paredes verticales será :

$$A = 1.6 \text{ m} \times 1.6 \text{ m} = 2.56 \text{ m}^2$$

como tenemos 4 caras verticales el área total será:

$$A_t = 4 \times 2.56 \text{ m}^2$$

$$A_t = 10.24 \text{ m}^2$$

=====

La Tabla No. 30 nos dará los valores del coeficiente convectivo del aire, el calor perdido por las paredes en función del calentamiento de la solución.

5.2 Cálculo de las Temperaturas de Pared T2, T3

Sabemos por la ecuación (58) que:

$$Q \text{ Perdido por las Paredes} = \frac{T_1 - T_2}{\left(\frac{e_1}{K_1}\right)} = \frac{T_2 - T_3}{\left(\frac{e_2}{K_2}\right)} = \frac{T_3 - T_4}{\left(\frac{e_3}{K_3}\right)} \dots (58)$$

Como:

$$e_1 = e_2 = e_3 = 0.003175 \text{ m.}$$

$$K_1 = K_3 = 0.2596053998 \text{ (W/m } ^\circ\text{C)}$$

$$K_2 = 43 \text{ (W/m } ^\circ\text{C)}$$

Despejando tendremos :

$$T_2 = T_1 - \left(\frac{e_1}{K_1}\right) \times Q \text{ Perdido por las paredes.}$$

$$T_3 = T_2 - \left(\frac{e_2}{K_2}\right) \times Q \text{ Perdido por las paredes.}$$

Reemplazando los valores tendremos las temperaturas T2 y T3 las cuales las mostraremos en la Tabla No.31

3.3 Cálculo del coeficiente convectivo del aire

Para Placas Horizontales

$$10^4 > L^3 (\Delta T)_s > 0.1$$

$$h_m = 0.12 \left[\frac{(\Delta T)_s}{L} \right]^{0.25}$$

Como:

$$L = 1.6 \text{ m} = 5.249 \text{ pies}$$

$$L^3 = 144.62 \text{ pies}^3$$

$$(\Delta T)_s = \frac{9}{5} \times (T_4 - 25) \dots\dots\dots T_4 \text{ en } ^\circ\text{C}.$$

Reemplazando:

$$10^4 > 144.62 \text{ pies}^3 \times \left[\frac{9}{5} \cdot (62 - 25) \right]^\circ\text{F} > 0.1$$

$$10^4 > 9,631.692 > 0.1$$

Entonces:

$$h_m = 0.12 \times \left[\frac{9}{5} \times \frac{(T_4 - 25)}{5.249} \right]^{0.25} \frac{\text{BTU}}{\text{hr pie}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

Llevando a otras unidades:

$$h_m = 0.6814310051 \left[\frac{9}{5} \times \frac{(T_4 - 25)}{5.249} \right]^{0.25} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Simplificando:

$$h_m = 0.5214598474 \left[(T_4 - 25) \right]^{0.25} \frac{\text{W}}{\text{m} \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Donde T_4 = Temperatura de pared en $^\circ\text{C}$.

Reemplazando en la Ecuación (53) tendremos los calores perdidos por la pared horizontal del tanque de decapado.

$$Q_{\text{Perdido por la pared}} = h_{\text{aire}} \times (T_4 - 25) \cdot \frac{W}{m^2} \dots \dots \dots (59)$$

Además el área de pérdida de calor, por las paredes horizontales será:

$$A = 1.6 \text{ m} \times 1.6 \text{ m} = 2.56 \text{ m}^2$$

Solamente considero la parte inferior del tanque.

La Tabla No. 32 nos dará los valores del coeficiente convectivo del aire parte horizontal y el calor perdido por la pared horizontal en función del calentamiento de la solución.

6. Cálculo de la Resistencia Térmica de Calefacción

Para poder seleccionar la resistencia térmica de calefacción, tendremos que realizar el balance térmico de los calores que intervienen en el proceso de calentamiento.

En el proceso de calentamiento tendremos:

$$\begin{aligned}
 Q \text{ Resistencia} &= Q \text{ Absorbido} + Q \text{ Absorbido} + \\
 \text{térmica de} & \text{ por la} + \text{ por las} + \\
 \text{calefacción} & \text{ solución} \text{ paredes} \\
 & + Q \text{ Perdido por} \dots\dots\dots(60) \\
 & \text{ las paredes.}
 \end{aligned}$$

Como tenemos estos valores en la Tabla No.34 para las diferentes temperaturas de la solución, veremos que resistencia térmica escogemos; tanteando para $T_{sol.} = 65^{\circ}\text{C}$

$$Q \text{ Resistencia} = \frac{589799.1192 \text{ KJ}}{t} + \frac{12854.3696 \text{ KJ}}{t} + 1.7253974 \text{ KW} \dots(61)$$

térmica de calefacción

Para seleccionar el tiempo "t" tendremos que ver si necesitamos calentar rápidamente la solución o escoger el tiempo recomendado para estos casos de 4 a 5 hrs. de calentamiento.

* Escogiendo el tiempo de calentamiento $t = 5$ hr.

$$Q \text{ Resistencia } = \frac{580799.1192 \text{ KJ}}{\left[\frac{5 \text{ hr} \times (3600 \text{ seg})}{1 \text{ hr}} \right]} + \frac{12854.3696 \text{ KJ}}{\left[\frac{5 \text{ hr} \times (3600 \text{ seg})}{1 \text{ hr}} \right]} + 1.7253974 \text{ KW}$$

térmica de calefacción

$$Q \text{ Resistencia} = 32.266617 \text{ KW} + 0.71413164 \text{ KW} + 1.72539 \text{ KW}$$

térmica de calefacción

$$Q \text{ Resistencia} = 34.70614676 \text{ KW.}$$

térmica de calefacción.

* Escogiendo el tiempo de calentamiento $t = 4$ hr.

$$Q \text{ Resistencia} = \frac{580799.1192 \text{ KJ}}{\left[\frac{4 \text{ hr} \times (3600 \text{ seg})}{1 \text{ hr}} \right]} + \frac{12854.3696 \text{ KJ}}{\left[\frac{4 \text{ hr} \times (3600 \text{ seg})}{1 \text{ hr}} \right]} + 1.7253974 \text{ KW}$$

térmica de calefacción

$$Q \text{ Resistencia} = 40.333272 \text{ KW} + 0.89266455 \text{ KW} + 1.72539$$

térmica de calefacción

$$Q \text{ Resistencia} = 42.95133413 \text{ KW}$$

térmica de calefacción

Entonces escogeremos una resistencia térmica de

Calefacción de:

40 KW
=====

Con la cual trabajaremos y estaremos en el rango recomendado.

6.1 Optimización:

Elaboraremos un cuadro en el cual seleccionaremos de acuerdo a nuestro criterio la resistencia óptima.

TABLA NO. 35

Tiempo de calentamiento t (hr)	Q Resistencia térmica de calefacción (KW)	Q Resistencia térmica calefacción (KW - hr)	Q Pérdidas por las paredes KW - hr
1	164.9037469	164.9037469	1.72253974
2	82.45187344	164.9037469	3.44507948
3	54.96791564	164.9037469	5.16761922
4	41.22593672	164.9037469	6.89015896
5	32.98074939	164.9037469	8.6126987
6	27.48395781	164.9037469	10.33523844

La Tabla anterior está basada en el balance de energía necesaria para calentar la solución a 65°C.

$$Q \text{ Resistencia } = \left[\frac{580799.1192 \text{ KJ} + 12854.3696 \text{ KJ}}{t} \right] + 1.72253974 \text{ KW}$$

térmica de calefacción.

De los valores escogemos el punto medio, entonces:

$$Q \text{ Resistencia } = 40 \text{ KW}$$

térmica de calefacción.

4.2.2.2 Análisis de los Reactivos Utilizar

Para el dekapado químico se utiliza generalmente una solución de ácido sulfúrico al 20% en agua, a temperaturas cercanas a los 60 °C, y por un tiempo de inmersión entre 15 y 25 minutos. En el caso del baño de pasivado las temperaturas son las mismas que en el baño anterior.

Inicialmente la reacción química que se lleva a cabo entre el óxido de cobre y el ácido sulfúrico es muy rápida, pero medida que se continúa utilizando dicho baño para decapar más y más kilos de cobre la solución sufre un decaimiento en su capacidad de ataque a la superficie oxidada del alambón de cobre, hasta que el tiempo de reacción resulta demasiado largo puesto que la solución se satura habiendo la necesidad entonces de renovar dicha solución.

A continuación podemos apreciar un cuadro que describe como aumenta el contenido de cobre (Cu) y el de sulfato de cobre (Cu SO_4) en evidente disminución porcentual del ácido sulfúrico (H_2SO_4) de la solución. Al final de la toma de muestras se procedió a renovar la solución debido a que se encontraba ya saturada.

ANALISIS CUANTITATIVO DEL CONTENIDO DE COBRE
Y SULFATO DE COBRE EN LA SOLUCION ACIDA

TABLA. N°36

Muestra No.	Fecha	Peso de Decapado (Kg)	Análisis de Muestras	
			% Cu	% SO ₄ CU
0	5/3/88	0	0	0
1	9/3/88	27,060	1.02	2.72
2	12/3/88	27,500	2.18	5.82
3	16/3/88	27,500	3.92	10.45
4	23/3/88	27,500	5.10	13.60
5	28/3/88	27,500	5.78	15.42
6	09/4/88	27,500	5.99	15.92

Para la operación del pasivado se cuenta con el baño de crémor tártaro en solución al 5% en agua. Esta solución va perdiendo su capacidad pasivadora, a medida que los rollos de alambón acarreán consigo pequeñas trazas de ácido o de sulfato de cobre. Hemos analizado muestras tomadas paralelamente a las de la solución ácida mencionada en el párrafo anterior coincidiendo en fecha y en cantidad de kilos de cobre procesado. A continuación se podrá apreciar una Tabla en la que se muestra, de que manera aumenta los % de impurezas en la solución de pasivado.

ANÁLISIS CUANTITATIVO DEL CONTENIDO DE COBRE
EN LA SOLUCION PASIVADORA

TABLA No 37

Muestra No.	Fecha	Peso de Cobre Pasivado (Kg)	Análisis de Muestras	
			% Cu	% SO Cu
0	5/3/88	0	0	0
1	9/3/88	27,060	0.021	0.056
2	12/3/88	27,500	0.043	0.11
3	16/3/88	27,500	0.045	0.12
4	23/3/88	27,500	0.050	0.13
5	28/3/88	27,500	0.060	0.16
6	09/4/88	27,500	0.066	0.18

La reacción química que se lleva a cabo durante la operación de decapado es la siguiente:



El sulfato cúprico formado, se encuentra pentahidratado, es conocido con el nombre de Vitriolo o caparrosa azul, es un cristal muy soluble en agua, que calentado a 240 °C pierde agua de cristalización y se vuelve blanco pulverulento. Al hidratarse adquiere nuevamente el color azul.

4.2.2.3 Balance Térmico de la Poza de Decapado

1. Inicio de la Operación (Ver figura No.36)

1.1 Calentamiento de la Solución: Tramo: Q-1

$$Q_{\text{Calentamiento Tramo Q - 1}} = Q_{\text{Absorbido por la Solución}} + Q_{\text{Absorbido por las paredes}} + Q_{\text{Perdido por las paredes}} \dots (62)$$

Este cálculo ya se realizó anteriormente y los valores lo tenemos en la Tabla No.34

Nota : El calentamiento de la solución se realiza sólo una vez por mes.

1.2 Calor necesario para la operación de la Cuba Tramo 2-3

$$Q_{\text{Cedido por la solución}} = Q_{\text{Absorbido por el cobre}} + Q_{\text{Absorbido por el gancho}} = Q_{\text{Cedido por la resistencia}} \dots (63)$$

Como la cuba es lo suficiente grande: 1.6m x 1.6m x 1.6m, la entrega de calor al cobre y gancho será muy cercana al rollo de cobre, no percibiendo esto en las paredes por ser el intercambio en un tiempo corto.

Entonces:

$$M_{\text{sol.}} \times C_{e \text{ sol.}} \times (65 - T_{\text{sol.}}) = M_{\text{cobre}} \times C_{e \text{ cobre}} \times (T - 25) +$$

$$+ M_{\text{fibra}} \times C_{e \text{ fibra}} \times (T - 25) + M_{\text{plancha de acero}} \times C_{e \text{ acero}} \times (T - 25) \dots (\alpha)$$

Sabemos que :

$$M_{\text{sol.}} = 4,335.616 \text{ Kg.}$$

$$C_{e \text{ sol.}} = 3.349 \text{ (KJ/Kg-}^\circ\text{C)}$$

$$M_{\text{cobre}} = 770 \text{ Kg.}$$

$$C_{e \text{ cobre}} = \left[\frac{T + 642.0287945}{1035.530314} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{Kg-}^\circ\text{C}}$$

$$M_{\text{plancha de acero}} = 79 \text{ Kg.}$$

$$C_{e \text{ acero}} = \left[\frac{T + 2052.504239}{4452.286853} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{Kg-}^\circ\text{C}}$$

$$M_{\text{fibra}} = 3.78 \text{ Kg}$$

$$C_{e \text{ fibra}} = 1.256281407 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg-}^\circ\text{C}}$$

Reemplazando en (α) tendremos:

$$4,335.616 \text{ Kg} \times 3.349 \text{ (KJ/Kg-}^\circ\text{C)} \times (65 - T_x)^\circ\text{C} =$$

$$= 770 \text{ Kg} \times \left[\frac{T + 642.0287945}{1035.530314} \right] \text{ (KJ/Kg-}^\circ\text{C)} \times (T - 25)^\circ\text{C} +$$

$$+ 3.78 \text{ Kg} \times 1.256281407 \text{ (KJ/Kg-}^\circ\text{C)} \times (T - 25)^\circ\text{C} +$$

$$+ 79 \text{ Kg} \times \left[\frac{T + 2052.504239}{4452.286853} \right] \text{ (KJ/Kg-}^\circ\text{C)} \times (T - 25)^\circ\text{C}$$

Simplificando:

$$T_x = 65 - \frac{[518.5677437 + 0.761324047(T)] \cdot (T-25)}{14519.97798} \quad \dots (\beta)$$

Con la ecuación (β) elaboraremos la Tabla No. 38 la cual nos dará las temperaturas de la solución y la del cobre para un mismo tiempo de calentamiento.

Considero que :

$$T_{\text{cobre}} = T_{\text{plancha}} = T_{\text{fibra}} = T_{\text{de acero}}$$

1.2.1 Cálculo del Tiempo de Calentamiento del Cobre, para Diferentes Temperaturas. Tramo 2-3.

Para este cálculo utilizaremos la siguiente ecuación:

$$\frac{TL - Ti}{TL - T} = e^{-\frac{h \cdot A \cdot t}{W \cdot Ce}} \quad (64)$$

donde:

- TL = Temperatura final de la superficie del Cobre en (°C)
- Ti = Temperatura inicial del Cobre en (°C)
- T = Temperatura del Cobre al cabo del tiempo "t"
- W = Peso de la carga (Kg)
- Ce = Calor específico del Cobre en (KJ/Kg-°C)
- A = Area expuesta de la carga en (m²)
- h = Coeficiente convectivo de las solución. en (KW/m² -°C)
- t = Tiempo de calentamiento en (seg)

Además sabemos que:

El rollo de Alambrón de Cobre:

$$L = 900 \text{ pies} = 274.32 \text{ m.}$$

$$\text{Peso: } W = 110 \text{ Kg cada rollo.}$$

$$D = \frac{5}{16} \text{ plg.} = 0.0079375 \text{ m.}$$

Entonces:

$$A_1 = \pi \cdot D \cdot L = \pi \cdot (0.0079375) \text{ m} \times 274.32 \text{ m} = 6.84 \text{ m}^2$$

$$A = 7 \times 6.84 \text{ m}^2$$

$$A = 47.88 \text{ m}^2$$

$$W = 110 \text{ Kg} \times 7$$

$$W = 770 \text{ Kg.}$$

$$h = 1.2193 \text{ (KW/m}^2\text{-°C)}$$

sol.

$$C_{e \text{ cobre}} = \left[\frac{T + 642.0287945}{1035.530314} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$T_L = 65^\circ\text{C}$$

$$T_i = 25^\circ\text{C}$$

$$T = ?$$

Reemplazando en la Ecuación (64)

$$\frac{T_L - T_i}{T_L - T} = e^{-\frac{h \cdot A \cdot t}{W \cdot C_e}}$$

Tomando logaritmos:

$$\ln \left(\frac{T_L - T_i}{T_L - T} \right) = \frac{h \cdot A \cdot t}{W \cdot C_e}$$

$$t = \left(\frac{W \cdot C_e}{h \cdot A} \right) \cdot \ln \left(\frac{T_L - T_i}{T_L - T} \right)$$

Reemplazando:

$$t = \frac{770 \text{ Kg} \times \left[\frac{T + 642.0287945}{1035.530314} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}}{1.2193 \text{ (KW/m}^2 \cdot ^\circ\text{C)} \times 47.88 \text{ m}^2} \cdot \ln \left(\frac{65-25}{65-T} \right)$$

$$t = 0.0127368839 (T + 642.0287945) \times \ln (40/(65-T))$$

La Tabla No. 39 nos dará los tiempos de calentamiento del cobre, para diferentes temperaturas:
Tramo (2-3)

1.3 Calor Necesario para la Operación de la Cuba

Tramo: 3-4.

$$Q_{\text{Cedido por la resistencia}} = Q_{\text{Absorbido por la solución}} + Q_{\text{Absorbido por el cobre}} + Q_{\text{Absorbido por el gancho}} \dots (65)$$

$$Q_{\text{Cedido por la resistencia}} = M_{\text{sol.}} \times C_e \times (T - 63.497) + M_{\text{cob.}} \times C_e \times (T - 63.497)$$

$$+ M_{\text{fib.}} \times C_e \times (T - 63.497) + M_{\text{a.}} \times C_e \times (T - 63.497)$$

Reemplazando datos:

$$Q_{\text{Cedido por la Resistencia}} = 4335.616 \text{ Kg} \times 3.349 \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C)} \times (T - 63.497)^\circ\text{C} +$$

$$+ 770 \text{ Kg} \times (T + 642.0287945) \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C)} \times (T - 63.497)^\circ\text{C} + 1035.530314$$

$$+ 3.78 \text{ Kg} \times 1.256281407 \text{ (KJ/Kg}^\circ\text{C)} \times (T - 63.497)^\circ\text{C} +$$

$$+ 79 \text{ Kg} \times \left[\frac{T + 2052.504239}{4452.286853} \right] \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}^\circ\text{C}} \times (T - 63.497)^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{Cedido por la Resistencia}} = 0.761324047(T)^2 + 14990.19383T - 954.901.8965 \dots (7)$$

Reemplazando la temperatura de calentamiento en el

tramo 3-4 de 63.497°C a 65 °C tendremos el calor cedido

por la resistencia, la cual la veremos en la Tabla No 40

Nota : La temperatura de la Solución será igual a la temperatura del cobre y también del gancho.

$$T_{\text{sol.}} = T_{\text{cobre}} = T_{\text{gancho}} \quad (\text{sólo en el tramo 3 - 4})$$

4.2.3. Selección de la Máquina Trefiladora y el Proceso de Trefilado

4.2.3.1. Cálculos del Trefilado

- La fuerza total del trefilado está compuesta por:

- . Fuerza Interna de Deformación
- . Fuerza Redundante de Deformación
- . Fuerza necesaria para vencer las fuerzas de fricción

La figura No. **37** ilustra las características de la suma resultante.

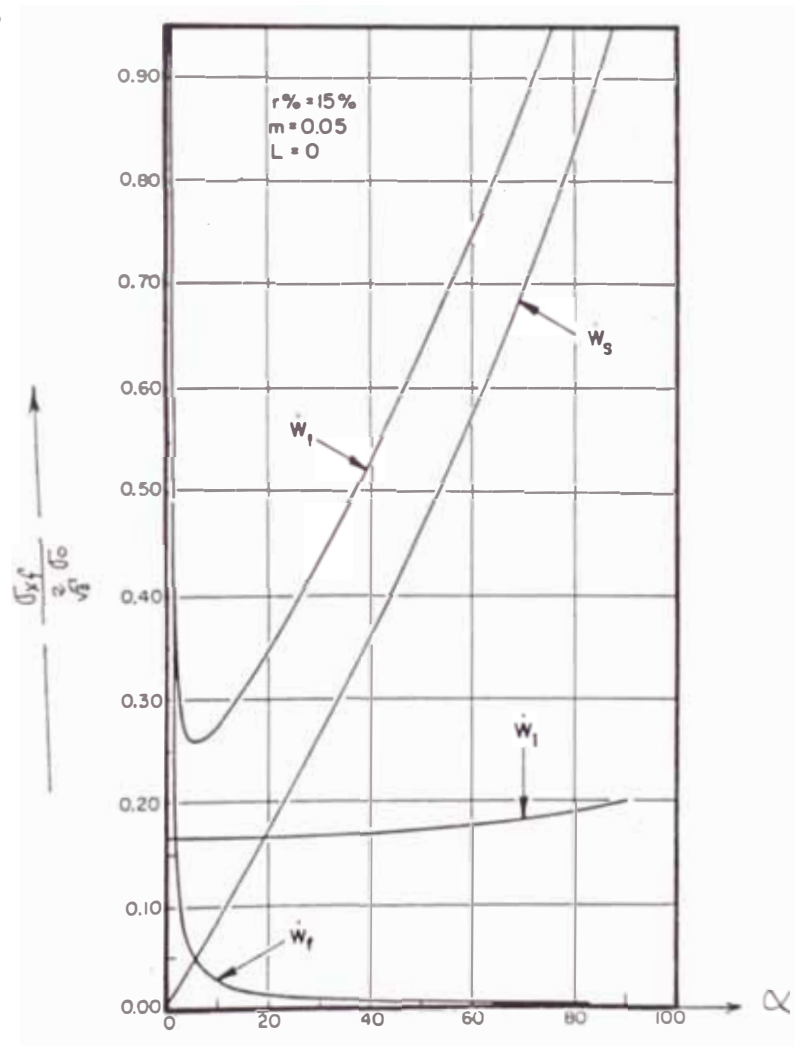


Figura No. **37**

Con un ángulo de cono muy pequeño la fricción es predominante y hace a la fuerza excesiva.

Mientras que el ángulo del cono crece la fricción decae drásticamente tal que, a pesar de que el poder redundante de deformación crece la fuerza total decrece.

Se alcanza un valor óptimo para la fuerza total de trefilado, cuando al crecer el ángulo del cono, causa que el trabajo redundante se iguale al trabajo de fricción y desde entonces el trabajo redundante es factor predominante y no la fricción, luego a mayor incremento del ángulo, mayor incremento de la fuerza total.

Cada una de los tres componentes de la fuerza total de trefilado debe ser determinada independientemente. La fuerza interna de deformación está compuesta por la parte ideal y de una parte del poder redundante.

La parte ideal es la fuerza necesaria para reducir el alambre de un diámetro a otro, en una situación ideal. La porción ideal de la deformación interna es

independiente del ángulo del cono, pero el gráfico ideal de deformación jamás puede ser alcanzado, porque este trabajo se consigue través de datos, y cuando se utilizan datos uno obtiene distorsiones.

Esta fuerza redundante de distorsión debe ser computada independientemente de la fuerza ideal, porque con ángulos de cono más grandes, uno tiene valores mayores de fuerza redundante que con ángulos de cono pequeños.

Uno debe ser capaz de actuar similarmente con respecto la fricción, una solución en la que se asume fricción cero puede ser mala, para ángulos muy pequeños pero puede ser muy buena solución para ángulos mayores.

Si utilizamos el sector derecho del gráfico N°37 encontraremos claramente la independencia de los tres componentes de la fuerza total.

Analizando las Fuerzas de trefilado podemos apreciar, que el esfuerzo relativo de trefilado es:

$$\frac{\sigma_{xf}}{\sigma_0} = \frac{\sigma_{xb}}{\sigma_0} + 2.f(\alpha) \ln\left(\frac{R_0}{R_f}\right) + \frac{2}{\sqrt{3}} \left[\frac{\alpha}{\sin^2 \alpha} - \cotg \alpha \right. \\ \left. + m(\cotg \alpha) \cdot \ln\left(\frac{R_0}{R_f}\right) + m \frac{L}{R_f} \right] + \frac{1}{2} \frac{\rho}{g \sigma_0} v_f^2 \dots (66)$$

Donde:

σ_{xf} = Esfuerzo de trefilado.

σ_0 = Esfuerzo de fluencia efectiva.

σ_{xb} = Tensión hacia atrás.

Para un valor de α muy pequeño $f(\alpha)$ tiende a la unidad.

La función $f(\alpha)$ está tabulada para intervalos de un grado (1°), así como la expresión:

$$\left[\frac{\alpha}{\sin^2 \alpha} - \cotg \alpha \right]$$

Uno debe notar que los términos de la ecuación (66) identificados en la figura No.37 son:

$$W_i = 2 \cdot f(\alpha) \cdot \ln\left(\frac{R_o}{R_f}\right) \dots\dots\dots \text{Fuerza Interna de de formación.}$$

$$W_s = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \left[\frac{\alpha}{\text{Sen}^2 \alpha} - \text{cotg} \alpha \right] \dots\dots\dots \text{Fuerza Redundante de formación.}$$

$$W_f = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot m \left[(\text{cotg} \alpha) \cdot \ln\left(\frac{R_o}{R_f}\right) \right] \text{ Fuerza de Fricción}$$

Para la figura No.37 se asumió que no habrá porción cilíndrica en el dado por lo tanto $L = 0$ y que las fuerzas inerciales eran despreciables.

Sin embargo, cuando las fuerzas inerciales en la porción cilíndrica del dado son consideradas, la expresión W_f es modificada agregando el término $m \cdot \frac{L}{R_f}$

Aproximando $f(\alpha) = 1$ se obtiene la siguiente expresión:

$$\frac{\sigma_{xf}}{\sigma_o} = \frac{\sigma_{xb}}{\sigma_o} + 2 \cdot \ln\left(\frac{R_o}{R_f}\right) + \frac{2}{\sqrt{3}} m \cdot \text{cotg} \alpha \cdot \ln\left(\frac{R_o}{R_f}\right) + \frac{4}{3\sqrt{3}} \cdot \text{tg} \alpha \dots (67)$$

FUERZAS INERCIALES

Mientras que a bajas velocidades y aceleraciones las fuerzas de inercia son despreciables a altas velocidades y aceleraciones, las fuerzas de inercia son predominantes ya que en el término inercial la velocidad, está llevada al cuadrado.

$$W_k = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho}{g \cdot \sigma_0} v_f^2 \dots \dots \dots (68)$$

Si la velocidad es cercana a cero la fuerza de inercia decrece sustancialmente.

Mientras más alto el peso específico del material y más bajo el esfuerzo del mismo, más pronunciado será el efecto de inercia.

Máxima reducción posible:

Cuando se considera el proceso de trefilado, esfuerzo de trefilado no puede exceder a la resistencia de fluencia del material (σ_0). Por lo tanto, se debe limitar este, tomando un esfuerzo relativo de la ecuación No.66 como sigue:

$$\frac{\sigma_{kf}}{\sigma_0} : \leq 1$$

Cuando el límite se logra al lado izquierdo de la ecuación No.66, y la ecuación se reordena para resolver una reducción determinada se obtiene la siguiente expresión para la máxima reducción posible:

$$\frac{R_o}{R_f} \Bigg|_{\max} = \exp \left\{ \frac{1 - \frac{\sigma_{xb}}{\sigma_o} - \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \left(\frac{\alpha}{\text{Sen}^2 \alpha} - \cotg \alpha + m \cdot \frac{L}{R_f} \right) - \frac{1}{2} \frac{\rho}{g \sigma_o} \cdot v_f^2}{2 \left[f(\alpha) + \left(\frac{m}{\sqrt{3}} \right) \cotg \alpha \right]} \right\} \dots 69$$

Las características de la ecuación (69), cuando las fuerzas de inercia son despreciables, está representada por la figura No.38

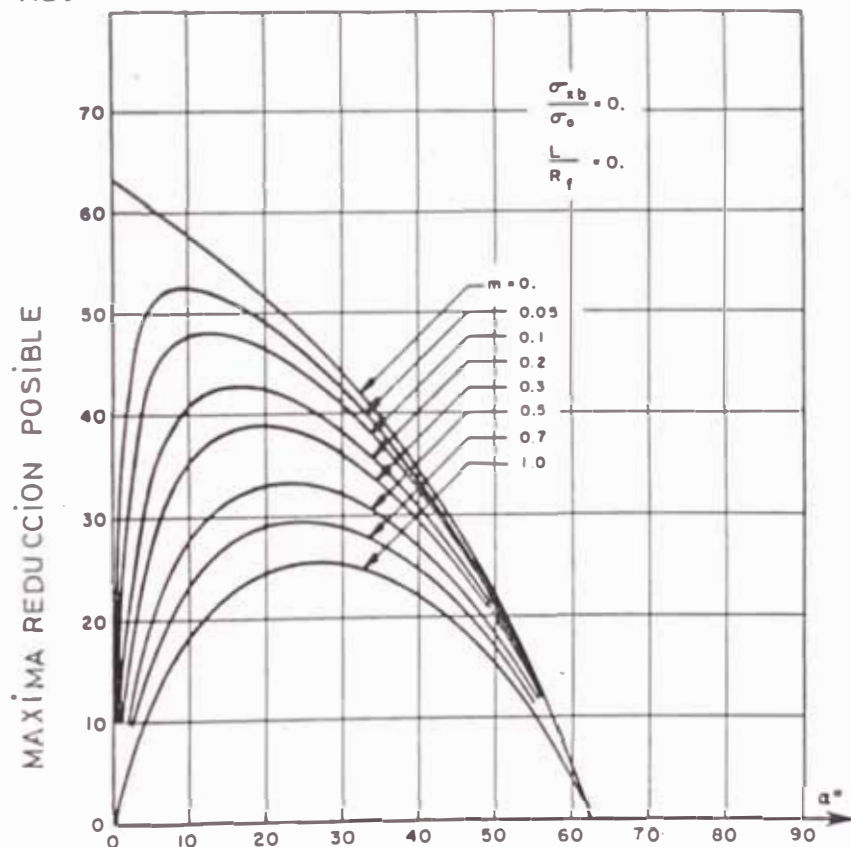


Figura No.38

Donde el ángulo se encuentra tabulado en el eje de las abscisas y el ratio de reducción (R_o/R_f) se encuentra tabulado en el eje de las ordenadas.

Notar, que cuando el ángulo del semicono es cero o cercano a 63° ninguna reducción es posible, pese a cualquier valor de fricción la típica curva en la figura

No.38, es decir, $\frac{R_o}{R_f} = 1$, cuando $\alpha = 0$.

Luego creciendo cuando el ángulo crece, la máxima reducción alcanza su mayor valor para un ángulo y luego decae hasta llegar a $\alpha = 63^\circ$

La curva más alta corresponde a valores de fricción igual a cero y las curvas más bajas a valores mayores de fricción. Cuando la fricción es cero el pico ocurre en $\alpha = 0$, y el valor de la reducción máxima es:

$$\left. \frac{R_o}{R_f} \right|_{\max} = \frac{R_o}{R_f} = e^{1/2} \approx 1.65$$

ideal

Cuando no hay aplicación de tensión hacia atrás y la fricción es cero, el valor mayor de la reducción es 1.65, mientras que para valores mayores de fricción, el pico es menor y esto ocurre con los ángulos de mayor valor, las fuerzas inerciales causan reducción mayor incluso en la máxima reducción posible.

ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA EN EL TREFILADO

Existen básicamente dos componentes en la generación del calor en la operación del trefilado:

- El componente de deformación (ΔT_d).
- El componente debido a la fricción (ΔT_f).

Componente debido a la deformación

$$\Delta T_d = \frac{\phi \cdot \bar{\sigma} \cdot \ln\left(\frac{1}{1-r}\right)}{J \cdot C \cdot \rho} \dots \dots \dots (70)$$

Donde:

J = Equivalente mecánico del calor.

C = Calor específico del alambre.

ρ = Densidad

$$\phi = \frac{\Delta}{4.4} + 0.8$$

$$\Delta = \frac{\alpha}{r} \cdot [1 + \sqrt{1 - r}]^2$$

r = Reducción en área

α = Semiángulo del dado.

$\bar{\sigma}$ = Esfuerzo de fluencia medio.

Los valores de Δ a partir de un rango práctico de reducciones y valores del semiángulo " α " son:

TABLA. N°42

		% DE REDUCCION						
		5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%
S E M I	2	2.73	1.33	0.86	0.63	0.49	0.39	0.33
	4	5.46	2.66	1.72	1.26	0.97	0.79	0.65
	6	8.19	3.99	2.59	1.88	1.46	1.18	0.98
	8	10.92	5.32	3.45	2.51	1.95	1.57	1.30
A N G U L O	10	13.65	6.65	4.31	3.14	2.44	1.97	1.63
	12	16.30	7.94	5.15	3.75	2.91	2.35	1.95
	14	19.03	9.27	6.01	4.38	3.40	2.74	2.27
	16	21.76	10.59	6.87	5.01	3.89	3.14	2.60

Componente debido a la Fricción

Esta componente es descrita por una de dos formas; dependiendo del calentamiento por fricción llega al centro del alambre o no.

El calor debido a la fricción establece un gradiente de temperatura, y cuando este calor llega al centro del alambre, el gradiente se estabiliza, entonces el adicional trabajo de fricción se dedicará a uniformizar el calor.

La profundidad alcanzada por el calor (b) puede ser expresada por:

$$b = 2.5 \sqrt{\frac{LK}{VC\rho}} \dots \dots \dots (71)$$

Donde:

V = Velocidad de trefilado.

K = Conductividad térmica.

L = Longitud del dado.

C = Calor específico del alambre.

ρ = Densidad del alambre.

Si la (L/V) o el tiempo de permanencia en el canal de trefilado (longitud del dado), es suficientemente largo, "b" puede llegar a ser igual, que el radio de alambre. La longitud del canal a la cual esto ocurre se le denomina L_1 y esta puede ser escrita como:

$$L_1 = \frac{R \cdot V \cdot C \rho}{8K} \dots \dots \dots (72)$$

Entonces las dos fórmulas de trabajo de calentamiento por fricción se aplican cuando:

$$\begin{aligned} b &\leq R \\ L &> L_1 \end{aligned}$$

o matemáticamente cuando $b > R$.

Las ecuaciones específicas son:

$$\Delta T_f \quad (b \leq R) = \frac{m \mu P \cdot V \cdot a^2}{2 \cdot b \cdot K \cdot J} \dots \dots \dots (73)$$

$$\Delta T_f \quad (L > L_1) = \frac{m \cdot \mu \cdot P}{J \cdot R} \left[\frac{V \cdot a^2}{2K} + 2 \cdot \frac{(L - L_1)}{C \cdot \rho} \right] \dots \dots \dots (74)$$

Donde:

m = Porción de calor que viaja hacia adentro del alambre y opuesto al dado.

a = Distancia desde la frontera externa a la interna de la zona de calentamiento por fricción.

μ = Coeficiente de fricción.

P = Presión en el dado.

R = Radio del alambre.

J = Equivalente mecánico del calor.

K = Conductividad térmica.

L = Longitud del canal.

L_1 = Longitud equivalente al tiempo, que le toma al calor viajar al centro del alambre.

C = Calor específico del alambre.

ρ = Densidad del alambre.

- Se estima que un rango práctico para valores para m se encuentra entre (0.5 - 1), donde los valores inferiores se ven favorecidos por bajas velocidades de trefilado y efectiva refrigeración del dado.

- En el interior análisis, el incremento de calor se ha debido a un solo paso de trefilado.

- Para altas velocidades y máquinas de múltiples dados puede existir un efecto sustancial de acumulación de calor, sobre la temperatura ambiente donde:

$$\Delta T_{TOT} = \Delta T_d + \Delta T_f + \Delta T_o \dots\dots\dots(75)$$

Donde:

ΔT_o = Calor ganado o retenido de los previos pasos de trefilado.

El coeficiente de fricción " μ " varía desde:

0.01 - 0.05Jabones y grasas

0.10 - 0.15Trefilado húmedo

0.5Procesos lentos en bancos í

En casi todos los casos se asume que el coeficiente de fricción varía a lo largo del canal del dado y, que cualquier valor que se le atribuya a " μ " es un valor promedio.

Esfuerzos actuando al Trefilar un Alambre de Sección Circular:

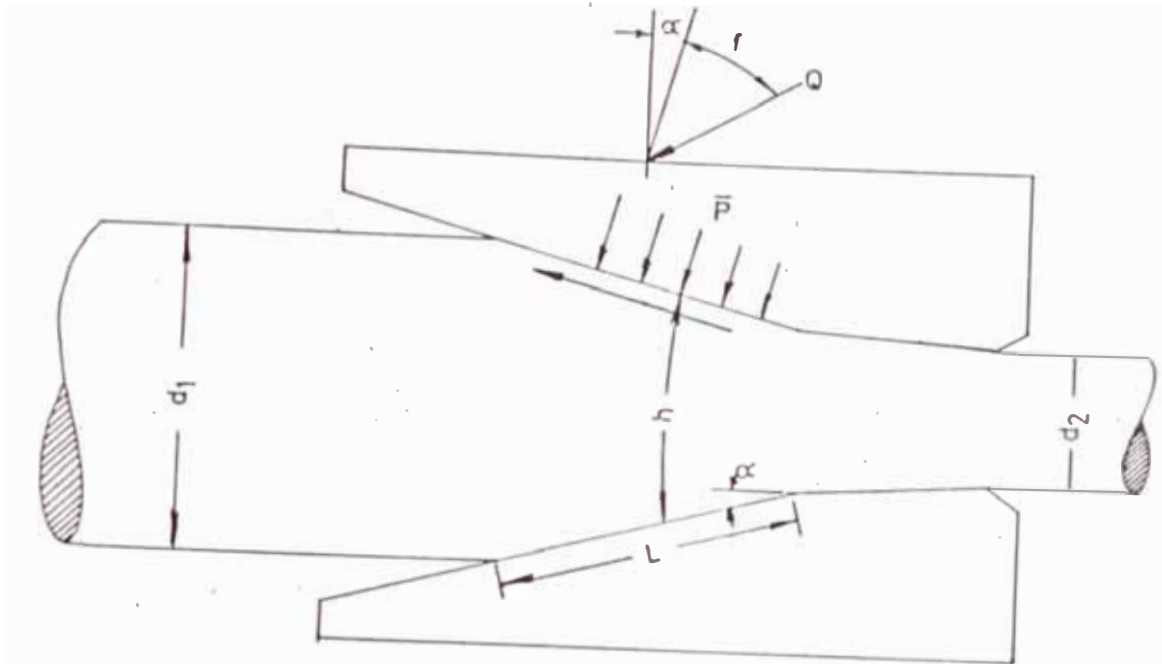


Figura No.39

$$F = \sigma_m \cdot A_2 \cdot \left(1 + \mu \cot \alpha + \frac{2}{3} \alpha \right) \cdot \ln \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \dots (76)$$

donde:

F = Fuerza de Trefilado

σ_m = Esfuerzo de fluencia media del material

α = $\frac{1}{2}$ del Angulo del dado.

μ = Coeficiente de fricción.

A_1 = Área a la entrada.

A_2 = Área a la salida.

\bar{P} = Presión media del dado.

Cálculo de la Constante $(1 + \mu \cotg \alpha + \frac{2}{3} \alpha)$

Sabemos que : $\frac{s}{180} = \frac{\theta}{\pi}$

$$\theta = \frac{s}{180} \times \pi$$

La constante :

$$(1 + \mu \cotg \alpha + \frac{2}{3} \alpha) = (1 + \mu \cotg \alpha + \frac{\alpha \cdot \pi}{270})$$

Tabla No.44

(°S)	$\mu = 0.050$	$\mu = 0.075$	$\mu = 0.1$
1	3.87613361	5.308382651	6.740631691
2	2.455085721	3.170990053	3.886896385
3	1.988963419	2.465991837	2.943020254
4	1.761575426	2.119092083	2.476608739
5	1.629680257	1.915431564	2.201182872
6	1.545531393	1.783390504	2.021249616
	1.48866602	1.692274681	1.895883341
8	1.448852713	1.626736956	1.804621199
9	1.420407331	1.578251119	1.736094907
10	1.399919374	1.54170142	1.683483465
11	1.385218513	1.513832363	1.642446213
12	1.374857846	1.492473598	1.610089351
13	1.367835662	1.476122559	1.584409456
14	1.363436444	1.463705967	1.56397349
15	1.361135466	1.454436736	1.547738006
16	1.360539176	1.447724537	1.534909898

Angulo Optimo del Dado

$$\text{Sen } 2\alpha = \sqrt{2 \mu \cdot \text{Ln} \left(\frac{A_1}{A_2} \right)} \quad \dots \dots \dots (77)$$

donde:

2α = Angulo del dado

μ = Coeficiente de fricción : 0.05 - 0.1

A_1 = Area a la entrada

A_2 = Area a la salida

Entonces la fuerza de Trefilado "F" dependerá del ángulo óptimo " 2α " para diferentes coeficientes de fricción y reducciones de áreas del alambre.

$$\text{Como : } F = \sigma_m \cdot A_2 \cdot \left(1 + \mu \cotg \alpha + \frac{\alpha \cdot \pi}{270} \right) \cdot \text{Ln} \left(\frac{A_1}{A_2} \right) \dots \dots \dots (78)$$

Cálcularemos la fuerza de Trefilado "F" para:

$\mu = 0.05$ y su ángulo óptimo. 2α

$\mu = 0.075$ y su ángulo óptimo. 2α

$\mu = 0.1$ y su ángulo óptimo. 2α

La tabla No.43 nos dará estos valores:

Factores que considerar en el Diseño de Dados para Trefilado.

Los diseños para dados de trefilado siguen siendo un tema semi empírico, teniendo en cuenta una serie de consideraciones, un diseño óptimo no siempre es producto de la deducción de principios básicos, sin embargo el análisis de nuevos diseños, procesos y problemas durante la producción será de gran contribución para la reducción de costos.

Haremos énfasis en la geometría del dado, su acabado superficial, su perfil más no en los materiales en que está fabricado.

En la Figura No.40 podemos apreciar la sección transversal de un típico dado de trefilado de sección circular donde se aprecian sus partes:

- 1.- La campana
- 2.- El ángulo de aproximación
- 3.- El ángulo de salida
- 4.- El cuello calibrado
- 5.- El portadado

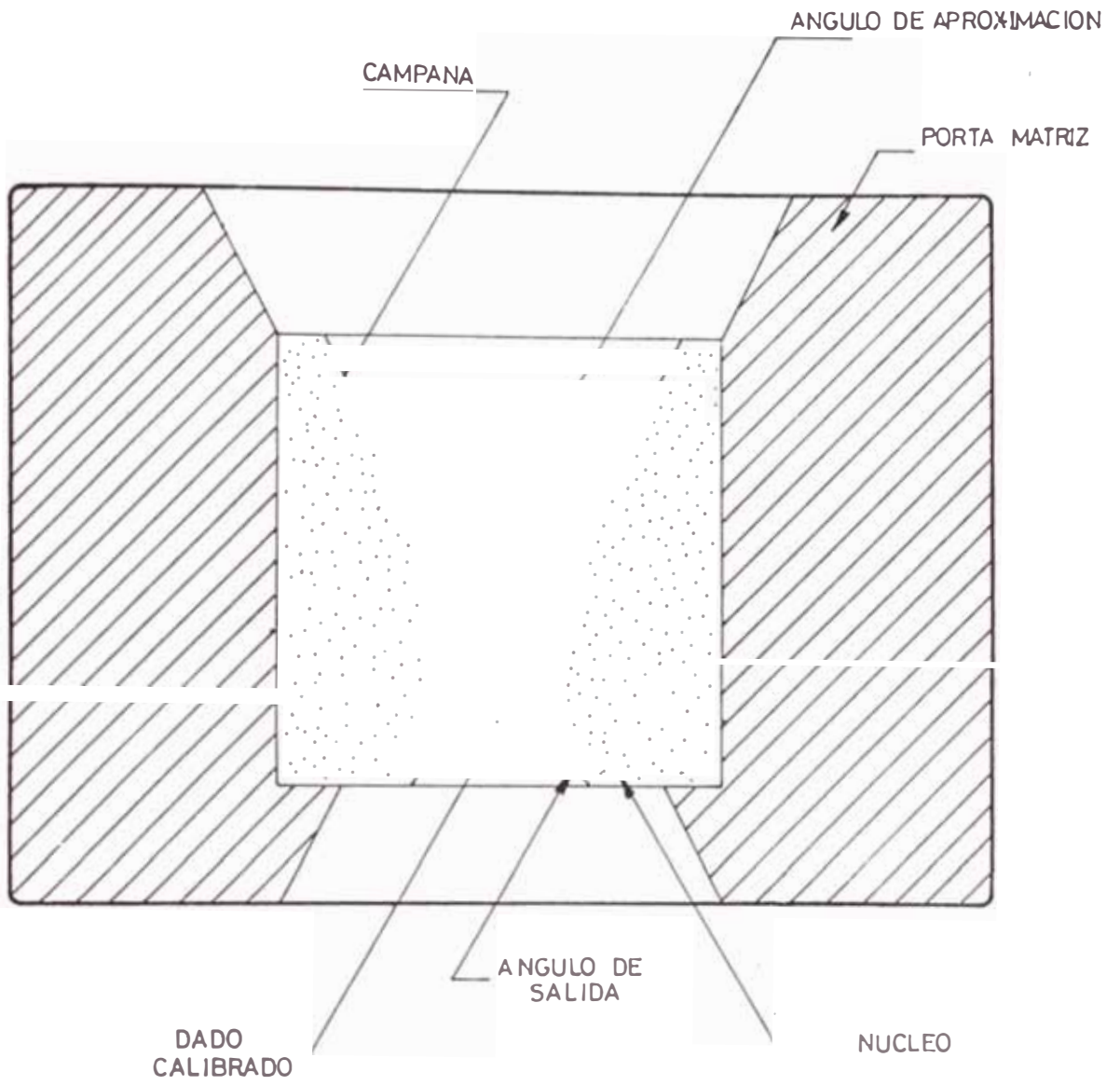


FIG. Nº 40

El Ángulo de aproximación y la reducción en el Trefilado

- El ángulo de aproximación es quizás el elemento más importante en un dado para la mayoría de aplicaciones. El efecto del ángulo en el flujo de metal no puede ser considerado independiente de la reducción de trefilado y la teoría moderna de trefilado incorpora una relación entre ambos en un parámetro llamado Δ

$$\Delta \approx \frac{\alpha}{R} (1 + \sqrt{1 - R})^2 \dots\dots\dots (79)$$

Donde:

α = Semiángulo de aproximación en radianes.

R = La fracción de reducción de área en porcentaje.

En la Tabla No. 42 podemos apreciar porcentaje de reducción v.s. semiángulo α , definiendo de esta manera los valores de Δ

Efecto_n_1_Esfuerzo_de_Trefilado

Es una práctica común citar el valor Δ , consistente con el mínimo esfuerzo de trefilado como una "situación óptima".

Para bajos valores de Δ (ángulos α pequeños y/o reducciones grandes) interviene excesiva fricción de trabajo mientras que para altos valores de Δ (ángulos grandes y/o reducciones pequeñas) existe demasiado trabajo redundante.

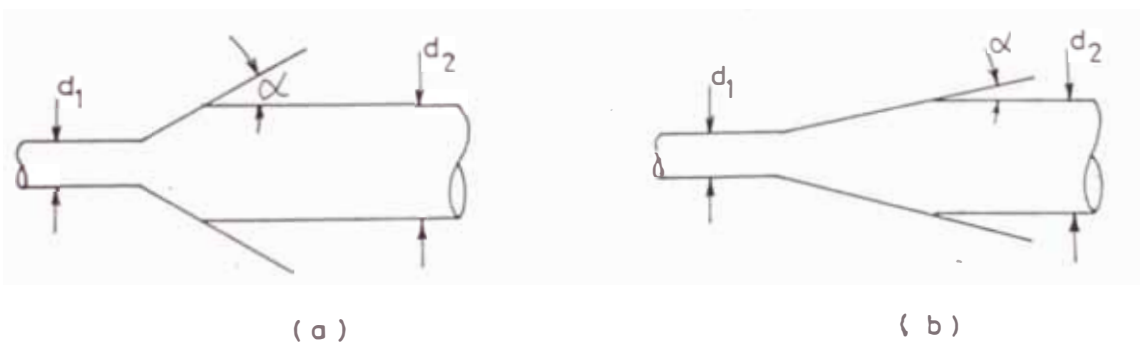


FIG. Nº 41

El efecto más conveniente se encuentra en los valores intermedios de Δ donde se requiere la mínima fuerza de trefilado.

Según SIEBEL, tendremos:

$$\Delta_{\min} = 4.9 \sqrt{\frac{\mu}{\ln\left(\frac{1}{1-R}\right)}} \dots\dots\dots (80)$$

$$\alpha_{\min} = 1.2 \sqrt{\mu \cdot \ln\left(\frac{1}{1-R}\right)} \dots\dots\dots (81)$$

donde:

μ = Coeficiente de fricción

R = Porcentaje de reducción

Estas proyecciones concuerdan razonablemente bien con los resultados experimentales, sin embargo, el minimizar el esfuerzo de trefilado no debe ser el único criterio para seleccionar el ángulo de aproximación (α) para un porcentaje de reducción dado (R)

Efectos de la Fricción y la Temperatura

La consideración práctica es que para un coeficiente de fricción constante el valor bajo de Δ en el diseño del dado está asociado al incremento de calor producido por la fricción. Este calor está concentrado

en la interfase dado-alambre, y puede tender a empobrecer la lubricación, crear calor excesivo, incluso interrumpir la lubricación ahí localizada.

Otros problemas que ocurren en este tema se deben al mal acabado superficial del alambre, o a los cambios metalúrgicos cercanos a la superficie del alambre.

Existen numerosas razones para usar los valores de Δ menores que aquellos indicados en la ecuación No. sin embargo, en esta situación se requiere mejorar las condiciones normales de lubricación.

A veces esto se logra con ángulos α pequeños promoviendo, de esta manera la lubricación Hidrodinámica, por lo tanto un reducido coeficiente de fricción.

Efectos en el Dado : Presión y Desgaste

Si es posible mantener una lubricación estable valores pequeños de Δ (ángulos α pequeños y/o grandes reducciones) deberán en principio permitir mayor duración de los dados.

El perfil mostrado en la Figura No.42 es el típico desgaste en anillo.

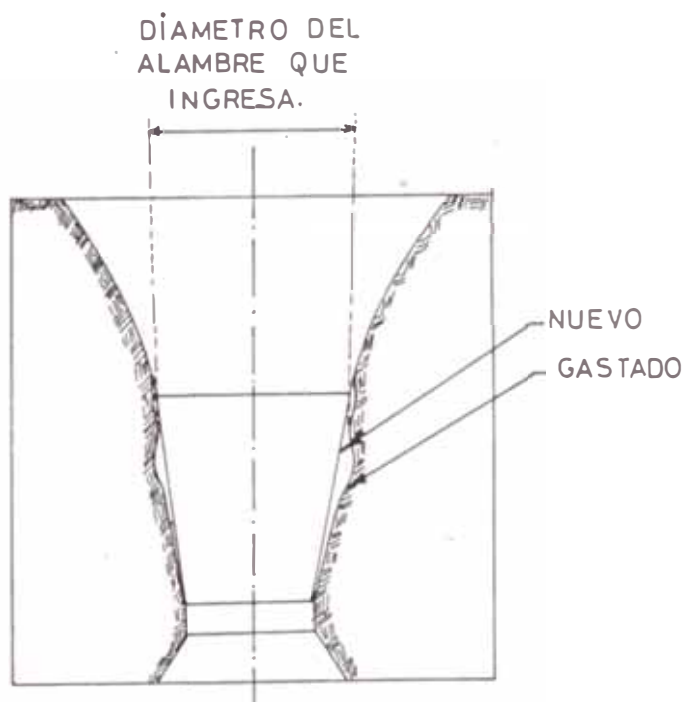


Figura No.42

- Se puede observar un desgaste concentrado, donde el contacto inicial se llevará a cabo. El desgaste generalmente es función de la presión en el dado, y la presión en el dado se incrementa conjuntamente con Δ de acuerdo con la siguiente relación:

$$\frac{\bar{P}}{\bar{\sigma}} = \frac{\Delta}{4} + 0.6 \dots\dots\dots (82)$$

Donde:

\bar{P} = Presión media en el dado.

$\bar{\sigma}$ = Esfuerzo medio de fluencia.

Es una sorpresa para muchos que las reducciones pequeñas estén asociadas a presiones medias cuyos valores son altos, debido esto a la gran concentración sobre una pequeña área.

En la práctica está claro que el desgaste del dado es mayor cuando mayor es α por lo tanto cuando mayor es Δ .

Teóricamente las menores presiones medias sólo se logran para valores de Δ aproximados a la unidad, o para valores bastante menores que los del "mínimo

esfuerzo de Trefilado".

Sin embargo si la lubricación es adecuada el diseño del dado para una vida útil duradera así como el esfuerzo de Trefilado, razonablemente bajo será el producto de un valor de Δ , algo menor que el indicado en la Ecuación (80).

Frecuencia de Recocido

Otro aspecto favorable de un diseño de bajo valor de Δ , es que promueve un buen flujo de metal con un reducido trabajo redundante.

Trabajo Redundante es la deformación plástica por encima de lo necesario o requerido por la sección transversal a procesar. Generalmente se expresa el trabajo redundante como la relación que existe entre el trabajo total de deformación y el trabajo requerido por las sección.

$$\phi = \frac{\Delta}{4.4} + 0.8 \dots\dots\dots (83)$$

Donde: ϕ = trabajo redundante.

El trabajo redundante contribuye a formar esfuerzos adicionales y endurecimiento prematuro, particularmente en la superficie del alambre, y limita la cantidad de pasadas, así como la reducción que se puede alcanzar antes de que sea necesario recocer. Entonces bajo valores de Δ son recomendables para reducir la frecuencia de los procesos de recocido intermedio.

"Roturas Internas" y Ductibilidad del Producto Final

Otra manifestación de un bajo Δ y un flujo uniforme de metal, es la ausencia o la reducción de tensión hidrostática en el centro del alambre.

Este esfuerzo Hidrostático de tensión tiende a formar burbujas o porosidades en el centro del alambre, las cuales se dan a conocer reventando en algún momento posterior al trefilado, este tipo de fallas reducen la ductibilidad propia del material.

En la figura No.43 se puede apreciar los valores de Δ v.s. el nivel de tensión Hidrostática en el eje del alambre. Notar que para valores de Δ comúnmente asociados con el "Esfuerzo mínimo de Trefilado", existe un importante valor de tensión Hidrostática. También

existe otro argumento para usar menores valores α que los sugeridos por la ecuación (80).

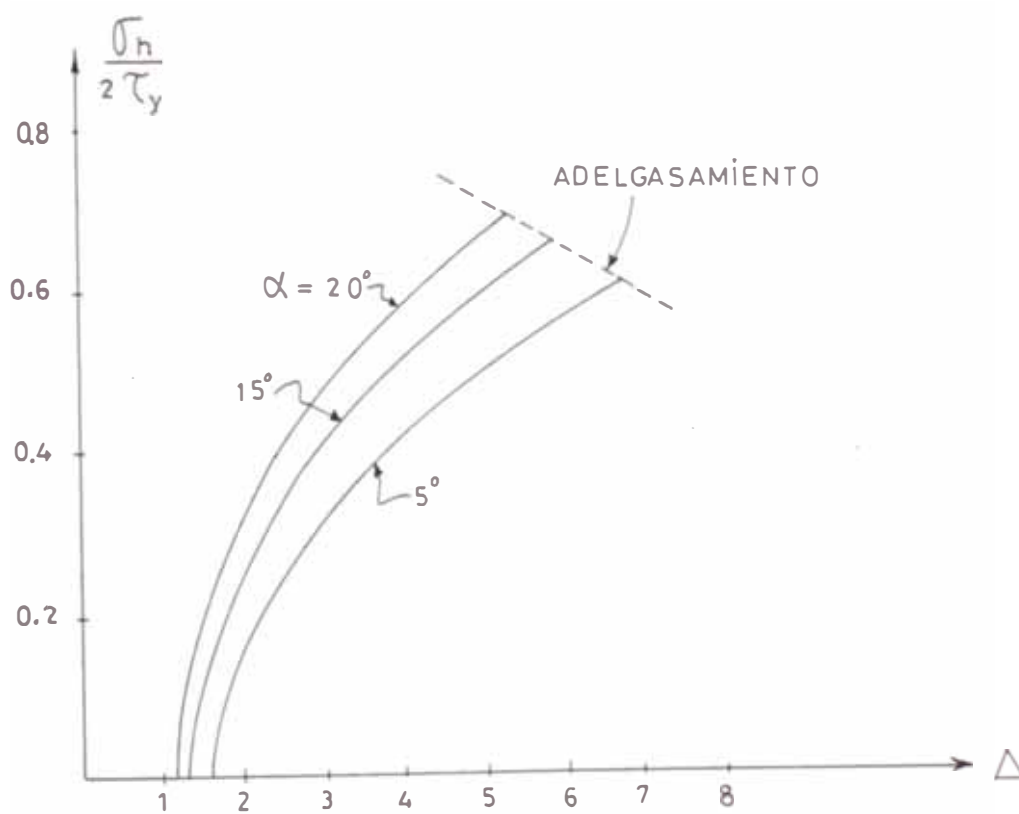


Figura No.43

El adelgazamiento que se puede apreciar, no debe ser confundido con el estirado que se produce a la salida del dado debido a excesiva fuerza de trefilado.

Ambos, el adelgazamiento y el hinchamiento son evidencia del flujo de metal impuesto por la geometría del dado y sus confines.

El estudio del comportamiento del alambre fuera de dado, antes o después de este no está todavía desarrollado. Sin embargo, se ha observado en la práctica que el fenómeno mencionado se multiplica conjuntamente con el valor de Δ , y mientras que en la Figura No.43 se observa que los valores de este fenómeno se encuentran lejos del rango de interés práctico, se ha notado comportamiento de este tipo en el rango de valores de Δ para el "esfuerzo mínimo de trefilado", de donde nace otra vez el sustento para sugerir valores de Δ pequeños.

Recomendaciones Generales

Los argumentos hasta ahora mencionados nos llevan a concluir en que, provistos de una adecuada lubricación los diseños de dados con bajos valores de Δ esto es (α pequeños y/o reducciones grandes) ofrecen un desempeño superior en términos de:

- Desgaste del dado.
- Interrupción del proceso de Trefilado por requerimiento de recócido.
- Rotura del alambre por burbujas internas.
- Mejora de las características finales de ductibilidad
- Adelgazamiento Hinchamiento.

Incluso podemos decir que la situación más se logra para valores de Δ cercanos a la unidad.

El valor para Δ donde se logra la menor fuerza de trefilado está en el rango de 2 a 3.

Como no es recomendable tener un esfuerzo de trefilado mayor que el 60% del esfuerzo de rotura del alambre, algo hay que sacrificar entonces ya que los valores tan bajos como la unidad no son posibles.

Entonces optar ciegamente a minimizar los esfuerzos de trefilado, sugerirá valores de Δ mayores que aquellos que ofrecen el mejor y más eficiente desempeño.

Geometría del Dado a la Entrada

La porción del dado llamada campana posee una forma tal que facilita y guía al alambre al ingresar a trefilado, este concepto se usa sobre todo en el trefilado de lumbres finos, mientras más abierta la campana mejor absorberá el dado los desalineamientos que ocurren en el proceso sin embargo, la misma forma de campana pero más cerrada ayuda a levantar presión en el lubricante de trefilado.

Desafortunadamente, la conveniencia de un uso es la inconveniencia para el otro. En este punto cada fabricante de dado tiene su propio estilo, personalmente me inclino a resolver primero problemas de lubricación que de guías.

Longitud del Anillo Calibrado

La función básica de la longitud del anillo calibrado es la de preservar el tamaño del dado en cuanto al desgaste y permitir el pulido de los dados gastados, sin cambiar la dimensión del diámetro.

La longitud de estos anillos calibrados varían en la práctica desde 0 a 200% del diámetro del alambre.

La principal objeción a tener un anillo calibrado muy largo sería que esto aumentaría el trabajo de fricción en el trefilado y por ende el esfuerzo de trefilado. Sin embargo, mediciones experimentales demuestran que los incrementos en los esfuerzos y en el trabajo de fricción son bastante pequeños. Esto podría ser debido a que la presión de contacto del alambre con el dado es mínima o casi cero como lo indica la Figura No.44

Finalmente, la longitud del anillo calibrado parece ser pequeño, el inconveniente comparado con el nos permite lograr una mayor vida media del dado.

Cono de Salida

En muchos comentarios y especificaciones sobre el cono de salida hechos por los fabricantes se puede encontrar discrepancias muy grandes, como por ejemplo los valores del ángulo que fluctúan desde 30 a 90°. Se supone que el cono de salida permita una distensión progresiva y gradual de energía.

Un cono de salida con las superficies muy pulidas ayudan a que el alambre no se deteriore.

Intersección de Angulos

La necesidad de una apropiada intersección de ángulos y buenos radios de transición entre el cono de entrada, anillo calibrado y anillo de salida, es frecuentemente comentado por los fabricantes de dado debido a que involucra situaciones como la resistencia del dado, el buen trato superficial al alambre, la deformación del alambre de círculo a OVAL, y la eliminación de lugares donde se pueda acumular pequeñas partículas del material sometido a trabajo.

Roturas de Alambre

La causa más importante que interrumpe el proceso de trefilado es la rotura del alambre. A continuación analizaremos los casos más comunes, sus causas y soluciones:

* Por tener contenido de inclusiones que pueden ser metálicas o no metálicas. En el caso de las primeras es muy probable que los rodillos de laminación deteriorados por el uso hayan perdido una partícula que a su vez se haya incorporado en el alambrón.. en esta situación es conveniente hacer una inspección de los rodillos de fabricación del alambrón, en el caso de que la inclusión sea no metálica es probable que se trate de partículas sueltas de los refractarios de los hornos en las operaciones previas. En este caso sería conveniente revisar el tiempo de servicio de los refractarios y si existe o no degradación.

* Por daño mecánico, en algunas oportunidades se presentan cortes, indentaduras y chancones en el alambrón de materia prima o en las etapas intermedias y algunas veces estas no desaparecen por completo **después** de algunos procesos de fabricación. Para evitar esta situación es necesario revisar si el

acarreo del material tanto en la planta de fabricación de materia prima como en el trefilado está siendo descuidado, ocasionando este tipo de fallas.

* Por estar quebradizo, veces se pasan masas concentradas de óxido en el proceso de laminación que más tarde al adelgazar el alambre se encuentran expuestas. Es conveniente revisar la estructura metalográfica y ajustar las condiciones de velocidad en el momento de colada para dar tiempo la separación de los óxidos.

* Rotura por Tensión, esto puede deberse a baja ductibilidad o a excesiva fuerza de tracción en el trefilado y se puede solucionar reajustando la máquina trefiladora y si no hay éxito analizando químicamente la muestra que probablemente sugerirá un cambio en la química del material o mayor homogeneidad.

* Rotura por burbuja interna, esta situación suele ocurrir debido situaciones desfavorables de trefilado, relacionada con el ángulo y el porcentaje de reducción y se manifiesta de manera de un agujero

concéntrico en el agujero roto del alambre. Para solucionar esta situación debe cambiarse y recalibrar el dado reemplazado.

4.2.3.1.1 Ensayos de Laboratorio

Nuestro primer ensayo se ha realizado con el objeto de evaluar las propiedades físicas de los alambres resultantes de una operación Industrial Normal o estándar. (Ver Tabla No.46), y compararlos con muestras gemelas, sometidas al tratamiento térmico de recocido, (Ver Tabla No.47).

Nuestro segundo ensayo se ha realizado con el objeto de evaluar las propiedades físicas de alambres, resultantes de dos operaciones exageradas:

- La primera consiste en trefilar alambrón de cobre de 7.94 mm. de diámetro hasta 3.73 mm. de diámetro, empleando para este fin 14 operaciones de trefilado cuyas medidas son las siguientes:

TABLA Nº45

ϕ mm	ϕ mm
7.81	4.15
7.42	3.93
7.05	3.73
6.69	
6.01	
5.70	
5.41	
5.13	
4.86	
4.61	
4.38	

- La segunda consiste en trefilar el alambre desde alambrón de 7.94 mm. de diámetro hasta 3.73 mm. de diámetro en 4 operaciones de trefilado cuyas medidas son:

Ø mm.

6.69

5.41

4.38

3.73

- La tercera muestra, se obtiene tomando alambre de la operación A y recociéndolo.

Estos tres tipos de muestras fueron sometidos a los mismos ensayos de rotura tomando valores promedios de:

- Elongación
- Carga de Rotura
- Esfuerzo de Rotura

Paralelamente estos tres tipos de muestras fueron sometidos. A la medición de su fuerza de trefilado desde 3.7 mmØ hasta 3.01mmØ observando como resultados obtenidos en la siguiente Tabla No.48 .

TABLA No. 48

PROBETA	DIAMETRO (mm)	AREA (mm ²)	% DE ELONGACION	CARGA DE ROTURA (Kg)	ESFUERZO DE ROTURA (Kg/mm ²)	FUERZA DE TREFILADO (Kg)	OBSERVACIONES
A	3.7	10.75	1.57	421	39.12	206.6	-Trefilado en 14 pasos
B	3.7	10.75	1.27	470	43.74	226.0	-Trefilado en 4 pasos
C	3.7	10.75		245	22.82	157.4	-A recocido

NOTA.-

1.- Los valores indicados son valores promedios de por lo menos 5 muestras de cada probeta.

4.2.3.2. CALCULO DE LA REFRIGERACION Y LUBRICACION EN EL TREFILADO

Para materiales no ferrosos existen dos tipos de lubricación:

- Lubricación de línea y lubricación hidrodinámica.
- Lubricación de línea existe cuando hay contacto entre metal y metal, y lubricación hidrodinámica existe cuando las partes en deslizamiento están separadas por una capa de lubricante.

La función del lubricante consiste en:

- Retirar el calor.
- Reducir el desgaste.
- Disminuir el consumo de energía.
- Mejorar el acabado superficial.
- Aumentar las velocidades de trabajo.
- Reducir los esfuerzos de trefilado.

Algunos de los requerimientos no son compatibles, de manera que uno debe ajustarse a su caso particular, por ejemplo la transferencia de calor al utilizar aceite mineral como lubricante es menos efectiva que utilizar emulsiones, sin embargo, el aceite mineral reduce en mayor medida la fricción que las emulsiones.

Generalmente el coeficiente de fricción toma valores en los siguientes rangos:

- Lubricación Hidrodinámica	0 - 0.05
- Lubricación mezclada entre hidrodinámica y de Línea.....	0.05 - 0.1
- Lubricación de línea	0.1 a más

CALCULO DE LA MASA DE REFRIGERANTE: (M_{ref.})

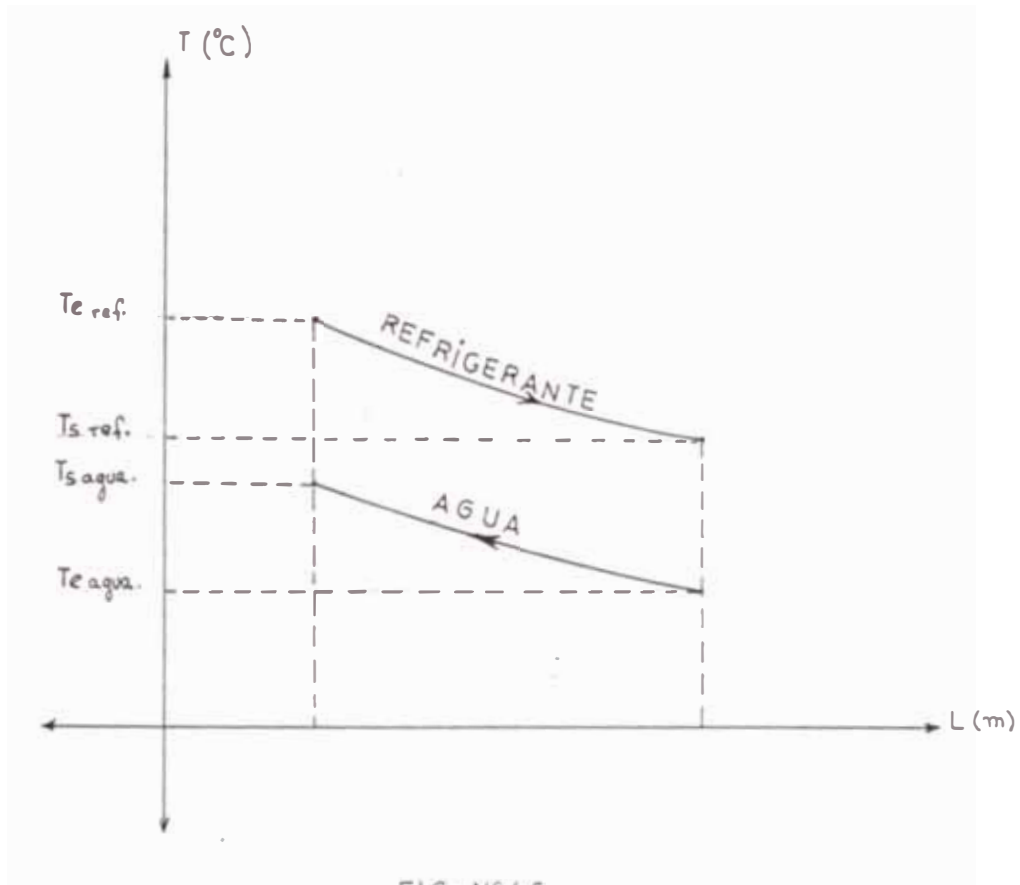
* Se recomienda 1 (gal/min-HP) referido a la potencia instalada de la línea de trefilado.

Por lo tanto para 260 HP tendremos:

$$M_{ref} = \frac{1 \text{ Gal}}{\text{min-HP}} \times 3.785 \frac{\text{lbs}}{\text{Gal}} \times 0.99 \frac{\text{Kg}}{\text{lbs}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} \times 260 \text{ HP}$$

$$M_{ref} = 16.24 \text{ (Kg/seg)}$$

Además graficaremos las temperaturas del intercambiador de calor:



donde:

$T_{e\ ref}$ = Temperatura de entrada del refrigerante en el intercambiador en ($^{\circ}C$).

$T_{s\ ref}$ = Temperatura de salida del refrigerante en el intercambiador en ($^{\circ}C$).

$T_{e\ agua}$ = Temperatura de entrada de agua en el intercambiador en ($^{\circ}C$).

$T_{s\ agua}$ = Temperatura de salida de agua en el intercambiador en ($^{\circ}C$).

L = Longitud del intercambiador de calor en (m).

BALANCE DE CALOR PARA EL REFRIGERANTE

$$Q_{\text{Ganado por el refrigerante}} = M_{\text{Ref.}} \times C_{p_{\text{Ref.}}} \left(T_{e_{\text{Ref.}}} - T_{s_{\text{Ref.}}} \right) \dots (84)$$

donde:

M_{Ref} = Masa del refrigerante en (kg/seg)

$C_{p_{\text{Ref}}}$ = Calor del refrigerante en (KJ/Kg-°C)

$T_{e_{\text{Ref}}}$ - Temperatura de entrada del refrigerante al intercambiador o salida de la máquina trefiladora.

$T_{s_{\text{Ref}}}$ = Temperatura de salida del refrigerante del intercambiador.

Consideraciones:

- Toda la potencia de la máquina es convertida en calor que se distribuye de la siguiente manera:

5 - 10% fricción transmisión (a través del aceite lubricante)

10 - 20% generada por el resbalamiento, entre el alambre y las poleas de arrastre, el calor es absorbido por el refrigerante.

- 85 - 70% restante corresponde al calor generado por el trabajo de deformación y fusión que se lleva a cabo en el proceso de trefilado y que es absorbido por el refrigerante - lubricante.

Entonces el calor equivalente a la potencia es:

$$Q_{\text{Equivalente}} = 260 \text{ HP} \times 0.7457 \frac{\text{KW}}{\text{HP}}$$

$$Q_{\text{Equivalente}} = 193.882 \text{ Kw}$$

Considerando que un 90% del calor se lleva el refrigerante tenemos:

$$Q_{\text{Ganado}} = 193.882 \text{ kw} \times 0.9$$

por el
refrige
rante

$$Q_{\text{Ganado}} = 174.4938 \text{ kw.}$$

por el
refrige
rante

=====

En consecuencia se puede calcular la temperatura del refrigerante a la salida del intercambiador (ingreso al tanque # 1) y sin considerar las pérdidas de calor en el tanque.

Entonces:

$$T_{s, \text{Ref}} = T_{e, \text{Ref}} - \left[\frac{Q_{\text{Ganado por el refrigerante}}}{M_{\text{Ref}} \times C_{p, \text{Ref}}} \right]$$

$$T_{s, \text{Ref}} = 45 - \left[\frac{174.4938 \text{ kw}}{16.24 \left(\frac{\text{kg}}{\text{Seg}} \right) \times 4.082 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right)} \right]$$

$$T_{s, \text{Ref}} = 42.37 \text{ } ^\circ\text{C}$$

=====

Balance de Calor para el Agua

El calor ganado por el agua es el cedido por el refrigerante

$$Q_{\text{Ganado por el agua}} = Q_{\text{Cedido por el refrigerante}} = M_{\text{agua}} \times C_{\text{Pagua}} (T_{s, \text{agua}} - T_{e, \text{agua}}) \dots (85)$$

Consideraciones

- La temperatura de suministro del agua es de 25°C y que proviene de una torre de enfriamiento con capacidad de 200 kw.
- Para definir el flujo de agua de refrigeración utilizaremos el concepto de diferencia terminal de temperatura.

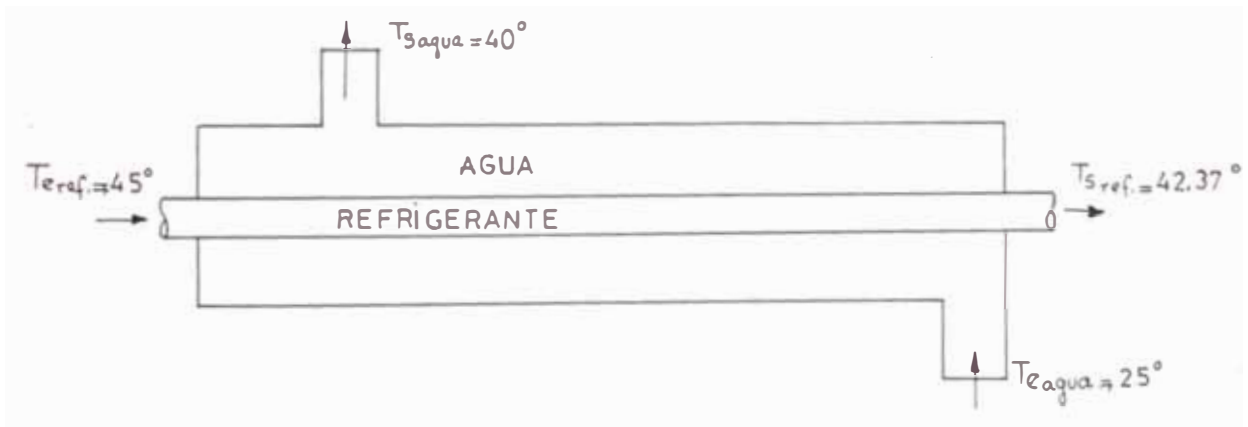


FIG. N° 47

Esquema del Intercambiador de Calor

Entonces:

$$M_{\text{agua}} = \frac{174.4938 \text{ kw}}{4.18 \cdot \left(\frac{\text{KJ}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}} \right) \times (40-25)^\circ\text{C}}$$

$$M_{\text{agua}} = 2.78 \text{ kg/seg.}$$

=====

4.2.3.3 Selección de Alternativas

Para este proyecto es necesario escoger una máquina capaz de trefilar 50 TM. de alambre de cobre (5/16) Plg. de diámetro hasta alambres calibre 15 AWG aproximadamente. Esta máquina debe ser capaz de fabricar simultáneamente alambres en medidas calibradas AWG y en medidas milimétricas, tal como se acostumbra en la comercialización de éstos productos.

Normalmente se utilizan velocidades finales de trefilado del orden de 2,000 pies/minuto para el alambre más fino a producir, en este caso 15 AWG ó 1.45 mm. de diámetro.

Considero que la máquina más adecuada para este trabajo es una trefiladora múltiple continua y de conos escalonados de 13 etapas, conocido como F-13 SYNCRO.

En el mercado internacional se puede conseguir maquinaria usada con estas características y es preferible comprar una máquina fabricada que construirlo uno mismo, pese que la concepción y construcción no es compleja, sin embargo la ventaja de contar con una estructura de fierro fundido, con bombas de lubricación incorporadas con motores de corriente continua y poleas

de tracción revestidas en materiales resistentes, es pues incomparable.

En la Figura No.48 podemos apreciar un esquema que indica el recorrido del alambre a lo largo del equipo de trefilado.

Existen varias rutas alternas y estas dependen del producto que se quiera fabricar.

En la Tabla No.49 se encuentran clasificados los diversos calibres de salida, esto es el producto que se quiere fabricar continuación, en la misma línea se puede encontrar la cantidad de dados requeridos para su fabricación y la ubicación de los mismos, quedando de esta manera definida la ruta que seguirá el alambre.

En la Figura No.49 , podemos apreciar un esquema que indica la relación de transmisión de los diferentes elementos de la maquinaria trefiladora.

Y en la Tabla No.50 , podemos apreciar sus dimensiones, velocidades, revoluciones por minuto e incluso valores pre-calculados de deslizamiento.

Esta Tabla nos sirve de referencia con relación a cálculos de producción y a los datos de trefilado y sus calibraciones .

CAPITULO V

COSTOS Y PRECIOS DE VENTA COMPARATIVOS

5.1 Costo de los equipos y su montaje

5.1.1 Línea de Decapado

- Tanque para solución ácida.....\$	5,000
- Tanque para solución pasivadora.....	5,000
- Poza para la ducha de lavado a presión.....	4,000
- Equipo de bombeo y boquilla de alta presión.	8,000
- Tecla grúa puente y estructura metálica.....	<u>8,000</u>
T O T A L	\$ 30,000

5.1.2 Línea de Trefilado

- Trefiladora de 13 pasos y accesorios.....\$	400,000
- Punteadora.....	5,000
- Soldadora.....	8,000
- Dos carretillas para alambón.....	1,000
- Ordenador de alambre.....	5,000
- Encarretador.....	10,000
- Desenrollador.....	6,000
- Juego de dados de trefilado	20,000
- 50 carretes.....	5,000
- Rebobinadora-Metradora.....	<u>10,000</u>
T O T A L	\$ 470,000

5.1.3 Línea de Recocido

- Dos hornos eléctricos.....	\$ 11,000
- Cuatro muflas.....	5,000
- Equipo de Control.....	500
- Analizador de bases ORSAT.....	500
- Tecla de 0.5 TM.....	<u>3,000</u>
T O T A L	\$ 20,000

5.1.4 Equipo de Control

- Una balanza de plataforma 25 TM.....	\$ 12,000
- Balanza de 1.2 TM.....	<u>5,000</u>
T O T A L	\$ 17,000

5.1.5 Equipo de Laboratorio

- Equipo de medición y calibración.....	\$ 1,000
- Prensa de tracción.....	7,000
- Mufla.....	500
- Balanza de precisión.....	<u>1,500</u>
T O T A L	\$ 10,000

265.

5.1.6 Herramientas Manuales Diversas

T O T A L\$ 5,000

5.1.7 Máquinas de Mantenimiento

- Torno.....\$ 5,000

- Cepillo..... 8,000

- Taladro..... 1,600

- Esmeril..... 400

T O T A L\$ 15,000

5.1.8 Montaje

- Línea d d capado.....\$ 4,500

- Línea d trefilado..... 50,000

- Line de Recocido..... 3,500

- Máquinas de mantenimiento..... 2,000

T O T A L.....\$ 60,000

5.1.9 Equipos de Oficina.....\$ 3,000

5.2 Costo de los Productos Terminados

Para determinar el costo de los productos terminados, o de servicios que se van a realizar, es preciso definir antes algunos criterios respecto a los plazos de amortización de algunas inversiones, la depreciación o la incidencia de algunos rubros sobre la actividad industrial o la de servicios.

Los gastos pre operativos se amortizarán en cinco años, en el rubro adquisición terrenos y construcción, hay que separar lo que es terreno, y lo que es construcción de manera que se tomaría para costear sólo el porcentaje de depreciación de la construcción, en cuanto a la energía eléctrica se estimaría un porcentaje por plant y otro para la administración.

En cuanto a los gastos realizados el primer año antes de las operaciones industriales y la venta, se amortizarán en los cinco años iniciales, de la operación industrial.

Existe una diferencia evidente que resulta de comparar los costos de la actividad industrial de la de servicio, y esta en que para la actividad industrial

existe una carga de gastos financieros, gastos del departamento de compra, para la adquisición de insumos, transporte y otros gastos mientras que para la actividad de servicios no.

Asumiendo en el año inicial que no hay stock y que al final de cada año no lo habrá, procedemos a realizar el siguiente cálculo.

5.2.1 Análisis y Cálculo de Costos

COSTOS AÑO 1:

- I Actividad industrial (100%)
- S Actividad de Servicios (0%)

1 gastos Pre-Operativos

$$\$ 10,000 \times 20\% = \$ 2,000$$

2. Adquisición de Terreno y Construcción

$$\text{Construcción : } \$ 75,400 \times 3\% = \$ 2,262$$

$$\$ 120,400$$

$$\text{Terreno : } \$ 45,000$$

3 Compra de Maquinaria, Equipos y su Montaje

$$\$ 630,000 \times 10\% = \$ 63,000$$

4. Instalaciones Diversas

$$\$ 100,000 \times 10\% = \$ 10,000$$

5. Materia Prima y Materiales Diversos

$$\$ 630,000$$

6. Mano de Obra

$$\$ 10,150$$

7. Energía Eléctrica para el Año 1 - Sólo hay actividad Industrial

$$(3,500) \times (20\%) + \$ 7,027 = \$ 7,727$$

8. Servicio de Terceros

$$(\$ 12,000) \times (20\%) + \$ 24,000 = \$ 26,400$$

9. Gastos Generales

$$\$ 30,000$$

10. Otros Gastos

$$\$ 3,000$$

$$\sum \text{TOTAL} = \$ 784,539 = 2.5851 \text{ \$/Kg}$$

$$300,000 \text{ Kg}$$

COSTOS AÑO 2:

I	Actividad Industrial (96.36%)
S	Actividad de Servicios (3.64%)

1. Gastos Pre-Operativos

\$ 10,000	x	20%	=	\$ 2,000
		I	=	\$ 1,927.20
		S	=	\$ 72.80

2. Adquisición de terreno y construcción

\$ 75,400	x	3%	=	\$ 2,262
		I	=	\$ 2,179.66
		S	=	\$ 82.34

3. Compra de Maquinaria, Equipos y su Montaje

\$ 630,000	x	10%	=	\$ 63,000
		I	=	\$ 60,706.80
		S	=	\$ 2,293.20

4. Instalaciones Diversas

\$ 100,000	x	10%	=	\$ 10,000
		I	=	\$ 9,636
		S	=	\$ 364

5. Materia Prima y Materiales Diversos

I	=	\$ 1'260,000
---	---	--------------

6. M-no de Obra

 $\$ 22,330$ I = $\$ 21,517.18$ S = $\$ 812.82$

7. Energía Eléctrica para el año 2

 $(\$ 3,500) \times (20\%) + \$ 14,054 = \$ 14,754$ I = $\$ 14,216.95$ S = $\$ 537.04$

8. Servicios de Terceros

 $(\$ 12,000) \times (20\%) + 36,000 = \$ 38,400$ I = $\$ 37,002.24$ S = $\$ 1,397.76$

9. Gastos Generales

 $\$ 30,000$ I = $\$ 28,908$ S = $\$ 1,092$

10. Otros Gastos

 $\$ 3,000$ I = $\$ 2,890.80$ S = $\$ 109.20$

$$I \rightarrow \sum \text{TOT} = \frac{\$ 1'438,984.83}{600,000 \text{ Kg}} = 2.3983 \text{ \$ /Kg}$$

$$S \rightarrow \sum \text{TOT} = \frac{\$ 6,761.16}{60,000 \text{ Kg}} = 0.1127 \text{ \$ /Kg}$$

5. Materia Prima y Materiales Diversos

$$I = \$ 1'386,000$$

6. Mano de Obra

$$\$ 24,563$$

$$I = \$ 23,536.27$$

$$S = \$ 1'026.73$$

7. Energía Eléctrica para el año 3

$$\$ 3,500 \times 20\% + \$ 15,459 = \$ 16,159$$

$$I = \$ 15,483.55$$

$$S = \$ 675.44$$

8. Servicio de Terceros

$$\$ 12,000 \times 20\% + 38,400 = \$ 40,800$$

$$I = \$ 39,094.56$$

$$S = \$ 1,705.44$$

9. Gastos Generales

$$\$ 30,000$$

$$I = \$ 28,746$$

$$S = \$ 1,254$$

10. Otros Gastos

\$ 3,000

I = \$ 2,874.60

S = \$ 125.40

$$I \rightarrow \sum \text{TOT} = \frac{\$ 1'569,767.43}{660,000 \text{ Kg}} = 2.3784 \quad (\$ / \text{Kg})$$

$$S \rightarrow \sum \text{TOT} = \frac{\$ 8,016.56}{72,000 \text{ Kg}} = 0.1113 \quad (\$ / \text{Kg})$$

COSTOS_AÑO_4 :

I Actividad industrial (95.58%)
 S Actividad de Servicios (4.42%)

1. Gastos pre operativos

\$ 10,000 x 20% = \$ 2,000

I = \$ 1,911.60

S = \$ 88.4

2. Adquisición de Terreno y Construcción

\$ 75,400 x 3% = \$ 2,262

I = \$ 2,162.02

S = \$ 99.98

3. Compra de Maquinaria, Equipos y su Montaje

\$ 630,000 x 10% = \$ 63,000

I = \$ 60,215.40

S = \$ 2,784.60

4. Instalaciones Diversas

\$ 100,000 x 10% = \$ 10,000

I = \$ 9,538

S = \$ 442

5. Materia Prima y Materiales Diversos

$$I = \$ 1'524,000$$

6. Mano de Obra

$$\$ 27,019$$

$$I = \$ 25,824.77$$

$$S = \$ 1,194.23$$

7. Energía Eléctrica para el Año 4

$$\$ 3,500 \times 20\% + \$ 17,000 = \$ 17,700$$

$$I = \$ 16,917.66$$

$$S = \$ 782.34$$

8. Servicios de Terceros

$$\$ 12,000 \times 20\% + 41,040 = \$ 43,440$$

$$I = \$ 41,519.96$$

$$S = \$ 1,920.04$$

9. Gastos Generales

$$\$ 40,000$$

$$I = \$ 38,232$$

$$S = \$ 1,768$$

10. Otros Gastos

\$ 40,000

I = \$ 3,823.2

S = \$ 176.8

$$I \rightarrow \sum \text{TOT} = \frac{\$ 1'724,164.61}{726,000 \text{ Kg}} = 2.3749 (\$ / \text{kg})$$

$$S \rightarrow \sum \text{TOT} = \frac{\$ 9,256.39}{84,000 \text{ Kg}} = 0.1102 (\$ / \text{Kg})$$

COSTOS_A_O_S :

I Actividad Industrial (95.41%)
 S Actividad de Servicios (4.59%)

1. Gastos Pre-Operativos

$$\$ 10,000 \times 20\% = \$ 2,000$$

$$I = \$ 1,908.20$$

$$S = \$ 91.8$$

2. Adquisición de Terreno y Construcción

$$\$ 75,400 \times 3\% = \$ 2,262$$

$$I = \$ 2,158.18$$

$$S = \$ 103.82$$

3. Compra de Maquinaria, Equipos y su Montaje

$$\$ 630,000 \times 10\% = \$ 63,000$$

$$I = \$ 60,108.30$$

$$S = \$ 2,891.70$$

4. Instalaciones Diversas

$$\$ 100,000 \times 10\% = \$ 10,000$$

$$I = \$ 9,541$$

$$S = \$ 459$$

5. Materia Prima y Materiales Diversos

 $I = \$ 1'677.060$

6. Mano de Obra

 $\$ 29,721$ $I = \$ 28,356.81$ $S = \$ 1,364.19$

7. Energía Eléctrica para el año 5

 $\$ 3,500 \times 20\% + 18,706 = \$ 19,406$ $I = \$ 18,515.26$ $S = \$ 890.74$

8. Servicio de Terceros

 $\$ 12,000 \times 20\% + \$ 43,944 = \$ 46,344$ $I = \$ 44,216.82$ $S = \$ 2,127.18$

9. Gastos Generales

 $\$ 40,000$ $I = \$ 38,164$ $S = \$ 1,836$

10. Otros Gastos

\$ 4,000

I = \$ 3,816.40

S = \$ 183.60

$$I \rightarrow \sum \text{TOT} = \frac{\$ 1'883,844.97}{798,000 \text{ Kg}} = 2.3607 \text{ \$/Kg}$$

$$S \rightarrow \sum \text{TOT} = \frac{\$ 9'948.03}{96,000} = 0.1036 \text{ \$/Kg}$$

Costos_Año_6 :

I Actividad Industrial (95.32%)
 .S Actividad de Servicios (4.68%)

1. Gastos Pre-Operativos = Cero

2. Adquisición de Terreno y Construcción

$$(\$ 75,400 + \$ 50,000) \times (3\%) = \$ 3,762$$

$$I = \$ 3,585.94$$

$$S = \$ 176.06$$

3. Compra de Maquinaria, Equipos y su Montaje

$$\$ 730,000 \times 10\% = \$ 73,000$$

$$I = \$ 69,583.60$$

$$S = \$ 3,416.40$$

4. Instalaciones Diversas

$$\$ 100,000 \times 10\% = \$ 10,000$$

$$I = \$ 9,532$$

$$S = \$ 468$$

5. Materia Prima y Materiales Diversos

I = \$ 1'844,766

6. Mano de Obra

\$ 38,637

I = \$ 36,828.79

S = \$ 1,808.21

7. Energía Eléctrica para el Año 6

\$ 20,577

I = \$ 19,613.99

S = \$ 963.01

8. Servicio de Terceros

\$ 47,136

I = \$ 44,930.04

S = \$ 2,205.96

9. Gastos Generales

\$ 40,000

I = \$ 38,128

S = \$ 1,872

10. Otros Gastos

\$ 4,000

I = \$ 3,812.80

S = \$ 187.20

$$I \rightarrow \sum \text{TOT} = \frac{\$ 2'070,781.16}{878,000 \text{ Kg}} = 2.3585 \text{ \$/Kg}$$

$$S \rightarrow \sum \text{TOT} = \frac{\$ 11,069.84}{108.000 \text{ Kg}} = 0.1025 \text{ \$/Kg}$$

COSTOS_AÑO_7 :

I Actividad Industrial (96.02%)
 S Actividad de Servicios (3.98%)

1. Gastos Pre-Operativos = Cero

2. Adquisición de Terreno y Construcción

$$\$ 125,400 \times 3\% = \$ 3,762$$

$$I = \$ 3,612.28$$

$$S = \$ 149.72$$

3. Compra de Maquinaria, Equipos y su Montaje

$$\$ 730,000 \times 10\% = \$ 73,000$$

$$I = \$ 70,094.60$$

$$S = \$ 2,905.40$$

4. Instalaciones Diversas

$$\$ 100,000 \times 10\% = \$ 10,000$$

$$I = \$ 9,602$$

$$S = \$ 398$$

5. Materia Prima y Materiales Diversos

$$I = \$ 2'030,616$$

6. Mano de Obra

\$ 42,501

I = \$ 40,809.47

S = \$ 1,691.53

7. Energía Eléctrica para el Año 7

\$ 22,634

I = \$ 21,733.16

S = \$ 900.84

8. Servicios de Terceros

\$ 51,852

I = \$ 49,788.30

S = \$ 2,063.70

9. Gastos Generales

\$ 50,000

I = \$ 48,010

S = \$ 1,990

10. Otros Gastos

\$ 5,000

I = \$ 4,801

S = \$ 199

$$I \rightarrow \sum \text{TOT} = \frac{\$ 2'279,066.81}{966,000 \text{ Kg}} = 2.3593 \text{ \$/Kg}$$

$$S \rightarrow \sum \text{TOT} = \frac{\$ 10,298.19}{120,000 \text{ Kg}} = 0.0858 \text{ \$/Kg}$$

COSTOS_ANO_B:

I Actividad Industrial (96%)
 S Actividad de Servicios (4%)

1. Gastos Pre-Operativos = Cero

2. Adquisición de Terreno y Construcción

\$ 125,400 x 3% = \$ 3,762

I = \$ 3,611.52

S = \$ 150.48

3. Compra de Maquinaria, Equipos y su Montaje

\$ 730,000 x 10% = \$ 73,000

I = \$ 70,080

S = \$ 2,920

4. Instalaciones Diversas

\$ 100,000 x 10% = \$ 10,000

I = \$ 9,600

S = \$ 400

5. Materia Prima y Materiales Diversos

I = \$ 2,232,216

6. Mano de Obra

\$ 46,751

I = \$ 44,880.96

S = \$ 1,870.04

7. Energía Eléctrica para el Año 8

\$ 24,898

I = \$ 23,902.08

S = \$ 995.92

8. Servicio de Terceros

\$ 54,516

I = \$ 52,335.36

S = \$ 2,180.64

9. Gastos Generales

\$ 50,000

I = \$ 48,000

S = \$ 2,000

10. Otros Gastos

\$ 5,000

I = \$ 4,800

S = \$ 200

$$I \rightarrow \sum \text{TOT} = \frac{\$ 2'489,425.92}{1'056,000 \text{ Kg}} = 2.3574 (\$/\text{Kg})$$

$$S \rightarrow \sum \text{TOT} = \frac{\$ 10,717.08}{132,000 \text{ Kg}} = 0.0812 (\$/\text{Kg})$$

COSTOS ANO : 9

I Actividad Industrial (96.04%)
S Actividad de Servicios (3.96%)

1. Gastos Pre-Operativos = cero

2. Adquisición de Terreno y Construcción

\$ 125,400 x 3% = \$ 3,762

I = \$ 3,613.03

S = \$ 148.97

3. Compra de Maquinaria, Equipos y su Montaje

\$ 730,000 x 10% = \$ 73,000

I = \$ 70,109.20

S = \$ 2,890.80

4. Instalaciones Diversas

\$ 100,000 x 10% = \$ 10,000

I = \$ 9,604

S = \$ 396

5. Materia Prima y Materiales Diversos

I = \$ 2'435,588

6. Mano de Obra

\$ 51,426

I = \$ 49,389.53

S = \$ 2,036.47

7. Energía Eléctrica para el Año 9

\$ 27,388

I = \$ 26,303.44

S = \$ 1,084.56

8. Servicio de Terceros

\$ 58,764

I = \$ 56,436.95

S = \$ 2,327.05

9. Gastos Generales

\$ 50,000

I = \$ 48,020

S = \$ 1,980

10. Otros Gastos

\$ 5,000

I = \$ 4,802

S = \$ 198

$$I \rightarrow \sum \text{TOT} = \frac{\$ 2'723,866.15}{1'164,000} = 2.3401 (\$/\text{Kg})$$

$$S \rightarrow \sum \text{TOT} = \frac{\$ 11,061.85}{144,000 \text{ Kg}} = 0.0768 (\$/\text{Kg})$$

5.3 Precio de Mercado

Las industrias más importantes que se dedican a la manufactura del cobre en el país, tienen evidentemente un acuerdo de repartición en partes del mercado nacional, no sólo en los tipos de producto a fabricar, sino que además entre ellas deciden y fijan los precios del mercado, creando un cartel.

Los fabricantes más pequeños venden sus productos a precios inferiores, sin embargo, la pauta la marcan las empresas miembros del grupo.

Para los alambres de temple blando, esto es en medidas, desde el 1 AWG al 15 AWG, se tiene registrado un precio histórico de venta promedio de 4 (\$/Kg) sin incluir el impuesto general a las ventas.

CAPITULO VI

ANALISIS ECONOMICO

6.1 Inversión Tasa y Período

El período del proyecto ha sido definido por el proyectista como 10 años, debido que ha considerado el tiempo como suficiente para que un equipo se desgaste, e ingrese una etapa de obsolescencia, existen además cambios tecnológicos importantes, y permiten un tiempo suficiente para el desempeño empresarial.

La unidad monetaria escogida es el dólar, ya que debido a su estabilidad es conveniente efectuar los cálculos y cifras sin que éstos varíen y tengan mayor relación con la realidad.

Para evitar el problema inflacionario que es impredecible a lo largo del tiempo utilizaremos "dólares constantes" de manera que los ingresos y egresos correrán par y paso con el nivel del índice de precios del consumidor por lo tanto; no habrán variaciones que afecten el análisis del presente proyecto.

La tasa de interés anual ha sido definida en 15% al año. Este interés es alto con relación a la máxima tasa bancaria, que se puede conseguir en el mercado internacional como inversión sin riesgo, sin embargo, hay que motivar a los inversionistas para poder realizar el proyecto, además de ser exigentes con el proyecto, y nosotros mismos tomando una tasa de interés alta.

Al final del periodo del proyecto podríamos asumir como valor de liquidación cero, sin embargo siempre existirá un valor de rescate sobre todo en los inmuebles al final del periodo.

INGRESOS

1. Ventas

Las ventas se inician a razón de 50 TM/mes el primer año, hasta casi duplicarse el décimo año. El precio medio de venta de los productos a fabricar será 2.5 dólares/Kg.

Luego de la inversión del año 5 el precio medio aumenta mejorando considerablemente la operación.

ANO	TM		PRECIO EN DOLARES	DOLARES
0	0	x	2,500	0
1	300	x	2,500	750,000
2	600	x	2,500	1'500,000
3	660	x	2,500	1'650,000
4	726	x	2,500	1'815,000
5	798	x	2,500	1'995,000
6	878	x	2,500	2'195,000
7	966	x	3,000	2'898,000
8	1,056	x	3,000	3'168,000
9	1,164	x	3,000	3'492,000

2. Servicios

Se realiza cuando el cliente trae su propia materia prima solicitando el servicio de "MAQUILA".

Se suele cobrar por esta clase de trabajo el 50% del costo de la materia prima.

ANO	(TM/ANO)		DOLARES	DOLARES
0	0	x	1,000	0
1	0	x	1,000	0
2	60	x	1,000	60,000
3	72	x	1,000	72,000
4	84	x	1,000	84,000
5	96	x	1,000	96,000
6	108	x	1,000	108,000
7	120	x	1,000	120,000
8	132	x	1,000	132,000
9	144	x	1,000	144,000

EGRESOS**1. Gastos Pre Operativos:**

A esta clasificación pertenecen aquellos gastos que se realizan antes que el proyecto se haga realidad. Los gastos típicos de éste rubro son generalmente ocasionados por pasajes, estadía comunicaciones con proveedores atenciones diversas, estudios de mercado, adquisición de impresos, etc.

GASTOS PRE OPERATIVOS...el Año cero: 10,000 Dólares

2. Adquisición de Terreno y Construcción

Para la actividad que se va a evaluar, estimo necesario de un lote de terreno de por lo menos 3.000 ubicado en las afueras de la Provincia de Lima, para contar con los actuales incentivos que existen por descentralización, además por los futuros beneficios por exportación y un buen clima.

Es importante que la ubicación del terreno coincida con un existente abastecimiento de energía eléctrica y, de ser posible de encontrarse cercano a la red de agua y desague.

La construcción será progresiva, inicialmente se construirá lo necesario para producir, luego en los próximos años se procedería a realizar las ampliaciones necesarias.

Estimo que en el inicio se deberá utilizar 1.500 m² de los cuales 600 m² estarán destinados a la Planta, 150 m² a oficinas los restantes en áreas comunes, circulación, maniobras estacionamiento. El resto del terreno estará destinado a expansiones futuras.

* Cerco del terreno con pared de ladrillo puesto de sogas de 3 m de alto 230 m Lineal x 30 $\frac{\$}{m \text{ lineal}}$	6,900 \$
 Losa de concreto de 800 m x 20 $\frac{\$}{m}$	16,000 \$
* Construcción de Oficinas 150 m x 150 $\frac{\$}{m}$	22,500 \$
* Techo de calamina con tijerales metálicos 600 m x 30 $\frac{\$}{m}$	30,000 \$
* Terreno de 3,000 m x 15 $\frac{\$}{m}$	45,000 \$
 * Ampliación el año 5	50,000 \$
<hr/>	
T O T A L	\$ 170,400

3. Compra de Maquinaria, Equipos y su Montaje

Los valores que a continuación describo incluyen aranceles y seguro para los equipos importados, así como transporte y descarga en planta para todos.

Línea de Decapado y Accesorios	\$ 30,000
Línea de Trefilado y Accesorios	470,000
Línea de Recocido de Accesorios	20,000
Equipos de Control	17,000
Equipos de Laboratorio	10,000
Herramientas Manuales Diversas	5,000
Maquinaria de Mantenimiento	15,000
Equipos de Oficina	3,000
Montaje	60,000

T O T A L\$ 630,000

4. Instalaciones Industriales Diversas

* Instalación Eléctrica, Sub-Estación

Tablero y Transformador.....\$	75,000
Iluminación e Instalación eléctrica de oficinas	10,000
Agua y Desague	5,000

T O T A L\$ 90,000

5. Materia Prima y Materiales Diversos

- Partiendo de la premisa que no habrá actividad industrial el primer año y la mitad del segundo, la adquisición de materia prima y, materiales diversos se iniciará partir de la segunda mitad del año 1 a un nivel de 30 TM/mes, de alambrón de cobre aumentando año a año hasta casi duplicarse el año 9.

Los materiales diversos, es decir, el ácido, el pasivador, los lubricantes, pueden estimarse en un 5% del valor del cobre.

AÑO	COBRE	DOLARES	MATERIALES DOLARES	TOTAL DOLARES
0	----	----	----	----
1	2 (\$/Kg) x 50 TMx6 meses	600,000	30,000	630,000
2	2 (\$/Kg) 50 TMx12 "	1'200,000	60,000	1'260,000
3	2 (\$/Kg) 55 TMx12 "	1'320,000	66,000	1'386,000
4	2 (\$/Kg) 60.5 TMx12 "	1'452,000	72,600	1'524,600
5	2 (/Kg) 66.55 TMx12 "	1'597,200	79,860	1'677,060
6	2 (\$/Kg) 73.21 TMx12 "	1'757,040	87,726	1'844,766
7	2 (\$/Kg) 80.58 TMx12 "	1'933,920	96,696	2'030,616
8	2 (\$/Kg) 88.58 TMx12 "	2'125,920	106,296	2'232,216
9	2 (\$/Kg) 97.44 TMx12 "	2'338,560	116,928	2'455,488

6. Mano de Obra

El personal de la planta estará compuesto por:

- Un maestro Jefe de Planta
400 \$ x 14 meses\$ 5,600
- 5 Operarios : 750 \$ x 14 meses..... 10,500.
- 1 Almacenero y Control 250 \$ x 14 meses..... 3,500
- 1 Operario de Mantenimiento 195 \$ x 14 meses 2,730

 A N U A L T O T A L\$ 22,330

7. Energía Eléctrica

La energía eléctrica consumida es el reflejo de la capacidad instalada y la cantidad de cobre producida.

El estudio se realiza considerando un solo turno de 8 hr/día.

El consumo diario de energía eléctrica será de 2,400 KWH, tomando 120 días al año a un valor de 0.0244 (\$/KWH)

ANO	CONSUMO KWH	DOLARES
0	143,446	3,500
1	288,000	7,027
2	576,000	14,054
3	633,600	15,459
4	696,960	17,000
5	766,656	18,706
6	843,321	20,577
7	927,653	22,634
8	1'020,419	24,898
9	1'122,461	27,388

8. Servicio de Terceros

En este punto consideramos el transporte como servicio principal. ya que la industria se encontrará fuera de Lima y, tendrá que transportar desde su materia prima hasta el producto terminado. Otros servicios considerados en este rubro serán: Contabilidad, Vigilancia y Limpieza.

ANO	TOTAL ANUAL DOLARES
0	12,000
1	24,000
2	36,000
3	38,400
4	41,040
5	43,944
6	47,136
7	51,852
8	54,516
9	58,764

9. Gastos Generales

En este rubro se encuentran ubicados, los sueldos del personal de oficina, los gastos administrativos, los materiales de oficina, servicios telefónicos, telex, correos, atenciones a clientes, etc.

AÑOS	DOLARES
0	30,000
1	30,000
2	30,000
3	30,000
4	40,000
5	40,000
6	40,000
7	50,000
8	50,000
9	50,000

6.3 Cálculo del Valor Neto (VAN)

Para calcular el VAN, con una tasa de interés $i = 15\%$ para un periodo del proyecto; $P = 10$ años, descontaremos a valor presente el saldo de caja de cada año del periodo. El VAN se obtiene sumando los valores presentes, si $VAN > 0$, el proyecto es rentable.

Para el cálculo del valor presente (VP) tenemos:

$$VP = \frac{N}{(1 + i)^P} \dots \dots \dots (86)$$

Donde

$i =$ tasa de interés
 $P =$ periodo
 $VP =$ valor presente

ANO	SALDO DE CAJA	VP
0	(548,900)	(548,900)
1	(264,177)	(229,719)
2	154,616	116,911
3	224,578	147,663
4	245,941	140,617
5	127,569	63,424
6	307,884	133,106
7	815,397	306,537
8	886,619	289,837
9	987,934	280,832
		VP = 700,308

6.4 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Para el mismo periodo de 10 años, obtendremos el TIR, como otro método complementario para evaluar el presente proyecto.

Para obtener el TIR, se suma algebraicamente los valores presente de cada uno de los periodos y, se iguala este resultado a cero, despejando la incognita i , que es la tasa interna de retorno. Como es una ecuación de 9no. grado, el cálculo es tedioso de manera que es conveniente utilizar un programa para lograr la solución.

$$\left[\begin{aligned} & - \frac{548,900}{(1+i)^0} - \frac{264,177}{(1+i)^1} + \frac{154,616}{(1+i)^2} + \frac{224,578}{(1+i)^3} + \frac{245,941}{(1+i)^4} \\ & + \frac{127,569}{(1+i)^5} + \frac{307,884}{(1+i)^6} + \frac{815,397}{(1+i)^7} + \frac{886,619}{(1+i)^8} + \frac{987,934}{(1+i)^9} \end{aligned} \right] = 0 \dots (87)$$

Despejando:

$$i = 0.286132$$

$$\text{TIR} = 28.6132 \%$$

=====

CONCLUSIONES

Encuentro que existe en nuestro país, casi todos los elementos necesarios para dar mayor valor agregado a nuestra materia prima COBRE. Sabiendo además que se exporta aproximadamente el 50% de los finos de Cobre, anualmente extraídos en calidad de concentrado, pagando por ello un flete algo e innecesario y obteniendo por el metal un menor precio, por lo tanto sería muy conveniente exportar en forma de Alambrón o Falanquilla, gran parte de lo que hoy se exporta en forma de concentrado, para ello sería necesario invertir en una planta de Colada Continua, pues la capacidad de refinación existe en el país

No se trata de comprar el último modelo de planta, instalarlo y apretar un botón, esto es caro e inconveniente en la mayoría de los casos, la tecnología no puede ser tomada como tecnología "a secas", en ella debe considerarse factores de productividad, costo de los productos a escoger, que puedan amortizarse razonablemente, sin poner en peligro el proyecto, que sean adecuadas para la realidad del país, para nosotros en muchos casos pensar en equipos usados o en sistemas utilizados

anteriormente por países más adelantados y, en otros casos fabricarlos.

La experiencia obtenida en la práctica me hace concluir para el presente proyecto en que no conviene fabricar equipos complejos como Trefiladora o Soldadora, donde se requiere productividad, eficiencia, debido a velocidades y calidades en el acabado, sin embargo, sí conviene fabricar equipos complementarios como la línea de Decapado o de Tratamiento Térmico, debido a los altos precios comparativos que ostentan los equipos extranjeros y que la calidad y/o cantidad de producto que se pueda obtener con equipos fabricados localmente, es similar.

Después de trabajar algunos años en la industria del Cobre, respondo con el presente trabajo a muchas inquietudes propias y de terceros; con respecto procesos, casos específicos, incluso a detalles del comportamiento del material, necesario esto para adquirir, diseñar o fabricar equipos relacionados con el presente tema, tal como se puede apreciar en los gráficos adjuntos.

Esta es quizás la situación más reconfrontable que experimenta el autor al realizar el presente trabajo.

CONCLUSIONES

1. De las reservas mundiales totales estimadas, por la Oficina de Minas de los Estados Unidos en 575 millones de T.M., el Perú tiene 35'000.000 de T.M., es aproximadamente el 6%.

El total de fino de cobre extraído anualmente en el Perú es aproximadamente 450,000 T.M. por año, de las cuales:

- 150,000 T.M. son de cobre refinado producido por Southern Peru Copper Corp., provenientes de Cuajone y Toquepala y refinados en la refinería de Minero Perú en Ilo, totalmente para exportación como cátodos.
- 54 000 T.M. producidas por Centromin Perú en la Oroya, de las cuales 30,000 T.M. son producidas en forma de alambón exportándose el 80%, y 24,000 T.M. en forma de wire bars de los cuales se exporta 75%. Para esto Centromin extrae 40,000 T.M. y adquiere 14,000 T.M. de la pequeña y mediana minería.

Entonces se puede concluir, que de las 450,000 T.M. que se producen anualmente se exporta 236.000 T.M. en forma de concentrado, 150,00

T.M. en forma de cátodos de altísima calidad, 24 000 T.M. en forma de alambrones o alambres emielaborados y 18,000 T.M. como wire bars. Quedando en el país aproximadamente 22,000 T.M. de las cuales 6,000 T.M. de alambrón para fabricación de conductores eléctricos, 6,000 T.M. de wire bars y 10,00 T.M. de otros procesos de fabricación por Minero Perú para el uso de las aleaciones, fundiciones, y productos químicos de donde se exporta aproximadamente el 30%.

CONCLUSIÓN:

Las 450 000 T.M. que se producen al año sólo 1 000 quedan en el país, esto es aproximadamente el 3.3%. Sería entonces muy conveniente incrementar el valor agregado del 96.7% restante.

2. Al evaluar el cobre como insumo fundamental se puede decir que éste no guarda una composición estable, lo cual ocasiona dificultades durante el proceso de fabricación. El principal defecto es la dureza variable en que se suministra, lo cual se supera mediante un tratamiento térmico intermedio a los procesos de fabricación ocasionando esto

d s con inuidades en la producción. Un método de soluc ón sería realizar un control de calidad del alamb rón recepcionado, y clasificarlo según sus características.

3. Recomiendo tanto para el tipo de horno de campana así como los de mufla al vacío se deje de usar exclusivamente vacío en reemplazo del CO₂, debido a su suficientes p opiedades inertes, y a su razonable costo.

4. Balance Térmico:

- Calor absorbido por la masa del horno.	16,798.5 KJ	14.8%
- Calor absorbido por el cobre	71,455.9 KJ	63.04%
- Calor absorbido por el carrete	4,268.7 KJ	3.76%
- Calor absorbido por la mufla	5,290.5 KJ	4.66%
- Calor perdido través de las paredes	9,387.6 KJ	8.27%
- Calor perdido a través de las aletas	6,209.3 KJ	5.47%

	113,400.6 KJ	100 %
	=====	

Potencia Nominal X Tiempo de ciclo=7 K x 16,500 Seg
=115,500 KJ

=====

Nota

1. Cuanto más grande el horno mejora su eficiencia.
2. Según el Manual de Marks, este tipo de horno es capaz de procesar de 10 a 25 libras de cobre por KWH es decir

25 lb./KWH 7 KW x 4.58 H x 1 Kg./2.2 lb.
= 364.3 KG. de Cobre.

10 lb./KWH x 7 KW x 4.58 H x 1 Kg. 2.2 lb.
= 145.7 KG. de Cobre.

El Horno del presente estudio, trabajado satisfactoriamente has con 380 KG. de Cobre, y en caso específico evaluado térmicamente. con 294 KG.

5. En la operación de decapado, para un volumen de 3 712 litros y peso específico inicial de la solución de 1,168 KG./m.

Considerando que la masa de la solución contenida permanece constante, y habiendo decapado 164,560 KG de Cobre en ese tanque, ha habido una pérdida de

Cobre de aproximadamente 259.7 KG. equivaliendo esto a 0.157% del total de Cobre, y una formación de Sulfato de Cobre de aproximadamente 690.2 KG.

En el baño de pasivado bajo las mismas consideraciones de masa constante y cantidad de alambros procesado se puede afirmar:

Que la pérdida del Cobre equivalente al o sea 2.86 KG. en polvo de Cobre y 7.9 KG. Sulfato de Cobre ha sido encontrada, presumiblemente acarreada por los rollos de alambros luego del decapado y su posterior lavado a presión.

La utilización de resistencias eléctricas como medio de calefacción, en lugar de cualquier otra fuente de calor.

6. Escogida la potencia de las resistencias para cada poza en 40 KW., para un ciclo que se estima en 0.33 H. (ver Figura 36), tendremos que entregar debido a las diversas disipaciones de calor:

1.72 KW para compensar las paredes (no incluye cálculo por superficie libre)

3.3 KW para compensar el calor ganado por el Cobre.

2.83 KW para compensar el calor ganado por el gancho.

La suma de esta potencia es 39.85 kW.

Como el tiempo de calentamiento de la poza ha sido estimado en 4.3 H. y esta operación se realizará una vez por semana, la potencia cumple satisfactoriamente.

Además se puede comentar que el decapado puede realizarse a temperatura ambiente, alargándose el tiempo de proceso sin embargo, por consideraciones metalúrgicas es mejor decapar sobre la temperatura ambiente.

7. Con respecto a los equipos seleccionados puedo afirmar lo siguiente:

La línea de decapado se escogió por ser el método de menor inversión, y de tecnología más difundida en el país.

La línea de trefilado se escogió por ser versátil en cuanto a rango de productos a fabricar esto es, desde 1 AWG. a 15 AWG., que son parte del pronóstico de demanda considerado para el presente trabajo.

Además de ser robusta, confiable y de marca difundida. El fabricante de estos equipos posee una red mundial de representantes donde se cuenta con respaldos y servicios.

La línea de tratamiento térmico fue escogida

escogida debido al buen resultado obtenido experimentalmente, además de cumplir con la capacidad necesaria para el proyecto.

Además se puede observar la pequeña incidencia que tiene el costo total de los equipos, (\$ 730,000) amortizables en 10 años, con relación al capital de trabajo que es del orden de (\$ 16'790,630) para el mismo periodo de trabajo, y para un promedio anual de (\$ 1'865,848).

Se concluye entonces que no se debe considerar el valor de los equipos como un factor decisivo en el desarrollo de la línea de trefilado, pero tampoco se debe exagerar en el gasto al adquirir equipo factible de desarrollar en nuestro medio.

- 8 La conclusión más importante la que se llega después de realizar numerosos ensayos destructivos en el laboratorio 4 de nuestra Universidad es la siguiente: una vez trefilado una muestra de Aluminio de Cobre, de 5/16 P lg. de diámetro hasta 3.7 mm. de diámetro mediante dos métodos distintos, uno se realizó mediante catorce etapas de trefilado y fue llamado "A", otro mediante cuatro etapas de trefilado y fue llamado "B", luego una porción de

las muestras "A", y se le sometió al tratamiento térmico de recocido, dando formación a un tercer grupo llamado "A1".

De los cuatros de ensayo de laboratorio que se encuentran en el Apéndice y de los promedios de sus resultados podemos concluir en lo siguiente:

MUESTRA	ESFUERZO DE ROTURA (Kg/mm ²)	% DE ALARGAMIENTO	FUERZA DE ROTURA (Kg)
A	39.136	1.570	206.6
B	43.742	1.275	226.0
A1	22.822	41.073	157.4
H	41.62	1.570	----

Nota: La muestra H es el resultado obtenido luego de trefilar el alambón de Cobre bajo las condiciones normales de trabajo siguiendo la relación de los números AWG., en 8 etapas de trefilado.

La muestra H equivale al número 7 AWG.

La velocidad de trefilado durante el ensayo fue de 500 mm./min.

9. Luego de haber definido la planta y evaluado la inversión procedí en el Capítulo V, a costear cada uno de los 10 rubros principales allí señalados,

separando los resultados de la actividad industrial pura de la de servicios, pues cada uno tiene una distinta estructura de costos.

10. De los elementos del costo, el rubro 5 o sea "Materia prima y Materiales diversos" es el más significativo de los 9 años evaluados en el presente trabajo variando desde 87.56% como mínimo en el año 2 a 90.16% en el año 9, esto implica que la presente inversión está mayoritariamente cargada hacia el capital de trabajo.

Tal como lo mencioné en la Introducción, hago nota que lo más importante para realizar un proyecto de esta naturaleza es contar con la materia prima debido a su alta incidencia en el cuadro de costos.

11. En cuanto a los costos industriales por kilo de alambre producido incluyendo materia prima estos varían desde \$ 2.6151 en año 1, decreciendo hasta \$ 2.3401 en año 9, siendo ambos razonables para los niveles estándares industriales. Dichas cifras guardan una relación costo/materia prima de: 1.2453 por el año 1, y 1.1092 para el año 9.

12. En cuanto a los costos por la actividad de servicio son todavía menores ya que no inciden sobre ellos el costo del capital de trabajo, ni la labor administrativa de compras, la materia prima y hay veces el transporte, variando desde \$ 0.1127 el año 2 a \$ 0.0768 el año 9.

13. En cuanto al precio de venta de los productos a fabricar mencionado en el presente estudio es de \$ 4.00 por cada kilo (sin incluir I.G.V.), podemos apreciar de esto una alta rentabilidad:

$$\text{Para el año 1} \dots \frac{(4 - 2.6151)}{4} \times 100 = 34.62\%$$

$$\text{P r el año 9} \dots \frac{(4 - 2.3401)}{4} \times 100 = 41.49\%$$

BIBLIOGRAFIA

- AN EXAMINATION OF COPPER ROD AND WIRE DEFECTS.
R.V. Alson and SL Pohlman.
- ANNUAL BOOK OF ASTM. STANDARDS.
Section 2 Nonferrous Metal Products.
Volume 02.01 Copper and Copper Alloys - ASTM.
- ANALISIS EMPRESARIAL DE PROYECTOS INDUSTRIALES
EN PAISES EN DESARROLLO.
CEMLA :Centro de Estudios Monetarios
L tinoamericanos.
- CURSO DE TECNOLOGIA DE FABRICACION DE CONDUCTORES.
Ing. Fernando Figueroa Z.
- CONFORMADO DE LOS METALES.
G offr y W. Rowe.
Tr ducido por José M. Jiménez Moreno - Ediciones
Urmo.
- DISE O DE ELEMENTOS DE MAQUINAS.
Ju n J. Hori Asano - Prof. Principal - Departamento
d En rgía y Mecánica. Universidad Nacional de
Ing niería.
- E. H. CHIA, "WIRE BREAKS IN COPPER", WIRE JOURNAL,
February 1, 1976.
- EL LABORATORIO DEL INGENIERO MECANICO.
JESSE SEYMOUR DOOLITTLE
- ELECTROTECNIA LEYES GENERALES Y MAQUINAS.
A. Daschler/M Jeanrenaud.
- ENGINEERING. CONVERSION. FACTORS.
Sistemas
Int rn cional SI
Métrico, Inglés

- FABRICACIONES METALICAS SIN ARRANQUE DE VIRUTA.
Manual del Ingeniero Técnico - Ediciones Urmo.
J. FLIMM.

- FOLLETOS DE INDECO. PERUANA S.A.

- FUNDAMENTALS OF HEAT THANSFER
Lindon C. Thomas.

- FUNDAMENTALS OF MANUFACTURING.
Processes and Materials.
C rroll Edgar... University of Delaware.

- HAND BOOK OF COMPRESSED GASES
Compre s d Gas Association, Inc... New York, New
York.
V.N.R. - Van Nostrand Reinhold Company

- INTRODUCCION AL ESTUDIO DEL TRABAJO
Oficin Internacional del Trabajo Ginebra

- INTRODUCCION A LA DEFORMACION PLASTICA
Ulises T. Huamán Ladera.

- MANUAL DEL INGENIERO MECANICO
MARKS (Octava Edición en Inglés) Segunda Edición en
Español.
- Theodore Baumeister III
- Eugene A. Avallone.
- Theodore Baumeister

- MATERIALES PARA INGENIERIA
V n Vlack ... C.E.C.S.A.

- MANUAL PRACTICO DE CALCULOS DE INGENIERIA
Tyl r G. Hicks.
Editorial R verté, S.A.

- NONFERROUS WIRE HANDBOOK (Volumen 1 y 2) Bare Wire
Processing.

- PROCEDIMIENTOS DE FABRICACION Y CONTROL. Volumen I
II
LASHERAS ARIAS.

- PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR
Donald Q. Kern ... 8va. Impresión C.E.C.S.A.

- PROYECTO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS.
M. F. SPOTTS
Editorial Reverte, S.A.

- TECNOLOGIA DE LOS MATERIALES INDUSTRIALES
 - Jo M. Lasheras Esteban
 - Jo M. Sánchez - Marin Pizarro

- THE WIRE ASSOCIATION INTERNATIONAL.
Electric Wire Handbook

- WIRE AND WIRE PRODUCTS
Year Book of The Wire Association, Inc.
Edition 1967.