

Universidad Nacional de Ingeniería

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**“ Diseño de una Trefiladora Múltiple para Producir
Alambre a partir de Alambrón de
Cobre de 5/16” de Diámetro ”**

T E S I S

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO MECANICO

FORTUNATO ALVA DAVILA

PROMOCION: 1984 - 2

LIMA • PERU • 1988

INDICE

| | Página |
|--|--------|
| PROLOGO ----- | 1 |
| CAPITULO I ----- | 4 |
| 1.0. INTRODUCCION ----- | 4 |
| CAPITULO II ----- | 7 |
| 2.0. Descripción del proceso de trefilado --- | 7 |
| 2.1. Decapado del alambrón ----- | 7 |
| 2.1.1. Decapado mecánico ----- | 7 |
| 2.1.2. Decapado químico ----- | 10 |
| 2.2. Definición del proceso de trefilado ---- | 19 |
| 2.2.1. Proceso de manufactura del alambre --- | 25 |
| 2.3. Recocido del alambre ----- | 27 |
| 2.3.1. Recocido de cristalización y contra acritud ----- | 33 |
| 2.3.2. Proceso del recocido del cobre ----- | 35 |
| CAPITULO III ----- | 37 |
| 3.0. Análisis de las variables que intervie - nen en el trefilado del alambre ----- | 37 |
| 3.1. Características del material a trefilar | 37 |
| 3.1.1. Generalidades ----- | 37 |
| 3.1.2. Definición del cobre ----- | 39 |
| 3.1.3. Tipos de cobre ----- | 39 |
| 3.1.4. Formas comerciales ----- | 41 |
| 3.1.5. Propiedades físicas ----- | 42 |
| 3.1.6. Propiedades mecánicas ----- | 49 |

| | | |
|-------------------|--|----|
| 3.2. | Variación de las características del material con el trefilado ----- | 51 |
| 3.2.1. | Teoría de la plasticidad ----- | 52 |
| 3.2.1.1. | Curvas de fluencia ----- | 53 |
| 3.2.1.2. | Deformación real ----- | 56 |
| 3.2.1.3. | Criterios de fluencia en materiales ductiles ----- | 57 |
| 3.2.2. | Endurecimiento por deformación en frío | 60 |
| 3.3. | Determinación de la potencia y velocidad | 62 |
| 3.3.1. | La fuerza y tensiones en el trefilado | 62 |
| 3.3.2. | La potencia de trefilado' ----- | 78 |
| 3.3.3. | Velocidad de trefilado ----- | 80 |
| 3.4. | Lubricación en el proceso de trefilado -- | 82 |
| 3.4.1. | Transferencia del metal ----- | 84 |
| 3.4.2. | Efectos beneficiosos del rozamiento | 86 |
| 3.4.3. | Principios fundamentales de la lubricación ----- | 86 |
| 3.4.3.1. | Lubricación hidrodinámica y de película gruesa ----- | 87 |
| 3.4.3.2. | Lubricantes de capa límite y de presión extrema ----- | 88 |
| 3.4.4. | Sistema de lubricación o refrigeración | 91 |
| CAPITULO IV ----- | | 93 |
| 4.0. | Tipos de trefilado y selección del sistema más adecuado ----- | 93 |
| 4.1. | Trefilado con resbalamiento ----- | 94 |
| 4.2. | Trefilado sin resbalamiento ----- | 96 |
| 4.3. | Selección del sistema más adecuado ----- | 97 |

| | | |
|------------------|--|-----|
| 4.3.1. | Parámetros de selección ----- | 97 |
| 4.3.2. | Cálculo del deslizamiento ----- | 100 |
| CAPITULO V ----- | | 104 |
| 5.0. | Diseno de la máquina trefiladora múltiple | 104 |
| 5.1. | Consideraciones para el cálculo y diseño de los componentes de la trefiladora --- | 104 |
| 5.2. | Determinación de la potencia del motor principal ----- | 105 |
| 5.3. | Diseño del jalador (Capstan) ----- | 120 |
| 5.3.1. | Determinación de los diámetros de las poleas de los jaladores A y B ----- | 121 |
| 5.4. | Diseno de la transmisión por cadenas --- | 125 |
| 5.5. | Diseno de los dados ----- | 126 |
| 5.5.1. | Material de los dados ----- | 127 |
| 5.5.2. | Consideraciones en el diseño de dados | 129 |
| 5.5.3. | Mantenimiento de los dados ----- | 133 |
| 5.6. | Determinación de la potencia en el enro llador ----- | 134 |
| 5.7. | Cálculo de las cargas sobre los ejes A y B ----- | 141 |
| 5.8. | Cálculo de los ejes ----- | 144 |
| 5.9. | Selección de los soportes para rodamien tos con manguito de fijación ----- | 148 |
| 5.10. | Selección del motor principal de la tre filadora ----- | 152 |
| 5.11. | Selección del reductor de velocidad --- | 153 |
| 5.12. | Selección del motor para el enrollador | 153 |
| 5.13. | Selección del limitador de torque para el enrollador ----- | 154 |

| | | |
|--------------------------------------|---|-----|
| 5.14. | Selección de los acoplamientos ----- | 158 |
| 5.14.1. | Entre motor eléctrico y el reductor | 158 |
| 5.14.2. | Entre el reductor y el eje del tam bor de arrastre ----- | 159 |
| CAPITULO VI ----- | | 160 |
| 6.0. | Evaluación económica ----- | 160 |
| 6.1. | Determinación del costo de la máquina | 160 |
| 6.1.1. | Costo de los equipos ----- | 163 |
| 6.1.2. | Peso de las planchas y sus partes -- | 163 |
| 6.1.3. | Costo de la carcasa y partes ----- | 165 |
| 6.2. | Análisis comparativo de fabricación lo cal, respecto a la importación de la trefiladora ----- | 166 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ----- | | 168 |
| BIBLIOGRAFIA ----- | | 174 |
| PLANOS | | |
| APENDICE | | |

PRÓLOGO

Este trabajo titulado "CALCULO Y DISEÑO DE UNA TREFILADORA MULTIPLE PARA PRODUCIR ALAMBRE DE COBRE A PARTIR DEL ALAMBRO DE COBRE DE 5/16" DE DIAMETRO", está desarrollado en base a la aplicación teórica y práctica realizada por las diferentes entidades y personas que en forma individual se han dedicado a la investigación, así llegaron a contribuir con el avance tecnológico de la trefilación del alambre de cobre para conductores eléctricos.

Se han desarrollado métodos simplificados para la determinación de la fuerza de estirado del alambre a través dado en función del ángulo de ataque, coeficiente de fricción entre el alambre y el dado, el porcentaje de reducción de la sección.

En el capítulo 2 se presenta una descripción general del proceso de trefilado, empezando con los pasos previos al mismo, así como la operación del decapado y su importancia en la vida de los dados, también se ve el proceso de recocido como una operación fundamental en el trefilado.

En el capítulo 3, estudiamos las características generales del cobre, las clases de cobre, las propiedades del cobre electrolítico, este tipo de cobre es el usado como conductores eléctricos, por sus cualidades de alta conduc

tividad eléctrica. La variación de las propiedades del cobre con el proceso de trefilado, incluimos los resultados obtenidos del ensayo de tracción realizado en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Mecánica.

También se han agregado tablas y gráficos elaborados por la American Wire Gauge (AWG) para el cálculo de la potencia necesaria para pasar el alambre a través del dado, esto es para todos los calibres AWG. Asimismo tratamos el tema de la lubricación en el proceso del trefilado.

En el capítulo 4, estudiamos en forma somera los tipos de trefilado, sus ventajas y desventajas de cada uno de ellos seleccionando el tipo más adecuado.

En el capítulo 5, se trata esencialmente sobre el diseño de la trefiladora, en esta parte calculamos los ejes de transmisión, diseñamos los tambores de arrastre o jaladores, seleccionamos el reductor, los acoplamientos, motor eléctrico, la transmisión por cadena de rodillos, seleccionamos los equipos auxiliares, etc.

En el capítulo 6, se determina el costo estimado de la trefiladora, también se hace un somero análisis del costo de fabricación local versus importación.

Debo agradecer muy de veras a mi amigo Rafael Maggiolo Dibós, quien en forma desinteresada me facilitó sus instalaciones de la planta de trefilado para realizar este tra

bajo.

Quiero expresar particularmente mi gratitud al ingeniero Juan José Hori Asano, actual Decano de la Facultad de Ingeniería Mecánica, por su valiosa orientación en el asesoramiento de esta tesis.

CAPITULO I

1.0. INTRODUCCION

La trefilación es un proceso por el cual se reduce el calibre (sección transversal) de un alambre a calibres menores. Este proceso se lleva a cabo totalmente - en frío, no requiere ningún calentamiento previo.

Actualmente se trefilan diversos materiales, los más comunes son el acero, cobre, aluminio, etc. Cada uno de estos materiales tiene una función específica, por ejemplo el acero es trefilado y luego cableado, formando los cables que sirven para soportar puentes o levantar cargas en las grúas, en los amarres de las construcciones - civiles. El aluminio también es trefilado y cableado para fabricar cables de alta tensión muy livianos, por medio de estos cables es posible reducir el número de torres en instalaciones aéreas.

En esta tesis sólo se tratará del diseño de una trefiladora múltiple, para la trefilación de cobre. El cobre - es uno de los pocos metales que es empleado comercialmente en forma casi pura, más que en forma de aleación, es esencial en la industria eléctrica de hoy en día, la razón de esta preferencia es por su alta conductividad eléctrica, el cobre tiene la más alta conductividad eléctrica que cualquier otro metal, siendo superado en este as

pecto, solamente por la plata.

El tipo de cobre más utilizado en la industria eléctrica es el cobre bien refinado ETP (Electrolytic Tough Pith), este tipo de cobre combina las buenas propiedades necesarias y la alta conductividad eléctrica a un costo menor. Altamente puro, es tan dúctil, que es difícil determinar la existencia de un límite más allá del cual no puede ser trabajado en frío, el cobre también tiene una excelente resistencia a la corrosión.

La trefilación es uno de los pasos más importantes en la fabricación de cables, debido a que fallas en la trefilación, tendrían como consecuencia roturas en el alambre al ser cableado. Estos cables son fabricados en el Perú desde muchos años atrás y su importancia se hace cada vez mayor, debido a su mayor demanda por la expansión urbanística, tendido de cables de alta tensión en subestaciones, etc. todas ellas requieren cables subterráneos para su consumo de energía eléctrica y cables telefónicos. También la industria pesquera requiere cables submarinos, para llevar energía eléctrica, desde la planta hasta la balsa donde se hallan instalados los succionadores de pescado.

Además el alambre de cobre sólido forrado con plástico (PVC) se utiliza para todas las instalaciones, ya sea de casas o edificios.

Los dos sistemas de tablas de calibres de alambres de cobre que se usarán en esta tesis, son similares, estos son el BROWN Y SHARP (B y S) y el AMERICAN WIRE GAUGE (AWG)

Los cálculos para el diseño de la trefiladora múltiple - estarán basados en los diferentes gráficos y tablas, según los estudios realizados por el American Wire Gauge. En estas tablas los conductores han sido tabulados y numerados de acuerdo a su sección y empiezan con el calibre 0000, cuatro ceros (4/0), que es el de mayor sección para ir disminuyendo, así también aumentará su número.

CAPITULO II

2.0. DESCRIPCION DEL PROCESO DE TREFILADO

2.1. DECAPADO DEL ALAMBRON

Generalmente en trefilería se utiliza alambre procedente de los trenes de laminación en caliente. Normalmente viene recubierto de una capa de escamas de óxido, de espesor variable, según la temperatura a que haya sido laminado y de las condiciones de enfriamiento a que haya sido sometido.

El primer proceso a que ha de someterse el alambre, antes de trefilarlo, es la limpieza o desprendimiento de la cascarilla de óxido, sino se realiza este trabajo previo, no se obtendría un alambre limpio y exento de estrías y además sería más perjudicial a la vida de las hileras por su desgaste rápido. Este proceso preliminar de limpieza, recibe el nombre de DECAPADO.

Existen dos procedimientos de decapado, el mecánico y el químico.

2.1.1. Decapado mecánico

Esta operación consiste en someter el alambrón a sucesivas flexiones sobre rodillas de acero en dos fases, la primera haciendo pasar por un sistema de rodillos que

brantadores con los ejes de rotación en planos perpendiculares, los cuales provocan la rotura de la mayor parte de la calamina procedente de laminación y la segunda jornada por unos rodillos en forma de enderezador, los cuales pueden flexionar más o menos el alambre terminando de romper la calamina y desprendiéndose la mayor parte de la misma.

La limpieza del material, una vez rota la calamina en los rodillos decapadores, queda garantizada por unos cepillos giratorios de púas de acero, los cuales, además de movimiento de rotación alrededor de su propio eje, están sometidos a un movimiento planetario alrededor del alambre.

La calamina desprendida y depositada en el fondo de la máquina, es recogida mediante un cajón dispuesto para tal efecto. Una ventaja muy especial del decapado mecánico, se basa en el hecho de que el alambre laminado puede ser procesado sin requerir trabajos previos de ninguna clase, es decir pasa directamente desde el almacén a la máquina de trefilar. Llama la atención de que la superficie del alambre, permanece más blanda que en el caso del decapado químico. La causa hay que buscarla en la ausencia de la fragilidad producida con el decapado químico a causa de la acumulación del hidrógeno atómico. Como la resistencia al doblado depende, en sumo grado, de la estructura de las fibras exteriores, se produ-

ce con el decapado mecánico un mejoramiento en la calidad de los productos finales. Esta ventaja se traduce durante el proceso de trefilado en forma favorable, pues es posible realizar unas cuantas pasadas más hasta el siguiente recocido, esto ocurre más que nada en el trefilado del alambre de acero.

El producto final decapado mecánicamente se obtiene con uniformidad siempre satisfactoria, pudiéndose garantizar que en todo caso, los alambres podrán ser rebajadas de sección en forma impecable hasta las menores dimensiones y proseguir su elaboración, si se emplea el medio apropiado de estiramiento.

El mantenimiento de una decapadora mecánica es muy sencillo y no precisa conocimientos especiales. Para colocar el alambre laminado no existen dificultades. La cascarilla desprendida durante el proceso de decapado, suele ser de 1 a 1.5% del peso del alambre laminado. La cascarilla del alambre laminado puede aprovecharse para un nuevo empleo y ello a un precio relativamente favorable.

Mediante la venta de la cascarilla obtenida, se puede garantizar un buen porcentaje de la amortización del precio de la máquina en tiempo relativamente muy corto.

Cuando se desea un servicio continuo se puede trabajar con una devanadora de varias partes que para tales efectos poseen las decapadoras, de esta forma se pueden sol

dar, durante el servicio, los extremos del anillo del alambro, últimamente colocado con los del anterior, por medio de una máquina de soldar a tope.

2.1.2. Decapado químico

Esta operación físico-química, consiste en sumergir los rollos dentro de un baño ácido no oxidante con el fin de que este ácido actúe como agente físico, provocando el desprendimiento de la película de óxido que recubre el material y actúe químicamente disolviendo este óxido.

La película superficial del óxido, generalmente es discontinua y al ser introducido el alambro en el baño ácido, éste penetra por las fisuras o porosidades atacándolo y desprendiendo una importante cantidad de hidrógeno. La presión del hidrógeno que se forma debajo de la capa de óxido, obliga a que éste se desprenda en partículas que se sedimentan en el fondo del depósito. Al mismo tiempo ataca directamente la película superficial de óxido provocando su disolución.

Existen dos tipos principales de baños: el ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico.

a. Decapado por ácido clorhídrico.

Normalmente es utilizado para los aceros recocidos.

En este baño es predominante la disolución del óxido por ataque directo del ácido, al mismo tiempo que la

gran solubilidad en la disolución ácida del cloruro que se forma, lo que facilita la limpieza del alambre.

b. Decapado por ácido sulfúrico.

Este sistema se utiliza normalmente para los materiales procedentes de laminación.

El ácido sulfúrico ataca principalmente el metal; en cambio su acción directa sobre el óxido no es muy importante a causa de su lentitud.

Para lograr una mayor rapidez en el decapado, la temperatura del baño se eleva hasta 63°-68°C, con ello

se consigue que el óxido se disuelva más rápidamente en el baño y al mismo tiempo se aprovecha más la acción del mismo.

EFFECTOS NOCIVOS DEL DECAPADO SOBRE EL ALAMBRE.

El más grave es la fragilidad superficial que adquiere el material, provocada por la difusión del hidrógeno desprendido en su masa, alterando sus propiedades mecánicas. Este inconveniente se subsana dejando el material después del decapado 2 a 3 días a la temperatura ambiente, con el fin de que el hidrógeno se libere lentamente, o bien recalentándolo por un corto tiempo en un horno a baja temperatura.

Un decapado insuficiente deja el material poco limpio, con partículas de óxido adheridas a su superficie, las -

cuales rayan la hilera o se acumulan en su interior provocando el rayado del alambre.

MODERADOR O PASIVADOR.

Con el fin de evitar en lo posible la pérdida del material por ataque del ácido, al baño de decapar se agrega un moderador que elimina la acción del ácido sobre el material, sin mermar sus efectos sobre el óxido, consiguiéndose a la vez que una disminución de las pérdidas sea un considerable ahorro del ácido. Actualmente son varios - los productos líquidos o en polvo que se venden ya preparados en el comercio y de fácil aplicación.

Otras ventajas del moderador son la disminución de la fragilidad del material, la disminución de vapores nocivos, una mayor conservación de los locales de decapado y una economía considerable del ácido y del metal.

BAÑOS EMPLEADOS.

Generalmente se utiliza el ácido sulfúrico en el decapado del alambrón y materiales sólidos de laminación, limitándose el clorhídrico para hilos finos o a la preparación de hilos destinados a ser galvanizados o estañados.

A continuación se indican algunas de las soluciones ácidas comunmente empleadas en las operaciones de decapado en general, para diferentes materiales:

TABLA N° 1.1

| MATERIAL A DECAPAR | SOLUCION ACIDA | CONCENTRACION | TEMPERAT. |
|----------------------------------|-------------------|---------------|-----------|
| Acero dulce | Acido sulfúrico | 10-15% | 60-65°C |
| Acero trefila <u>do</u> recocido | Acido clorhídrico | 10-20% | ambiente |
| Acero semiduro | Acido sulfúrico | 5-6 % | 50-55°C |
| Acero duro | Acido sulfúrico | 5-6% | 15-20°C |
| Cobre | Acido sulfúrico | 20-24% | 70-80°C |
| Latón | Acido sulfúrico | 20-23% | 70-90°C |
| Acero al niquel | Acido nítrico | 8-10% | 60-70°C |
| Acero al cromo | Acido sulfúrico | 10% | 60-70°C |

Ref.: Trefilación de
cobre T.B.
ALLEN BAZAN

TIEMPOS DE INMERSION.

El tiempo de inmersión depende de muchos factores, tales

como:

1. Concentración del bano
2. Utilización del bano
3. Temperatura del baño
4. Concentración del sulfato en el baño
5. Composición y estado del material a deca -
par.

Una concentración aproximada de ácido del 20 al 30% en peso, tanto en frío como en caliente es la que provoca la máxima velocidad de reacción del baño. La continua -
utilización del baño produce la disminución de su actividad

dad. La actividad del baño aumenta proporcionalmente con la temperatura del mismo.

La solubilidad del óxido en el baño es máxima hacia los 60°C, por consiguiente esta temperatura es la que parece más indicada para el decapado sulfúrico industrial.

Según Bablick, los tiempos necesarios para decapar, función de la concentración del baño y de la temperatura son aproximadamente los siguientes:

TABLA N° 1.2

| Baño | Temperatura del baño | Concentración del baño (en peso: %) | | | | | | |
|-------------------|----------------------|-------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 40 |
| Acido sulfúrico | 18°C | 135' | 120' | 95' | 80' | 65' | 75' | 95' |
| | 40°C | 45' | 32' | - | - | - | - | - |
| | 60°C | 13' | 5' | - | - | - | - | - |
| Acido clorhídrico | 18°C | 55' | 18' | 15' | 10' | 9' | 9' | 9' |
| | 40°C | 15' | 6' | - | - | - | - | - |
| | 60°C | 5' | 2' | - | - | - | - | - |

Ref.: Trefilación de cobre T.B. ALLEN BAZAN

Aunque en la práctica suelen ser algo mayores. De todas formas el tiempo de inmersión del alambre en el baño ácido no puede ser establecido a prioridad de una manera general, debiendo determinarse en cada caso sobre la marcha, según el material y estado de baño.

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES SOBRE EL DECAPADO.

Los alambres procedentes de laminado presentan una grue

sa capa de óxido no uniforme y poco adherida, en cambio los alambres trefilados y recocidos presentan la capa de óxido muy delgada, pero fuertemente adheridas.

Generalmente los alambres procedentes de laminado se decapan en caliente, reservándose el decapado en frío para hilos trefilados y recocidos que hayan de seguirse trefilando en húmedo o tengan que galvanizarse en el caso del acero.

Normalmente se utiliza más el ácido sulfúrico que el clorhídrico, especialmente en el cobre.

Se recomiendan utilizar ácidos puros, pues si contienen ligeras impurezas (arsénico, antimonio, etc) provocan dificultades en posteriores trefilados, sobre todo si se trata de alambre de hierro o acero.

Es altamente importante disponer de un densímetro para preparar y controlar las concentraciones del baño y poderlo verificar después de cada proceso de trabajo para dictaminar cuando ha perdido sus propiedades.

Siempre se debe verter lentamente el ácido sulfúrico en el agua y nunca éste en el ácido.

Efectuando el decapado del hierro y acero en idénticas condiciones de temperatura, concentración del baño, tiempo de inmersión y demás factores, la pérdida de peso del material por unidad de superficie es más elevada en el decapado de aceros duros o aleados, que en los aceros

dulces o fermachines.

Esta pérdida de peso no es proporcional al % de elementos combinados con el hierro, como manganeso, azufre, - fósforo, silicio, etc.

Un acero bien decapado, después de la operación presenta un color gris atruchado que indica que el decapado es perfecto.

LAVADO.

Posteriormente al decapado se ha de efectuar un lavado - energético del material para eliminar el ácido y alguna sal que haya podido quedar adherida al alambre, para ello se sumerge en un baño de agua fría (basta poco tiempo) completándose la limpieza mediante un intenso chorro de agua a presión.

BANO NEUTRALIZADOR

Finalmente es necesario introducir los rollos en un baño neutralizador con el fin de depositar en la superficie del alambre, una capa de sustancia, cuyas propiedades físicas o químicas mejoren la adherencia del lubricante sobre el metal, neutralizan cualquier indicio de acidez que hubiera podido quedar, lo preservan de la oxidación y al mismo tiempo tiene la ventaja de comunicar a la superficie del alambre ciertas cualidades (según sea la clase de baño neutralizador que se use) que facilitan las condiciones del trefilado posterior. El baño neutro puede hacerse también en caliente o en frío, pero

resulta altamente económico y productivo prepararlo en caliente.

CLASES DE BANOS NEUTROS.

Los más comunmente empleados son el encalado, el fosfata do, el sulfatado, etc. El encalado consiste en deposi - tar sobre el alambre una capa adherente de cal. A este efecto se introducen los rollos de alambre en una lecha da de cal preparada con 10/15 Kgs de cal por 100 litros de agua a la temperatura de 90/95°C. Posteriormente, pa ra conseguir una buena adherencia del lubricante, las partículas de cal deben ser pequeñas (pueden añadirse a go de silicato de sosa) y el secado después del baño de be hacerse rápidamente y a temperatura bastante elevada.

Después del proceso de lavado y antes del encalado es conveniente dar al material un baño de cal débil (concen tración al 2%) con el fin de eliminar la acidez que pu diera quedar en el alambre después del lavado incompleto.

El fosfatado consiste en envolver la superficie del alam bre con pequeños cristales de fosfatos metálicos. El ba ño se prepara con ácido fosfórico y sales de diversos me tales. Este sistema se utiliza preferentemente para tre filar aceros al carbono.

Otro sistema consiste en cubrir la superficie del alam bre con cristales de oxalatos en vez de fosfatos. Este sistema se reserva para los aceros aleados que no sean a

tacados por el ácido fosfórico.

SECADO.

Una vez neutralizado el alambre debe procederse rápidamente al secado del mismo a fin de evitar la oxidación. Es muy recomendable el empleo de estufas (de las cuales hay diversos tipos y con diferentes características). Algunos aprovechan el aire calentado en hornos de recocer. La operación consiste en introducir los rollos durante unos minutos en un secador a temperatura entre 200/300°C, con ello se consigue además eliminar por dilatación, las partículas gaseosas de hidrógeno que hayan quedado en la masa superficial del metal al ser decapado (que lo hacen frágil) y al mismo tiempo suprimir las tensiones internas.

Una vez extraídos los rollos del secador conviene dejarlos reposar por lo menos 24 horas, con el objeto de que se produzca la homogenización de las tensiones internas del alambre. Si no se dispone de estufas, da buen resultado colocar los rollos de alambre cerca al horno de recocer, en este caso es conveniente dejarlos reposar 4 5 días antes de trefilarlos a fin de que el material pueda estabilizarse perfectamente.

INSTALACION DE DECAPADOR.

La instalación mínima consta de 3 depósitos o cubas de forma rectangular, uno para el baño ácido, otro para el

lavado y un tercero para el baño neutro. Las dimensiones de estos tres depósitos dependen de:

- El diámetro de los rollos a decapar que determinará la anchura y profundidad del depósito.
- De la cantidad de material que debe ser decapado en cada operación que fijará la longitud del depósito.

El depósito destinado a baño de decapar, debe ser construido en material resistente al ácido que se utiliza o de mampostería corriente con revestimiento interior de cemento anticácido, plomo o polivinilo (para el caso del ácido sulfúrico), precisándose en este caso una protección de madera.

2.2. DEFINICION DEL PROCESO DEL TREFILADO

La trefilación es un proceso por el cual se reduce progresivamente la sección del alambre hasta llegar al diámetro deseado. Para esto se dispone de una polea giratoria (tambor de arrastre), alrededor de la cual se enrolla el alambre que ha sido enhebrado a través de una matriz tronco-cónica (dado), cuyo diámetro de salida es menor que el de entrada. La diferencia sustancial entre los procesos de trefilación y laminación, reside en que aquel se realiza totalmente en frío, mientras que la laminación es un proceso de compresión directo, la trefilación es un proceso de compresión indirecto, es decir que primero se aplica una tracción y luego se desarrolla una compresión por efecto de la reacción del dado con el me

tal.

Es necesario efectuar la reducción de área en forma progresiva, por cuanto una reducción brusca causaría la rotura del alambre o en el mejor de los casos, una deformación permanente en la estructura del metal.

Por esto, en la práctica no se efectúan reducciones mayores del 30%, estando la generalidad comprendida entre el 30 y el 20.6%, caso del cobre, esto es que la sección resultante en cada paso es el 75% de la sección precedente y así sucesivamente.

Basándose en estas cifras J.R. BROWN ideó en 1857 la escala Brown & Sharp Gauge, también conocida como la American Wire Gauge (AWG), en la que las dimensiones de los alambres representan aproximadamente los pasos sucesivos del proceso de trefilación.

Al igual que otras escalas, cada paso es denominado "calibre" y el número que lo representa aumenta a medida que el diámetro del alambre disminuye. La escala se formó fijando dos diámetros y estableciendo una ley de progresión geométrica para diámetros intermedios. Los diámetros base seleccionados son 0.460 pulgadas (calibre 4/0) y 0.005 pulgadas (calibre 36). Entre estos hay 38 dimensiones y por lo tanto la relación entre un diámetro cualquiera y el siguiente en la escala está dado por la expresión:

$$\sqrt[39]{\frac{0.460}{0.005}} = 1.22932$$

Ahora, si los diámetros están en la relación de 1.22932 las áreas estarán en la relación de $(1.22932)^2 = 1.26$ y siendo la trefilación un proceso de transformación sin pérdida de volumen, las velocidades también estarán en la relación de 1.26.

Las máquinas trefiladoras modernas del tipo llamado "multitudado", es decir, que con ellas se puede efectuar varias reducciones en serie por medio de tantos tambores de arrastre y dados.

Los dados para trefilar alambre son fabricados de un material duro, usualmente carburo de tungsteno o diamante industrial, que le confiere una relativa larga duración. El ángulo de entrada o reducción varía entre 16 y 20°, - según el diámetro del alambre a trefilar, siendo necesario que a mayor diámetro, mayor sea el ángulo de reducción. La longitud de la zona de deslizamiento es independiente del diámetro del alambre, pero es recomendable aumentarla cuando se requiere un buen acabado, aunque el trabajo de fricción aumenta. Cuando se trata de trefilar alambres destinados a ser esmaltados, es conveniente entonces, trabajar con longitudes de deslizamiento relativamente largas, por cuanto se requiere un acabado óptimo.

Para evitar el rápido desgaste de los dados y el aumento de temperatura por efecto de la fricción, se emplea lubricantes especiales a base de aceites solubles en agua,

cuyo conjunto forma la solución lubricante con que se baña constantemente la superficie del alambre, formando una fina película alrededor del mismo para impedir el excesivo desgaste del dado, cada dado desbasta un calibre AWG, es decir si con un calibre # 4 AWG se quiere hacer un calibre # 8 AWG, se tiene que utilizar 4 dados, cada uno de los cuales desbastará a calibres # 5, 6, 7 y 8 AWG respectivamente. El dado recibe el nombre del calibre que puede trefilar, así si un dado puede trefilar un calibre # 7 a calibre # 8, el dado será el # 8. Al conjunto de dados utilizados para efectuar una reducción se le conoce con el nombre de "ensarte".

La trefilación, como ya se dijo, se basa en la tabla AWG (American Wire Gauge), esta tabla es una progresión geométrica, tanto en las áreas, como en los diámetros de los diferentes calibres.

En el área la razón de proporción es $\sqrt[3]{2} = 1.26$, así - pues $A_1 = 1.26 A_2$ en proporción ascendente.

Por ejemplo: Calibre # 4 Area = 21.15 mm^2

El área del calibre # 3, será:

$$21.15 \times 1.26 = 26.67 \text{ mm}^2$$

El área del calibre # 2, será:

$$21.15 \times (1.26)^2 = 26.67 \times 1.26 = 33.63 \text{ mm}^2$$

El área del calibre # 1, será:

$$21.15 \times (1.26)^3 = 33.63 \times 1.26 = 42.40 \text{ mm}^2$$

ESCALA AWG Y SU EQUIVALENCIA EN EL SISTEMA METRICO

| CALIBRE B & S A.W.G | DIAMETRO NOMINAL mm | AREA DE SECCION TRANSVERSAL mm ² | PESO Kg/Km |
|---------------------------|---------------------------|---|---------------|
| 0000 | 11.684 | 107.219 | 953.2 |
| 000 | 10.405 | 85.028 | 755.9 |
| 00 | 9.266 | 67.431 | 599.5 |
| 0 | 8.252 | 53.480 | 475.4 |
| 1 | 7.348 | 42.409 | 377.0 |
| 2 | 6.544 | 33.632 | 299.0 |
| 3 | 5.827 | 26.670 | 237.1 |
| 4 | 5.189 | 21.151 | 188.0 |
| 5 | 4.621 | 16.773 | 149.0 |
| 6 | 4.115 | 13.301 | 118.3 |
| 7 | 3.665 | 10.548 | 93.78 |
| 8 | 3.264 | 8.366 | 74.37 |
| 9 | 2.906 | 6.634 | 58.98 |
| 10 | 2.588 | 5.261 | 46.77 |
| 11 | 2.305 | 4.172 | 37.09 |
| 12 | 2.023 | 3.309 | 29.42 |
| 13 | 1.828 | 2.624 | 23.33 |
| 14 | 1.628 | 2.081 | 18.50 |
| 15 | 1.450 | 1.650 | 14.67 |
| 16 | 1.291 | 1.309 | 11.63 |
| 17 | 1.150 | 1.038 | 9.22 |
| 18 | 1.024 | 0.8231 | 7.317 |

Continuación ...

| CALIBRE B & S A.W.G | DIAMETRO NOMINAL mm | AREA DE SECCION TRANSVERSAL mm ² | PESO Kg/Km |
|---------------------------|---------------------------|---|---------------|
| 19 | 0.9116 | 0.6527 | 5.803 |
| 20 | 0.8118 | 0.5176 | 4.602 |
| 21 | 0.7230 | 0.4105 | 3.649 |
| 22 | 0.6438 | 0.3255 | 2.894 |
| 23 | 0.5733 | 0.2582 | 2.295 |
| 24 | 0.5106 | 0.2047 | 1.820 |
| 25 | 0.4547 | 0.1624 | 1.443 |
| 26 | 0.4049 | 0.1288 | 1.145 |
| 27 | 0.3606 | 0.1021 | 0.907 |
| 28 | 0.3211 | 0.0809 | 0.719 |
| 29 | 0.2859 | 0.0638 | 0.550 |
| 30 | 0.2546 | 0.0505 | 0.460 |
| 31 | 0.2268 | 0.0401 | 0.359 |
| 32 | 0.2019 | 0.0318 | 0.280 |
| 33 | 0.1798 | 0.0255 | 0.227 |
| 34 | 0.1601 | 0.0201 | 0.179 |
| 35 | 0.1426 | 0.0159 | 0.141 |
| 36 | 0.1270 | 0.0126 | 0.111 |
| 37 | 0.1131 | 0.0100 | 0.090 |
| 38 | 0.1007 | 0.0079 | 0.070 |
| 39 | 0.0897 | 0.0063 | 0.056 |
| 40 | 0.0799 | 0.0050 | 0.045 |

La razón de proporción en los diámetros es de $\sqrt[6]{2} = 1.123$ es decir $D_1 = 1.123 D_2$ en proporción ascendente.

Por ejemplo:

Calibre # 4 : diámetro - 5.189 mm

El diámetro del calibre # 3, será:

$$5.189 \times 1.123 = 5.827 \text{ mm}$$

El diámetro del calibre # 2, sera:

$$5.189 \times (1.123)^2 = 5.827 \times 1.123 = 6.544 \text{ mm}$$

El diámetro del calibre # 1, será:

$$5.189 \times (1.123)^3 = 6.544 \times 1.123 = 7.348 \text{ mm}$$

Una consecuencia de estas proporciones es que los pesos de los diferentes calibres de alambres, varían también de acuerdo a una proporción, luego cada valor en peso es igual al anterior multiplicado por raíz cúbica de dos ($\sqrt[3]{2} = 1.26$), quiere decir que está en la misma proporción que las áreas.

2.2.1. Proceso de manufactura del alambre

El proceso del trefilado en detalle se realiza de la siguiente manera:

Los rollos del alambrón, ya decapados, son llevados por medio de una grúa móvil y colocados en unos portarrollos dispositivos ubicados delante de las máquinas trefiladoras pesadas. Debido a la longitud relativamente corto de los rollos, la producción estaría limitada. Por esta razón se utiliza el siguiente método; se suelda el extremo de un rollo con el comienzo del siguiente, acumu-

lando una pila de alambre presoldado de aproximadamente 600 Kgs. Una vez terminada de soldar la primera pila se procede a arrancar la máquina trefiladora, mientras se está trefilando la primera pila, se prepara la segunda para luego soldar el final de la primera pila con el comienzo de la segunda, de manera que el proceso sea contínuo, estando solamente limitado al método de enrollado. Es decir, como de esta máquina el alambre sale en carretes de 1/2 tonelada de capacidad, se tiene que parar la trefiladora. El tiempo que requiere esta operación está limitado por la habilidad del operario. La soldadura es eléctrica y la efectúa una máquina automática, en esta máquina solo es necesario introducir los extremos de los alambres (puntas) se baja una palanca y la soldadura que da efectuada, pasando solamente una pequeña limada en el lugar de la soldadura para quitar las rebabas que se forman al fundirse el metal. Esta soldadura posee un auto transformador regulable, el cual hace posible soldar varios tipos de calibres de alambres, moviendo únicamente una palanca que indica en un dial los calibres que puede soldar en la posición determinada.

La máquina trefiladora se compone de las siguientes partes:

- a) Portadados. Es el elemento donde se coloca el dado, debe ser lo suficientemente rígido para resistir las deflexiones y debe permitir que el dado esté en ángulo recto con el alambre.

- b) Datos. Posteriormente se tratará en detalle.
- c) Jalador o Capstan. También se verá posteriormente.
- d) Motor principal. Se utiliza para mover el jalador y debe ser seleccionado cuidadosamente para preveer la fuerza de jalado a un rango de velocidad deseado.
- e) Sistema de refrigeración. Se verá en capítulo aparte.
- f) Enrollador (spooler). Conocido con el nombre de spooler (carrete) es el aparato encargado de recoger el alambre, trefilado, enrollando en un carrete, para esto cuenta con un motor propio, una caja de cambios, la que dará las mismas velocidades que la caja de cambios de la trefiladora y por último un embrague, la cual dará la tensión en el arranque.
- g) Desenrollador. Es el aparato encargado de entregar el alambrón por trefilar.

2.3. RECOCIDO DEL ALAMBRE

La energía interna de los metales deformados en frío es mayor que la que se encuentra en los metales sin deformar. Por consiguiente los metales endurecidos por deformación tienden a volver al estado libre de deformaciones. Al aumentar la temperatura, el estado de deformación en frío se hace cada vez más inestable, finalmente el metal se ablanda y vuelve al estado exento de deformación. Todo este proceso se conoce como el recocido. El recocido es muy importante industrialmente por-

que devuelve la ductibilidad a los metales que han sido endurecidos intensamente por deformación en frío. Por consiguiente al intercalar operaciones de recocido después de deformaciones intensas es posible realizar grandes deformaciones en la mayoría de los metales.

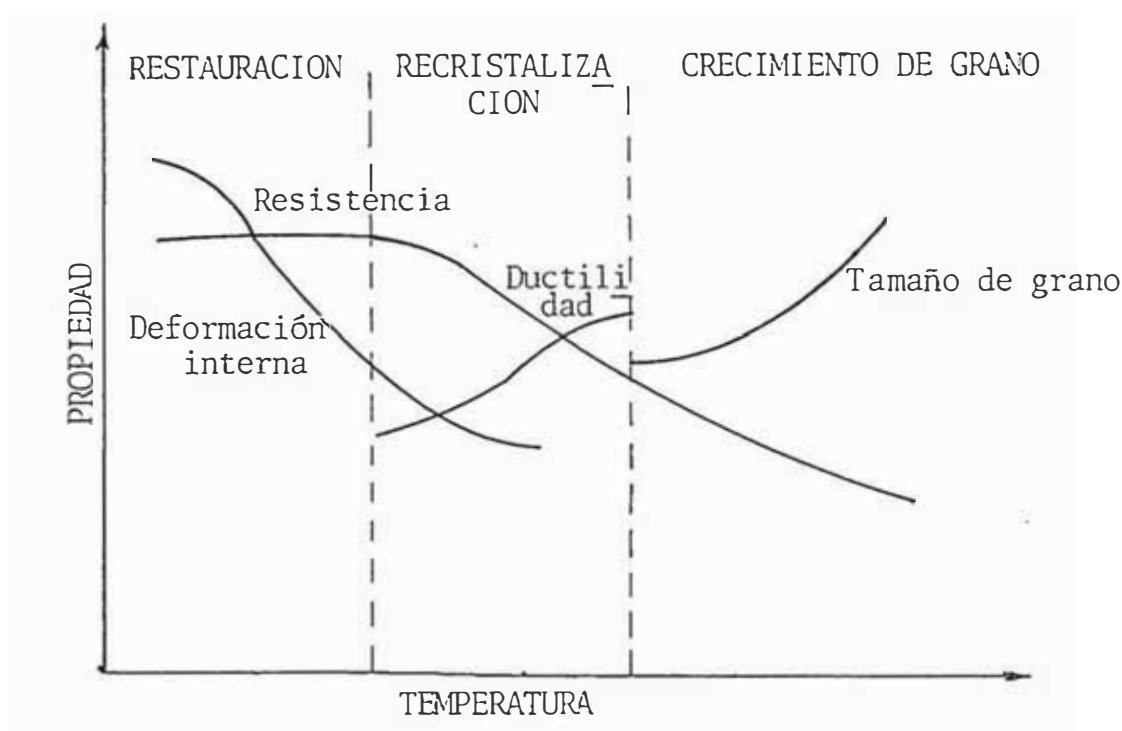


Figura 2.1 - Dibujo esquemático que indica los fenómenos de restauración, recristalización y crecimiento de grano y variaciones de propiedades asociadas.

Todo el proceso de recocido se puede dividir en tres procesos bien definidos: recuperación, recristalización y crecimiento de grano.

La figura 2.1 ayuda a distinguir entre estos tres procesos. La recuperación o restauración se define normalmente como la restauración de las propiedades físicas de los metales deformados en frío sin que se observen cambios en la microestructura. Durante la recuperación la

conductividad térmica aumenta rápidamente acercándose al valor de recocido y según se observa con rayos X, la formación reticular, disminuye apreciablemente. Las propiedades más afectadas por la recuperación son las sensibles a los defectos de punto. Las propiedades relativas a la resistencia mecánica que están controladas por las dislocaciones no son afectadas por las temperaturas de recuperación. Los monocristales de los metales que se han deformado sobre un solo juego de planos (deslizamiento fácil) son una excepción a esta regla. Por este motivo es posible recuperar completamente el límite elástico de un cristal endurecido por deformación sin producir recristalización. La recristalización es la sustitución de la estructura deformada en frío por un nuevo juego de granos sin deformar. La recristalización se detecta fácilmente por métodos metalográficos y se comprueba por un descenso de la dureza o resistencia mecánica y un aumento de la ductilidad. La densidad de dislocaciones disminuye considerablemente con la recristalización y todos los efectos del endurecimiento por deformación se eliminan.

La energía almacenada como resultado de la deformación en frío, es la fuerza impulsora, tanto para la recuperación como para la recristalización. La poligonización se puede considerar como una situación intermedia entre la recuperación y la recristalización, habrá un aumento progresivo del tamaño del grano. La fuerza impulsora para el cre

cimiento de grano es el descenso de la energía libre, resultante de la disminución del área de los límites de grano a causa de un aumento en el tamaño de grano.

La recristalización es la vuelta, por activación térmica de la estructura deformada en frío a su estado original, sin deformaciones. Al aumentar la temperatura, las redes de dislocación tienden a contraerse y las zonas de densidad de dislocaciones, inicialmente baja, empiezan a crecer. La fracción de microestructura que ha recristalizado en un tiempo "t", se puede representar por una ecuación de la forma:

$$X = 1 - e^{-Bt n'} \quad (2-1)$$

en la que B y n' son constantes. Los valores de n' entre 1 y 2 indican recristalización en una dimensión, mientras los valores 2 y 3 denotan recristalización bidimensional. Es conveniente considerar el proceso de recristalización en términos de las velocidades de nucleación N y de crecimiento G de los nuevos granos sin deformación. Los valores relativos de N y G determinan el tamaño de grano recristalizado. Si N es grande con respecto a G, habrá muchos lugares de nucleación y el tamaño de grano será relativamente pequeño.

Seis variables principales influyen sobre el comportamiento en la recristalización:

1. grado de deformación previa; 2. temperatura; 3. tiempo

po; 4. tamaño de grano inicial; 5. composición; 6. grado de recuperación o poligonización anterior al comienzo de la recristalización. Como la temperatura a la que se produce la recristalización depende de las variables citadas, no es una temperatura fija como ocurre con la de fusión. Para consideraciones prácticas, la temperatura de recristalización se puede definir como aquella a la que una aleación dada en un estado intenso de deformación en frío, recristaliza completamente en una hora. La relación entre las variables anteriores y el proceso de recristalización se puede resumir del modo siguiente:

1. Precisa un grado mínimo de deformación para producir recristalización.
2. Cuanto menor sea el grado de deformación, mayor será la temperatura requerida para producir recristalización.
3. Al aumentar el tiempo de recocido, disminuye la temperatura de recristalización. Sin embargo la temperatura es mucho más importante que el tiempo. Duplicar el tiempo de recocido es aproximadamente igual a aumentar la temperatura de recocido en 10°C .
4. El tamaño de grano final depende finalmente del grado de deformación y, en menor cuantía, de la temperatura de recocido cuanto mayor sea el grado de deformación y más baja la temperatura de recocido, menor será el tamaño de grano recristalizado.

5. Cuanto mayor sea el tamaño de grano original, mayor será el grado de deformación requerido para producir una temperatura de recristalización equivalente.
6. La temperatura de recristalización disminuye con el aumento de la pureza del metal. Las adiciones de aleante en solución sólida elevan siempre la temperatura de recristalización.
7. El grado de deformación requerido para producir un comportamiento de recristalización equivalente, aumenta con el incremento de la temperatura de trabajo.
8. Para una reducción dada, de sección transversal, las diferentes formas de trabajar el metal, tales como el laminado, trefilado, etc. producen deformaciones efectivas, ligeramente diferentes, por consiguiente no pueden obtenerse comportamientos de recristalización idénticos.

Debido a que la fuerza impulsora de crecimiento de grano es apreciablemente más baja que la de recristalización a las temperaturas a las que tiene lugar de recristalización se produce fácilmente un crecimiento lento de grano. Sin embargo, el tamaño de grano depende mucho de la temperatura, alcanzándose pronto una zona de engrosamiento de grano, en la que los granos aumentan de tamaño muy rápidamente. El crecimiento de grano está impedido considerablemente por la presencia de una fina dispersión de partículas de segunda fase que restringen el movimiento de los

límites de grano. Para el tipo corriente de tamaño de grano, en el que los granos aumentan de tamaño uniformemente, la teoría predice que, a una temperatura dada, el tamaño de grano D en un tiempo t , está dado por

$$D^2 - D_0^2 = Ct \quad (2-2)$$

En resumen el fin que se persigue con el recocido es el de la regeneración de la estructura molecular, eliminación de acritudes, eliminación de tensiones residuales, etc. Todo esto podríamos definirlo como mejora de la ductilidad, de las condiciones mecánicas disminuídas en las operaciones de deformaciones plásticas.

Si se ha de realizar un recocido tendremos que obtener una temperatura homogénea del conjunto alrededor de 600°C . Esta temperatura puede conseguirse por diversos procedimientos en hornos de características muy variadas, aunque los clásicos y más usuales son los de potes calentados eléctricamente o con petróleo diesel.

2.3.1. Recocido de estabilización y contra acritud

El recocido de estabilización tiene por objeto eliminar tensiones residuales producidas en el mecanizado de deformación en frío o en el moldeo de piezas complicadas sin afectar sus características mecánicas. Se utiliza de 150°C a 325°C , durante una o dos horas, enfriando después el aire (figura 2.2).

El recocido contra acritud, tiene por objeto ablandar el

cobre con acritud que ha sido endurecido por trabajos mecánicos en frío, en este caso, en el proceso de trefilado.

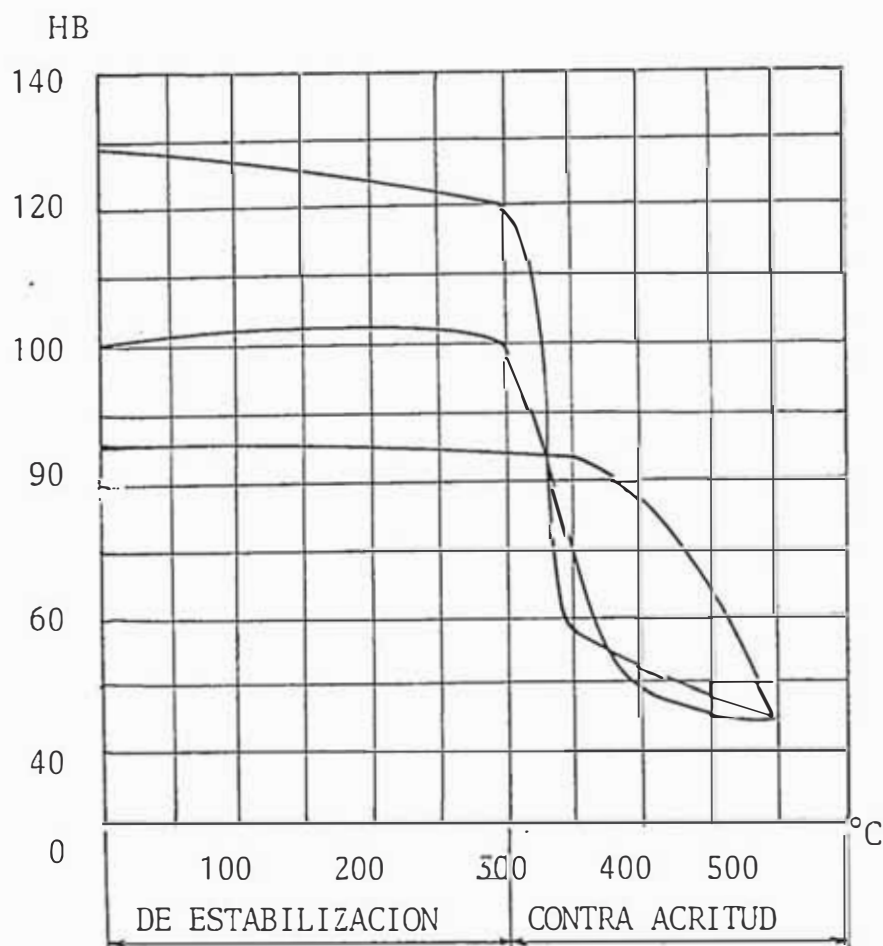


Figura 2.2 - Variación de la dureza del cobre con distintos grados de deformación en frío, según las temperaturas de los recocidos de estabilización y contra acritud.

Se realiza de 352°C a 650°C, debiendo permanecer el material a la temperatura de recocido, de una a dos horas, - (figura 2.2).

Se recomienda no rebasar los 650°C, pues a partir de esa temperatura aumenta el tamaño del grano, lo que, si bien no influye mucho en la resistencia mecánica, disminuye bastante la ductilidad del metal. En el gráfico se pue

de observar que el recocido de estabilización apenas influye en la dureza, pues su objeto no es ablandar el material, sino eliminar tensiones residuales.

2.3.2. Proceso del recocido del cobre

El recocido se efectúa de la siguiente forma: se introducen los carretes con el alambre que se desea recocer en unos carros que van herméticamente cerrados, a los cuales se les hace el vacío por medio de una bomba neumática, una vez obtenido el vacío necesario se cierra la válvula, la capacidad de los carros dependen de la producción, inclusive se pueden instalar hornos hasta para un solo carrete, estos carretes tienen 1/2 tonelada. Luego se procede a empujar los carros hasta los hornos eléctricos, donde un gato hidráulico lo introduce a los hornos, aquí se vuelve a conectar una bomba neumática más pequeña, con la finalidad de mantener el vacío, la conexión se efectúa por medio de una válvula de flujo en un solo sentido. En estos hornos son calentados los carretes a la temperatura de recocido, esta temperatura puede variar de acuerdo al calibre del alambre, a continuación se dará una tabla de temperaturas para los diferentes calibres más comunes en tres puntos del horno, superior, medio e inferior. Se notará que las temperaturas del inferior son más altas, esto se debe a que esta zona es más difícil de calentar por estar en contacto con el agua que sirve de sello entre el ambiente y el in

terior del carro.

TABLA N° 2.1

Temperaturas para el recocido

| CALIBRE AWG | PUNTO INFERIOR | PUNTO MEDIO | PUNTO SUPERIOR |
|-------------|----------------|-------------|----------------|
| 36 a 34 | 310°C | 310°C | 290°C |
| 32 a 30 | 340°C | 340°C | 320°C |
| 28 a 25 | 390°C | 380°C | 350°C |
| 24 a 22 | 450°C | 440°C | 430°C |
| 21 a 20 | 480°C | 470°C | 460°C |
| 19 a 16 | 500°C | 490°C | 480°C |
| 13 a 15 | 520°C | 510°C | 500°C |
| 12 a 9 | 540°C | 530°C | 520°C |
| 8 a 7 | 560°C | 550°C | 540°C |
| 6 a 5 | 580°C | 570°C | 560°C |
| 4 a 3 | 600°C | 590°C | 580°C |
| 2 a 1 | 650°C | 640°C | 600°C |

En estos hornos los carros permanecen cinco horas, transcurrido este tiempo se saca del horno, desconectando antes la bomba neumática, pero permaneciendo en vacío, en esta forma se le deja enfriar lentamente para evitar la oxidación del cobre, luego se abren las válvulas para dejar entrar el aire, una vez igualadas las presiones se puede destapar el carro y sacar los carretes con la ayuda de un tecele.

CAPÍTULO III

3.0. ANÁLISIS DE LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL TREFILADO DEL ALAMBRE.

3.1. CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL A TREFILAR

3.1.1. Generalidades

El cobre fué uno de los primeros metales empleados por el hombre, ya que en tiempos remotos debió de existir con relativa abundancia en la naturaleza del estado nativo. Todavía existen cantidades relativamente importantes en el Perú, Chile, Brasil, EE.UU. y otros países.

Actualmente casi la totalidad de la producción de cobre se obtiene de minerales que lo contienen en forma de:

SULFUROS: Calcopirita $\text{SCu}_2\text{S}_3\text{Fe}_2$ (mezclado generalmente con pirita de hierro S_2Fe) y calcosina SCu_2 .

OXIDOS : Cuprita OCu_2 .

CARBONATOS: Malaquita $\text{CO}_3\text{Cu}(\text{HO})_2\text{Cu}$, azurita $2\text{CO}_3\text{Cu}(\text{HO})_2\text{Cu}$.

Los minerales más utilizados son los sulfuros que contienen hierro en gran cantidad y otras impurezas más o menos interesantes de arsénico, antimonio, plomo, bismuto oro, plata y níquel. La ganga es generalmente muy silicea.

La obtención del cobre se realiza por dos métodos fundamentales, que se denominan de vía seca y vía húmeda. La metalurgia del cobre por vía seca es la más utilizada, pero solo se puede aplicar a minerales con concentración

mínima del 10% del cobre.

La vía húmeda se emplea para minerales de contenido de cobre entre el 3% y el 10%. Los minerales de contenido de cobre inferior al 3%, por ahora, no se benefician.

La metalurgia de cobre por vía seca se realiza en cuatro fases:

1. Concentración del mineral por flotación a fin de eliminar parte de la ganga y conseguir un porcentaje de cobre de un 20% aproximadamente.
2. Eliminación parcial del hierro por tostación incompleta que elimina también parte del azufre en forma de SO_2 que se utiliza para la fabricación del ácido sulfúrico (H_2SO_4). El hierro se elimina en forma de óxido de hierro y queda un producto intermedio denominado mata, formado por sulfuros de cobre y de hierro (SCu_2 n SFe).
3. Oxidación de la mata en convertidores para eliminar el hierro que resta por tostación y reacción y obtener cobre bruto.
4. Afino del cobre en horno de reberbero por oxidación del cobre y reducción después y finalmente afino por electrolisis hasta conseguir una pureza de 99.99%.

La metalurgia por vía húmeda se realiza en dos fases:

1. Disolución con ácido sulfúrico o sulfato férrico de los minerales oxidados o de las cenizas producidas por la tostación de las piritas en la fabricación del

ácido sulfúrico hasta obtener sulfato de cobre (SO_4Cu).

2. Precipitación de la solución obtenida, pobre en cobre (1 grano aproximadamente por litro) por medio del hierro (SO_4Fe) y precipitándose el cobre, se obtiene un producto muy impuro con alrededor del 80% de cobre.

Para obtener un metal más puro se recurre a la precipitación electrolítica, utilizando como ánodo plomo o grafito.

3.1.2. Definiciones del cobre

Las nociones sobre la metalurgia del cobre que se ha expuesto, son necesarias para comprender las clases de cobre que ordinariamente se encuentran en el mercado. Con la denominación de cobre se designa el elemento químico de este nombre, así como los productos metalúrgicos de los que, solamente con el carácter de impurezas, pueden formar parte otros elementos.

COBRE METAL. Con esta denominación se designa el cobre como elemento químico. Se presenta en forma cristalina de cubos centrados en las caras, con un parámetro de red de $3,6078 \times 10^{-8}$ centímetros a 20°C .

3.1.3. Tipos de cobres

Debemos decir que los minerales generalmente sulfurosos, se concentran para obtener una rica en cobre y azufre. El azufre se elimina por oxidación al fuego, así se obtiene el cobre refinado "térmico" que contiene

99.85% de cobre, siendo el resto oxígeno e impurezas.

Su conductividad eléctrica es mediana 85-95% IACS (International Annealed Copper Standard). Mejorando las condiciones de refinación es posible reducir el contenido de impurezas y obtener así lo que se denomina cobre refinado "térmico de alta conductividad", cuya conductividad varía entre 100 y 101.5% IACS contenido de cobre 99.0%. Aclarando que se ha convenido internacionalmente que una muestra de cobre "puro" tiene la conductividad de 100% - IACS o sea $58 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$. En realidad algunos cobres muy puros pueden alcanzar 102% IACS.

De todas formas, el cobre refinado "térmico", de relativa impureza, no es utilizado como tal, sino que se cuele en ánodos que se refinan electrolíticamente; los cátodos obtenidos en la electrolisis son refundidos y colados en lingotes, lingote alambre (Wirebar), tochos, etc, así se obtiene el cobre electrolítico, de alta conductividad eléctrica (100 a 101.5% IACS) que tiene un contenido mínimo de cobre del 99.9%.

Sin embargo este cobre todavía contiene oxígeno (menos del 0.1%) que es perjudicial en ciertos casos. Por este motivo se ha preparado un cobre "exento de oxígeno" que tiene la misma conductividad eléctrica, pero con un mínimo de cobre del 99.95%. Esta variedad, naturalmente es bastante cara y su empleo se reserva para aplicaciones especiales.

Por otra parte existen muchas aplicaciones de cobre en las que la conductividad es de importancia secundaria, en cambio la presencia de oxígeno (bajo forma de óxido - cuproso Cu_2O) es totalmente perjudicial. Para ello el cobre se somete a una nueva fusión con adición de fósforo, que es un poderoso desoxidante. La eliminación total del oxígeno, requiere evidentemente un exceso de fósforo que queda presente en el metal. Se pueden distinguir dos calidades de cobre "desoxidado con fósforo" :

Cobre "desoxidado con fósforo con alto contenido de fósforo residual", con contenido mínimo del 99.85% de cobre, 0.013 a 0.50 de P y conductividad del 70 al 90% IACS.

Cobre "desoxidado con fósforo con bajo contenido de fósforo residual", conteniendo 99.9% de cobre, 0.005 a 0.012 de P y conductividad de 85 a 98% IACS.

3.1.4. Formas comerciales

a) Lingote alambre (Wirebar).

Se destina a la laminación y a la trefilación y tiene sección trapezoidal, de altura variable entre 85 y 125 mm, longitud entre 1000 y 1370 mm y peso de 60 a 190 Kgs.

El lingote alambre se cuela horizontalmente. También se puede obtener, igualmente por colada continua, entonces su sección es cuadrada.

b) Placas

Destinadas a la laminación de chapas o bandas, son - de sección rectangular y de dimensiones variables.

Su peso puede variar entre 65 y 1800 Kgs o más, son coladas vertical y horizontalmente y a menudo en colada continua.

c) Tochos

Son destinados al punzonado o a la extrusión seguidos de laminación o trefilado, son de sección circular, con diámetros comprendidos entre 75 y 250 mm, su longitud máxima es de 1300 mm y su peso está comprendido entre 45 y 680 Kgs. Siempre se cuelan verticalmente y a menudo en colada continua.

Las composiciones de los seis cobres son los siguientes:

| | | |
|--|---|--------------------------------------|
| Cobre electrolítico | : | Cu (+ Ag) 99.90 |
| - Cobre térmico de alta conductividad | : | Cu (+ Ag) 99.90 |
| - Cobre térmico | : | Cu (+ Ag) 99.85 |
| Cobre exento de oxígeno | : | Cu (+ Ag) 99.95 |
| - Cobre desoxidado con fósforo, con bajo contenido de fósforo residual | : | P 0,005 - 0,012% |
| - Cobre desoxidado con fósforo, con alto contenido de fósforo residual | : | Cu (+ Ag) 99.85% P 0,013 - 0,050% |

3.1.5. Propiedades físicas

El cobre tiene un color rosa salmón característi-

co que se oscurece con la exposición prolongada al aire. Sin embargo el aspecto metálico brillantes se puede conservar recurriendo a un barniz apropiado. Por otra parte, con la exposición prolongada a la intemperie se forma una platina verdosa de efecto muy bello.

En la tabla 3.1. se dan las propiedades físicas más im-
portantes, indicaremos que los valores recogidos en la -
tabla, son los valores típicos a 20°C.

A temperaturas elevadas la conductividad eléctrica del -
cobre decrece a 100°C, por ejemplo, no tiene más que 76%
IACS, a bajas temperaturas, por el contrario, la conduc-
tividad aumenta considerablemente: a -100°C es de 190% -
IACS y a -200°C de 800% IACS. Estos valores se indican

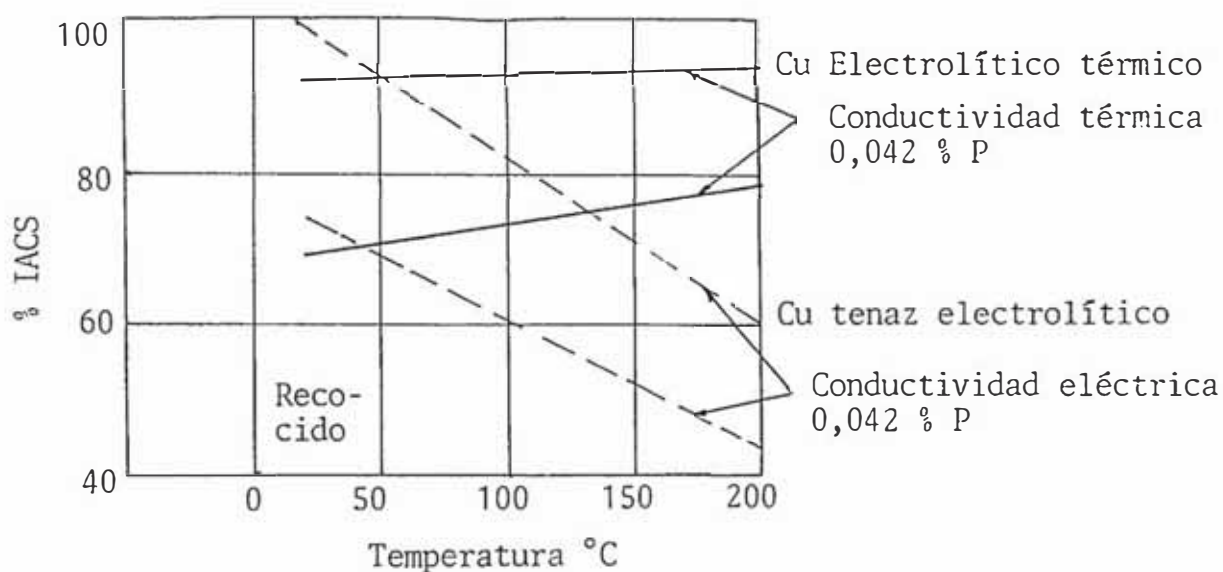


Figura 3.1 - Influencia de la temperatura sobre las conductividades eléctrica y térmica de los cobres.

como ejemplo, pero pueden variar según el grado de pureza y el proceso de fabricación de cada cobre.

Variaciones análogas se observan para la conductividad térmica; a $+100^{\circ}\text{C}$: $0,92 \text{ calcm/cm}^2 \text{ S } ^{\circ}\text{C}$; a -100°C : $1,04 \text{ calcm/cm}^2 \text{ S } ^{\circ}\text{C}$; a -200°C : $1,37 \text{ calcm/cm}^2 \text{ S } ^{\circ}\text{C}$ (figura 3.1).

TABLA 3.1- PROPIEDADES FISICAS DE LOS COBRES

| M A T E R I A L | | DESIGNACION | | Cu electrolítico tenaz | Cu térmico de alta ductividad | Cu térmico tenaz | Cu exento de oxígeno | Cu desoxidado con fósforo con bajo contenido residual | Cu desoxidado con fósforo con alto contenido residual |
|--|-----------------------------|-------------|------------|------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------------|---|---|
| | | Unidad | Estado (a) | | | | | | |
| Densidad | g/cm ³ | | | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 | 8,9 |
| Punto de fusión | °C | | | 1083 | 1083 | 1083 | 1083 | 1083 | 1083 |
| Coefficiente de dilatación lineal (25-100°C) | °C-1 | | | 0,0000168 | 0,0000168 | 0,0000168 | 0,0000168 | 0,0000168 | 0,0000168 |
| Calor específico (a 20°C) | cal/g °C | | | 0,0921 | 0,0921 | 0,0921 | 0,0921 | 0,0921 | 0,0921 |
| Conductividad térmica (a 20 °C) | cal cm/cm ² s °C | | | 0,094 | 0,094 | 0,094 | ,094 | 0,80-0,93 | 0,70-0,87 |
| Conductividad eléctrica (volumen, a 20 °C) | m/Ω mm ² | R | | 58,0-58,9 | 58,0-58,9 | 49-55 ⁽¹⁾ | 58,0-58,9 | 49-57 | 41-52 ⁽¹⁾ |
| | % IACS | R | | 100,0-101,5 | 100,0-101,5 | 85-95 ⁽¹⁾ | 100,0-101,5 | 85-98 | 70-90 ⁽¹⁾ |

Continuación Tabla 3.1....

| M A T E R I A L | | Cu electrolítico tenaz | Cu térmico de alta ductividad | Cu térmico tenaz | Cu exento de oxígeno | Cu desoxidado con baforo con alto contenido de fósforo residual | Cu desoxidado con fósforo residual |
|--|----------------|------------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------------------|---|------------------------------------|
| DESIGNACION | | | | | | | |
| Magnitud | Unidad | Estado (a) | Cu-ETP | Cu-FRHC | Cu-FRTP | Cu-OF | Cu-DLP |
| Resistividad eléctrica (volumen, 20°C) | $\mu\Omega$ cm | R | 1, 7241-1, 70 | 1, 7241-1, 70 | 2, 0-1, 8 ⁽¹⁾ | 1, 7241-1, 70 | 2, 0-1, 76 |
| Coefficiente térmico de la resistencia eléctrica (-100 a + 200 °C) | °C-1 | R | 0, 00393 (100% IACS) | 0, 00393 (100% IACS) | 0, 00334 ⁽²⁾ (85% IACS) | 0, 00393 (100% IACS) | 0, 00334 (85% IACS) |
| Módulo de elasticidad (20 °C) | Kg/mm^2 | R | 12000 | 12000 | 12000 | 12000 | 12000 |
| Módulo de rigidez (20 °C) | Kg/mm^2 | F | 12000-13500 | 12000-13500 | 12000-13500 | 12000-13500 | 12000-13500 |
| | | R | 4500 | 4500 | 4500 | 4500 | 4500 |
| | | F | 4500-5000 | 4500-5000 | 4500-5000 | 4500-5000 | 4500-5000 |

(a): R = recocido (1) Estados forjados o recocido

(2) F = forjado (2) 0-100°C

Tabla 3.2 - Propiedades mecánicas de los cobres a temperatura ambiente

| MATERIAL | | Cu electrolítico tenaz | Cu térmico de alta conductibilidad | Cu térmico tenaz | Cu exento de oxígeno | Cu desoxidado con fósforo con bajo tenido de fósforo residual | Cu desoxidado con fósforo con alto tenido de fósforo residual |
|---------------------------|--------------------|------------------------|------------------------------------|------------------|----------------------|---|---|
| Designación | | Cu-ETP | Cu-FRHC | Cu-FRTP | Cu-OF | Cu-DLP | Cu-DHP |
| Magnitud | Unidad | Estado | | | | | |
| Resistencia a la tracción | kg/mm ² | R ₁ | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| | | R ₂ | 23-26 | 23-26 | - | 23-26 | - |
| | | F ₁ | 27-38 | 27-38 | 27-38 | 27-38 | 27-38 |
| | | F ₂ | 38-45 | 38-45 | - | 38-45 | - |
| Límite elástico | kg/mm ² | R ₁ | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | | F ₁ | 18-34 | 18-34 | 18-34 | 18-34 | 18-34 |
| Alarga - miento | % | R ₁ | 48 | 48 | 48 | 48 | 48 |
| | | R ₂ | 26-37 | 26-37 | - | 26-37 | - |
| | | F ₁ | 25-6 | 25-6 | 25-6 | 25-6 | 25-6 |
| Dureza Brinell | | R ₁ | 45 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| | | F ₁ | 75-105 | 75-105 | 75-105 | 75-105 | 75-105 |

Continuación Tabla 3.2

| MATERIAL | | Cu electrolítico tenaz | Cu térmico de alta conductibilidad | Cu térmico tenaz | Cu exento de oxígeno | Cu desoxidado con fósforo con bajo contenido de fósforo residual | Cu desoxidado con fósforo con alto contenido de fósforo residual |
|-------------------------------|--------------------|------------------------|------------------------------------|------------------|----------------------|--|--|
| Designación | | Cu-ETP | Cu-FRHC | Cu-FRTP | Cu-OF | Cu-DLP | Cu-DHP |
| Magnitud | Unidad | Estado | | | | | |
| Resistencia a la cizalla-dura | kg/mm ² | F ₁ R | 16 18-20 | 16 18-20 | 16 18-20 | 16 18-20 | 16 18-20 |

R₁ = estado recocido (chapa, banda)

R₂ = estado recocido (alambre)

F₁ = estado de forja (chapa, banda)

F₂ = estado de forja (alambre)

3.1.6. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas a temperatura ambiente se indican en la tabla 3.2, donde se puede ver las propiedades mecánicas más importantes: resistencia a la tracción, límite elástico, alargamiento, dureza, resistencia a la cizalladura, se trata únicamente los valores típicos, nótese que existe poca diferencia entre las propiedades mecánicas de los seis tipos de cobres.

Resumiendo el cobre en uno de los pocos metales que es empleado comercialmente en forma casi pura, más que en forma de aleación, hoy en día en la industria eléctrica es esencial esta preferencia por su alta conductividad eléctrica, pues el cobre tiene la más alta conductividad eléctrica que cualquier otro metal, siendo superado en este aspecto, solamente por la plata, que su uso sería antieconómico.

El tipo de cobre que predomina en la industria eléctrica es el bien refinado Cu-ETP (Electrolytic Tough Pith), este tipo de cobre combina las buenas propiedades necesarias y la alta conductividad eléctrica a un costo mínimo.

El cobre electrolítico tenaz, Cu-ETP se caracteriza por las siguientes propiedades:

Excelente conductividad eléctrica: de ella derivan las aplicaciones eléctricas.

Buena resistencia a la corrosión: de ella derivan las aplicaciones químicas y algunas aplicaciones arquitect

tónicas.

Excelente conductividad térmica: de ella derivan no solamente las aplicaciones químicas, sino también las relacionadas con el calor y las demás aplicaciones térmicas.

La facilidad de conformación en caliente y en frío: esta característica se aprovecha muy bien en tuberías de agua caliente y fría y para gas.

Aptitud para la electrodeposición: de ella derivan los numerosos procedimientos de cobreado que permiten recubrir otro metal, menos noble y menos costoso, con una delgada capa de cobre. El cobreado no se limita a los metales, sino que es aplicable igualmente a las materias plásticas.

Sin embargo nuestro objeto es el proceso de trefilado para producir alambre de cobre para conductores eléctricos, cables bobinados de motores, de generadores, de transformadores, etc.

El cobre que produce Centro Min Perú es de 40,000 toneladas métricas anuales y tiene las siguientes características:

Pureza mínima: 99.96%

Peso :

Libras por pie: 0.31

Libras por 900 pies: 280 aprox.

ANALISIS:

| Elementos | Análisis típico, ppm |
|--------------------------|----------------------|
| Cobre | 99.96 (1) |
| Plata | 30 |
| Plomo | 8 |
| Zinc | 3 |
| Fierro | 5 |
| Selenio | 1 |
| Antimonio | <1 |
| Bismuto | <20 |
| Azufre | 250 |
| Arsénico | <4 |
| Máxima suma de impurezas | 400 |

(1) En porcentaje

EMBALAJE:

Se despacha en rollos, asegurados con 3 amarres de alambre de cobre (1/16") se remiten individualmente , con peso de 112 Kgs en promedio.

3.2. VARIACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL MATERIAL CON EL TREFILADO

La experiencia demuestra que todos los materiales sólidos se deforman sometiénolos a una carga externa, se encuentra además que hasta cierta carga límite, el sólido recobra sus dimensiones originales, cuando se les descarga. La recuperación de las dimensiones originales al eliminar la carga es lo que caracteriza al comporta -

miento elástico. La carga límite, por encima de la cual el material ya no se comporta elásticamente, es el límite elástico, si se sobrepasa el límite elástico, el cuerpo retiene cierta deformación permanente, cuando deja de actuar la carga. Un cuerpo que se deforma permanentemente se dice que ha sufrido una deformación plástica.

Para la mayoría de los materiales, en tanto que la carga no supere al límite elástico, la deformación es proporcional a la carga. Esta relación es conocida como la ley de Hooke, frecuentemente es expresada diciendo que las tensiones son proporcionales a las deformaciones. La ley de Hooke requiere que la relación entre carga y deformación sea lineal.

3.2.1. Teoría de la Plasticidad

La teoría de la plasticidad trata del comportamiento de los materiales en la zona de deformación y en la que la ley de Hooke ya no es válida. La descripción matemática de la deformación plástica de los materiales, no está de ningún modo, tan bien desarrollada como la descripción de la deformación elástica por medio de la teoría de la elasticidad. Es muy difícil describir de un modo analítico riguroso, el comportamiento de un metal, cuando se realizan grandes deformaciones plásticas, por consiguiente para obtener una solución matemática manejable, es preciso establecer ciertas hipótesis que sim

plifiquen el problema.

3.2.1.1. Curvas de fluencia

La curva de tensión-deformación obtenida por carga uniaxial, como en el ensayo corriente de tracción, es de interés fundamental en la plasticidad, cuando se utilizan como variables la tensión real σ y la deformación ϵ .

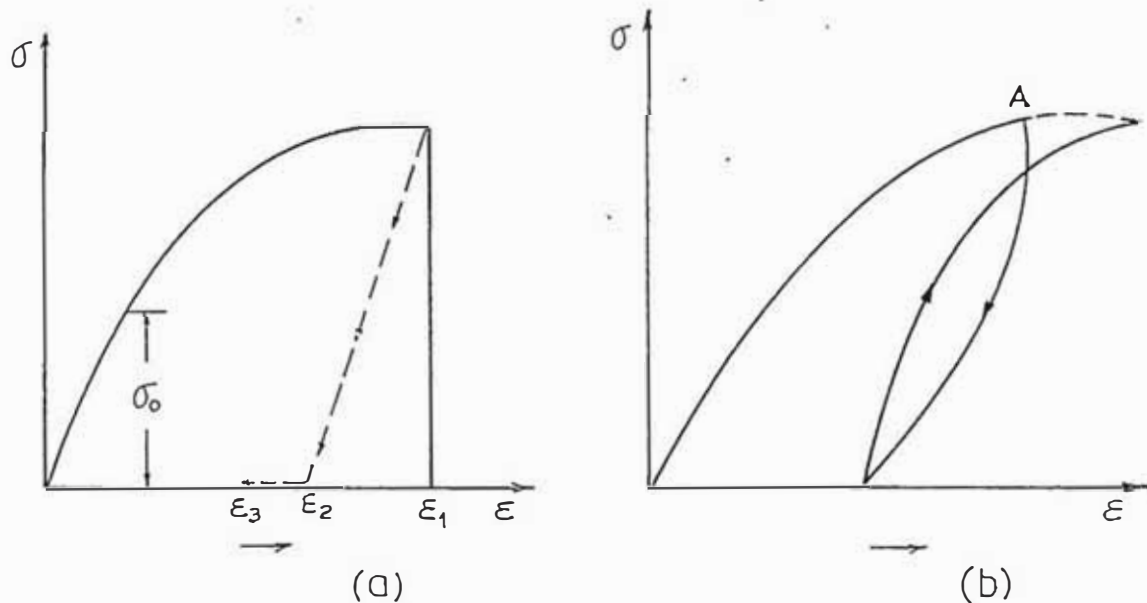


Figura 3.2 - Curvas típicas, tensión—deformación para un metal dúctil.

En la figura 3.2a se muestra la curva real tensión-deformación para un metal dúctil típico, como el cobre, la ley de Hooke se cumple hasta un cierto límite elástico σ_0 . A partir de σ_0 el metal se deforma plásticamente, la mayoría de los metales se endurecen por deformación en esta zona plástica, de manera que los aumentos de a-

quella requieren valores de la tensión, mayores que el límite elástico inicial σ_0 . Sin embargo al contrario de lo que sucedía en la región elástica, la tensión y la deformación no están relacionadas por ninguna constante de proporcionalidad. Si se deforma el metal hasta el punto A, cuando se retira la carga, disminuye inmediatamente la deformación total, desde ϵ_1 a ϵ_2 , en una cantidad σ/E . La disminución de deformación $\epsilon_1 - \epsilon_2$ es la deformación elástica recuperable.

En general, la curva de tensiones-deformaciones al cesar la carga, después de una deformación plástica, no será exactamente lineal y paralela a su porción elástica (figura 3.2b), al volver a aplicar la carga, la línea se curva al aproximarse la tensión al valor inicial desde el que se retiró la carga. Con una pequeña deformación plástica adicional, la curva tensiones-deformaciones se transforma en una continuación de lo que habría sido, sino se hubiera interrumpido la carga. Este comportamiento, histéresis, resultante de aplicar y retirar la carga después de la deformación plástica se desprecia generalmente en las teorías de la plasticidad.

La curva real tensiones-deformaciones, frecuentemente se denomina curva de fluencia, ya que proporciona la tensión necesaria para que el metal fluya plásticamente hacia cualquier deformación dada. Se han realizado muchos intentos para aplicar ecuaciones matemáticas a esta cur

va. La expresión más común es la siguiente:

$$\sigma = K\epsilon^\eta \quad (3-1)$$

donde K es la tensión para $\epsilon = 1,0$ y η , el coeficiente de endurecimiento por deformación es la pendiente de la representación logarítmica doble de la ecuación (3-1), esta ecuación sólo es válida desde el comienzo de la fluencia plástica hasta la carga máxima a partir de la que se inicia la estricción local.

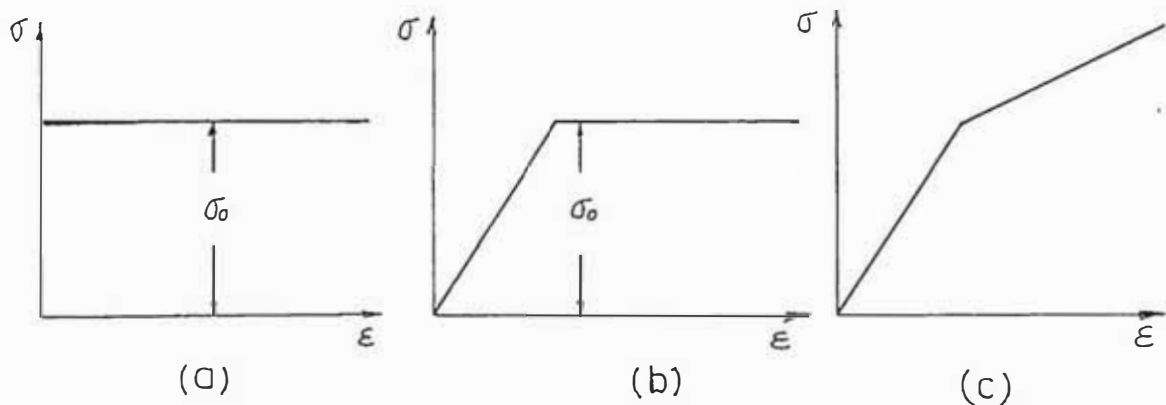


Figura 3.3 - Curvas de fluencia plástica idealizada.
 a) Material plástico ideal rígido; b) Material plástico ideal con región elástica;
 c) Material que endurece por deformación.

Incluso la expresión más sencilla, como la ecuación (3-1) puede resultar de una complejidad matemática considerable cuando se utiliza con las ecuaciones de la teoría de la plasticidad, por consiguiente, la práctica común en este campo es imaginar curvas de fluencia ideales que simplifiquen el cálculo matemático sin desviarse demasiado de la realidad física. La figura 3.3a, muestra la curva de fluencia de un material rígido perfectamente plástico.

Una probeta de tracción de este material ideal es completamente rígida (deformación elástica cero) hasta que la tensión axial es igual a σ_0 , entonces el material fluye plásticamente a una tensión de fluencia constante (endurecimiento por deformación nulo). Este tipo de comportamiento se aproxima al de un metal dúctil fuertemente deformado en frío. La figura 3.3b muestra la curva de fluencia de un material perfectamente plástico con una región elástica.

Un planteamiento más real es el llegar a la curva de fluencia por medio de dos líneas rectas que correspondan a las regiones elástica y plástica (figura 3.3c). Este tipo de curva exige cálculos matemáticos más complicados.

3.2.1.2. Deformación real

La ecuación 3-2 describe el concepto convencional de la deformación lineal unitaria, esto es, la variación de longitud referida a la longitud unitaria inicial.

$$e = \frac{\Delta L}{L_0} = \frac{1}{L_0} \int_{L_0}^L dL \quad (3-2)$$

Esta definición es satisfactoria para deformaciones elásticas, en las que ΔL es muy pequeña.

Sin embargo en la deformación plástica, las deformaciones son grandes y durante el alargamiento, la distancia entre puntos varía considerablemente. Ludwik, expuso por primera vez la definición de deformación real o natu

ral ϵ , que evita esta dificultad, en esta definición de deformación, la variación de longitud está referida a la distancia entre puntos instantáneos, en vez de a la distancia entre puntos iniciales:

$$\xi = \sum \frac{L_1 - L_0}{L_0} + \frac{L_2 - L_1}{L_1} + \frac{L_3 - L_2}{L_2} + \dots \quad (3-3)$$

o bien :

$$\xi = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln \frac{L}{L_0} \quad (3-4)$$

La relación entre la deformación real y la deformación lineal convencional se desprende de la ecuación (3-2):

$$e = \frac{AL}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{L}{L_0} - 1$$

$$e + 1 = \frac{L}{L_0}$$

$$\xi = \ln \frac{L}{L_0} = \ln (e + 1) \quad (3-5)$$

Debido a que el volumen permanece esencialmente constante durante la deformación plástica, la ecuación (3-4) se puede expresar en función de la longitud o de la sección:

$$\xi = \ln \frac{L}{L_0} = \ln \frac{A_0}{A} \quad (3-6)$$

Asimismo debido a la constancia de volumen, la suma de las tres deformaciones principales es igual a cero.

$$\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0 \quad (3-7)$$

3.2.1.3. Criterios de fluencia en materiales dúctiles

El problema que se presenta al deducir las re-

laciones matemáticas para la predicción de las condiciones en las que comienza la deformación plástica, cuando un material está sometido a un estado complejo de tensión, es un aspecto importante en el campo de la plasticidad. En carga uniaxial la fluencia plástica comienza en el límite elástico y es de esperar que, en una situación de esfuerzos combinados, la fluencia esté relacionada con cierta combinación de las tensiones principales. Se puede expresar un criterio de fluencia en la forma general $F(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, K_1, \dots) = 0$, actualmente no existe ningún método teórico para calcular la relación entre los componentes de las tensiones y la fluencia en un ensayo de tracción uniaxial. Los criterios de fluencia son por consiguiente, relaciones esencialmente empíricas. Existen dos teorías generalmente aceptadas para predecir el comienzo de la fluencia en los metales dúctiles:

- a) Teoría de la tensión cizallante máxima (criterio de tensión). Este criterio llamado también a veces criterio de fluencia de Tresca, Coulomb o Guest, establece que la fluencia aparecerá cuando la máxima tensión cizallante alcance un valor crítico igual a la tensión cizallante de fluencia en un ensayo de tracción uniaxial, esta dada por:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (3-8)$$

donde σ_1 es la tensión principal algebraicamente mayor y σ_3 la algebraicamente menor.

En tracción uniaxial $\sigma_1 = \sigma_0$; $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$, donde σ_0 es el límite elástico en tracción simple, por consiguiente, el límite elástico cizallante en tracción simple τ_0 es igual a un medio del límite elástico en tracción:

$$\tau_0 = \frac{\sigma_0}{2}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación para la tensión de cizallamiento máximo, tenemos:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \tau_0 = \frac{\sigma_0}{2} \quad (3-9)$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_0 \quad (3-10)$$

que a veces se expresa del modo siguiente:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_1' - \sigma_3' = 2K \quad (3-11)$$

donde σ_1 y σ_3 son los desviadores de las tensiones principales y K el límite elástico en cizallamiento puro, es to es, la tensión a partir de la cual tiene lugar la fluencia en torsión, donde $\sigma_1 = -\sigma_3$.

b) Teoría de Von Mises (Criterio de Energía).

El criterio que se expone en la ecuación (3-12) ha proporcionado resultados experimentales, en cierto modo más apropiados:

$$\sigma_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} \left| (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right|^{1/2} \quad (3-12)$$

De acuerdo con este criterio se producirá la fluencia, cuando las diferencias entre las tensiones prin

cipales, expresadas por el segundo término de la ecuación rebasen el límite elástico en tracción uniaxial σ_0 .

3.2.2. Endurecimiento por deformación en frío

El trabajo en metales suele dividirse en procesos de conformación en caliente y procesos de conformación en frío. El trabajo en caliente se define como una deformación que se producen simultáneamente la restauración y la deformación, por el contrario el trabajo en frío es el realizado en condiciones tales, que no es posible que se produzcan eficazmente los procesos de restauración. En el trabajo en caliente se eliminan rápidamente el endurecimiento por deformación y la estructura granular trastornada por la formación de nuevos granos libres de deformación en un proceso de recristalización.

El trabajo en frío acarrea un aumento en la resistencia mecánica y una disminución de la ductilidad. Si se trabaja en frío excesivamente, el metal puede romperse antes de alcanzar la forma y tamaño finales que se desean. La deformación muy intensa produce una reorientación preferente, aparte de las variaciones en las propiedades de tracción, la deformación en frío produce alteraciones en otras propiedades físicas. Normalmente existe un pequeño descenso en la densidad, una disminución apreciable en la conductividad eléctrica debido a un número mayor de control dispersantes y un pequeño incremento en el coeficiente de dilatación térmica. La reactividad quí-

mica aumenta a causa de la mayor energía interna del estado de deformación en frío, ello conduce a una disminución general de la resistencia a la corrosión.

La figura 3.4. muestra esquemáticamente las variaciones de las propiedades con la deformación en frío.

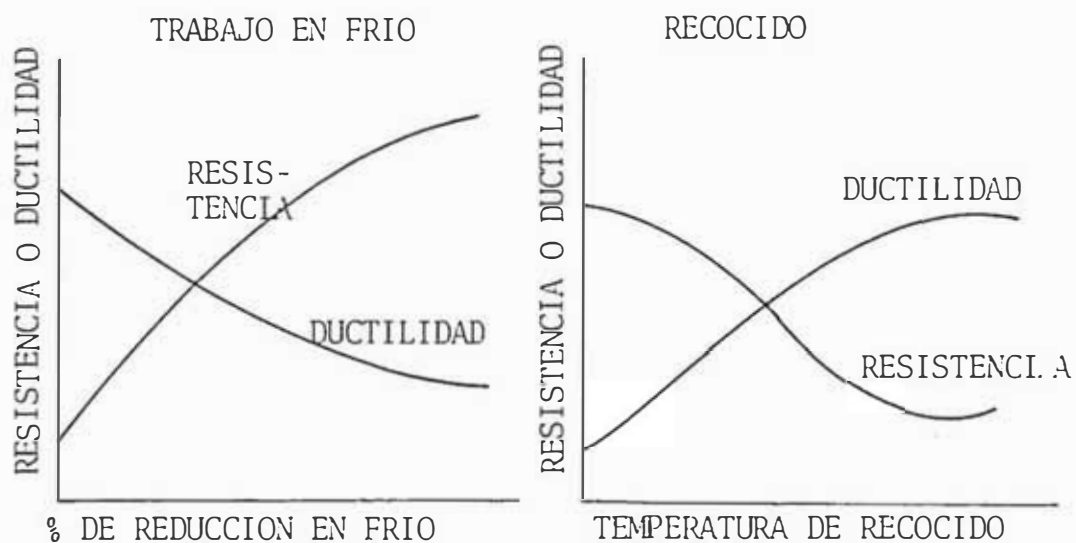


Figura 3.4 - Variaciones típicas de la resistencia mecánica y la ductilidad en un ciclo de conformado en frío y recocido.

Los metales no aleados, tal como el cobre, suelen endurecerse por deformación en frío, para esto las deformaciones plásticas se tienen que realizar a temperaturas menores que la de recristalización del material que se trabaja.

Normalmente cuando se deforma en frío, un material adquiere ACRTUD, esto aumenta su resistencia mecánica y dureza a costa de perder su ductilidad y tenacidad volviéndose frágil. Reiterándose que con la acritud, el mate -

rial pierde sus cualidades eléctricas y anticorrosivas. En resumen, el endurecimiento por acritud resulta esencialmente:

1. Del bloque de las dislocaciones que eleva la resistencia al deslizamiento y aumenta el cizallamiento crítico.
2. De la aparición de tensiones triaxiales, débiles a la consolidación de la interacción.
3. Del aumento de la energía potencial latente en la proximidad de las juntas de granos, provocado por las curvaturas intergranulares.
4. Del aumento de la resistencia a la fragmentación de los cristales y de la resistencia a la deformación - de las mismas por flexión.

El endurecimiento por deformación plástica se explica por la presencia de dislocaciones, las que en un inicio favorecen la deformación por medio del deslizamiento, pero luego al aumentar el número de dislocaciones en un orden de 10^n , éstos se traban entre sí, produciéndose vacancias o poligonizaciones en los bordes de grano, sin permitir que la deformación prosiga.

3.3. DETERMINACION DE LA POTENCIA Y VELOCIDAD

3.3.1. La fuerza y tensiones en el trefilado

La fuerza que se requiere para estirar un alambre a través de una hilera es la suma de la necesi -

ria para producir una disminución uniforme del diámetro (como en el ensayo de tracción), la requerida para producir la deformación de cizallamiento no uniforme de las capas superficiales a la entrada y a la salida de la hilera (trabajo superfluo) y la destinada a superar la fuerza de fricción entre el alambre y la hilera. Las fuerzas primera y última, no suponen ninguna dificultad en el análisis teórico del trefilado, pero la deformación no homogénea plantea un problema que no se ha podido resolver adecuadamente.

La fuerza total requerida para el trefilado, depende de los siguientes factores:

1. El ángulo de la hilera
2. El tanto por ciento de reducción
3. El límite elástico del material
4. La fricción en la hilera, que a su vez depende del material de dicha hilera, la lubricación y la velocidad del estirado.

Los estudios de la deformación con retículas grabadas longitudinalmente en las barras estiradas, han puesto de manifiesto la deformación no homogénea producida por la operación.

La figura 3.5 muestra que para una determinada reducción de diámetro, la magnitud de la deformación de cizallamiento en el sentido opuesto al estirado, aumenta con el semiángulo de la hilera, sólo los elementos del centro -

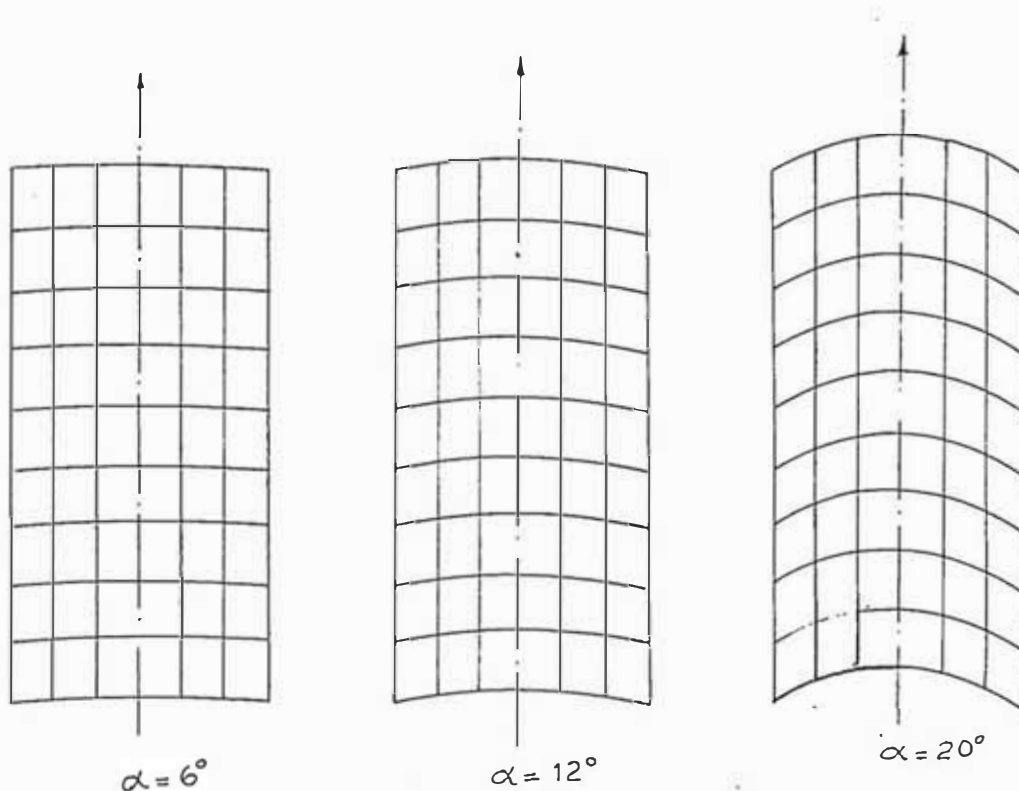


Figura 3.5 - Distorsión de una rejilla inicialmente cuadrada a lo largo de una barra estirada en función del ángulo de la matriz.

de la barra sufren alargamiento puro.

Cuando los ángulos de la hilera son grandes se produce gran deformación por cizallamiento y es necesario aumentar la fuerza de tracción en el centro del alambre, lo que puede ser causa de que al sobrepasarse la resistencia a la tracción, se produzcan grietas en forma de copa. Para un ángulo de hilera determinada, disminuye la importancia de la deformación por cizallamiento al aumentar el tanto por ciento de reducción, por esta razón para reducciones grandes son preferibles los tratamientos teóricos que desprecian la deformación por cizallamiento.

Aunque la deformación de cizallamiento no uniforme es más pequeña, cuando los ángulos son grandes aumenta, en

cambio la fricción contra las paredes de la hilera, como la fuerza de estirado es una función complicada del ángulo de la hilera, la reducción, el límite elástico y la fricción, existirá un ángulo óptimo para que sea mínima la fuerza de estirado necesaria para una reducción determinada. El ángulo óptimo dependerá de la reducción, la lubricación y los materiales implicados, si los demás factores se mantienen constantes, el ángulo óptimo aumenta con el tanto por ciento de reducción. La velocidad de estirado afecta poco a la fuerza, pero para velocidades elevadas es mayor el aumento de temperatura y resulta más difícil la lubricación.

Otro factor que hay que tener en cuenta es la existencia de una retracción en sentido opuesto al estirado, se puede producir una retracción muy elevada originada por las fuerzas de fricción de las bobinas de estirar de las trefiladoras múltiples o bien se puede aplicar a propósito, por razones que se expondrán más adelante. La retracción aumenta la fuerza necesaria para el estirado, pero reduce la fricción con las paredes de la hilera, disminuyendo apreciablemente el desgaste.

TREFILADO SIN FRICCIÓN

Se puede desarrollar una teoría simplificada del estirado, basándose en la hipótesis de que el flujo del metal a través de la hilera puede asimilarse al flujo radial centrípeto de un segmento de esfera. La presencia de -

fricción y cizallamiento (superfluo) se desprecia en este análisis, por lo que se trata de un caso ideal. En la figura 3.6, las tensiones principales son la longitudinal de estirado σ_r y la tangencial compresiva (presión σ_θ)

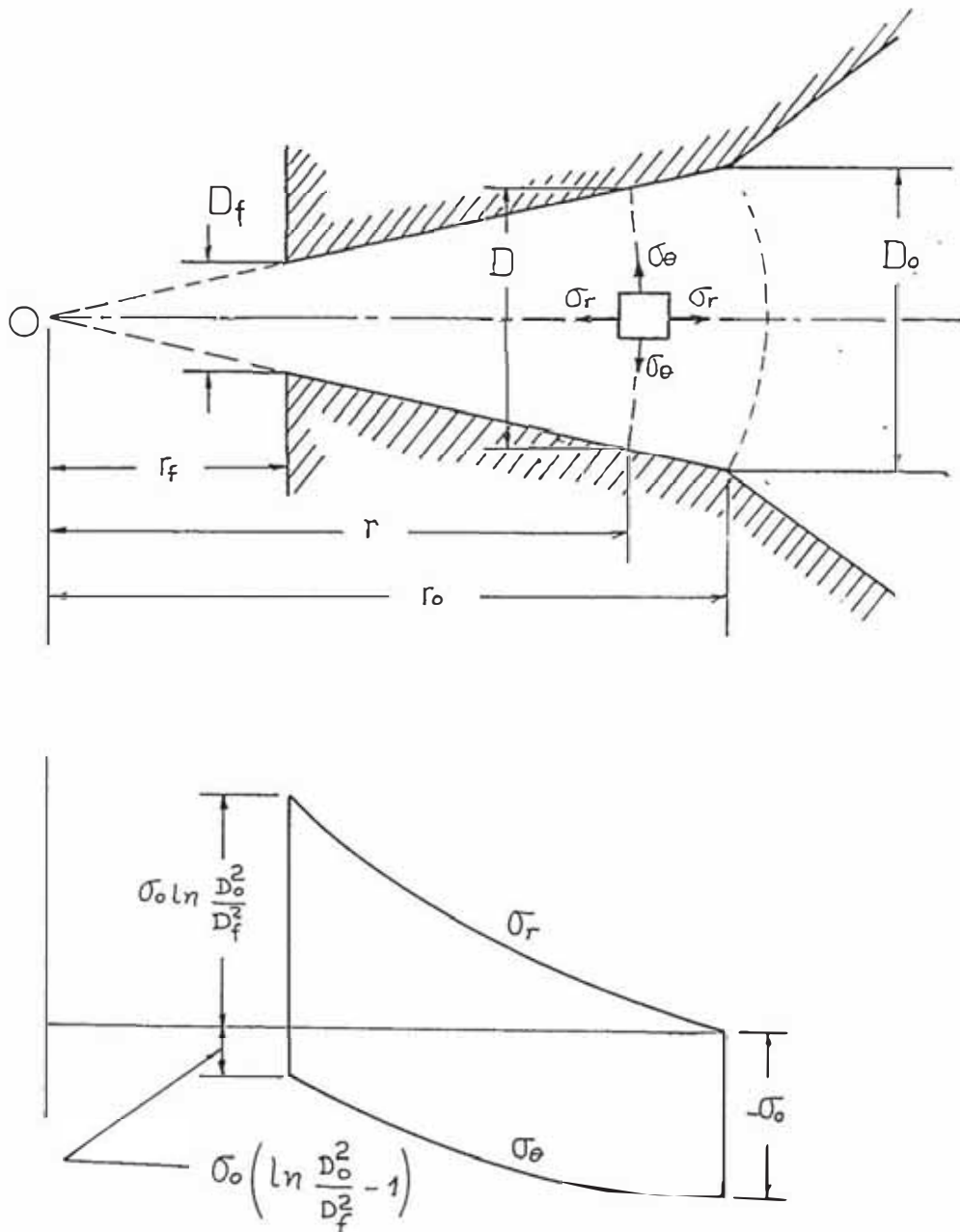


Figura 3.6 - Tensiones en el trefilado sin fricción

de la hilera), σ_r . El estado de tensiones es cilíndrico y se puede aplicar el criterio de energía de distorsión para la fleuencia en la forma:

$$\sigma_r - \sigma_\theta = \sigma_0 \quad (3-13)$$

La ecuación diferencial de equilibrio es:

$$\frac{d \sigma_r}{d r} + \frac{2 \sigma_0}{r} = 0 \quad (3-14)$$

en la que r es la distancia en la dirección del radio de una partícula de una superficie esférica. La integración de la ecuación (3-14) conduce a:

$$\sigma_r = C - \sigma_0 \text{Ln } r^2 \quad (3-15)$$

$$\sigma_\theta = C - \sigma_0 (1 + \text{Ln } r^2) \quad (3-16)$$

La condición de integración puede evaluarse por la condición límite de que a la entrada de la hilera $r = r_0$ y la tensión longitudinal σ_r , se anula

$$0 = C - \sigma_0 \text{Ln } r_0^2$$

o bien : $C = \sigma_0 \text{Ln } r_0^2$

Las ecuaciones para las tensiones principales se convierten en :

$$\sigma_r = \sigma_0 \text{Ln } \frac{r_0^2}{r^2} \quad (3-17)$$

$$\sigma_\theta = \sigma_0 \left(\text{Ln } \frac{r_0^2}{r^2} - 1 \right) \quad (3-18)$$

Estas ecuaciones se expresan más adecuadamente en función del diámetro del alambre, ya que: $\frac{r_0}{r} = \frac{D_0}{D}$

$$\sigma_r = \sigma_0 \operatorname{Ln} \frac{D_0^2}{D^2} \quad (3-19)$$

$$\sigma_\theta = \sigma_0 \left(\operatorname{Ln} \frac{D_0^2}{D^2} - 1 \right) \quad (3-20)$$

El valor máximo de la tensión longitudinal se presenta en la salida de la hilera. Cuando se calcula la ecuación (3-19) para $r = r_f$, el valor de σ_r es igual a la tracción de estirado. La figura (3.6) ilustra sobre las tendencias de σ_r y σ_θ a partir del vértice de la hilera.

Para un material plástico ideal la tracción de estirado no puede exceder del límite elástico

$$\sigma_0 \operatorname{Ln} \frac{D_0^2}{D_f^2} = \sigma_0 \quad (3-21)$$

La reducción de área q , producida por el paso a través de la hilera, está dada por:

$$q = 1 - \frac{D_f^2}{D_0^2} \quad (3-22)$$

Resolviendo la ecuación (3-21) con respecto a D_f^2/D_0^2 , resulta:

$$\frac{D_f^2}{D_0^2} = \frac{1}{e} = 0.37 \quad (3-23)$$

en la que $e = 2.718$ es la base de los logaritmos neperianos. Sustituyendo en (3-22) se obtiene la reducción máxima de área:

$$q_{\text{máx}} = 1 - \frac{1}{e} = 0.63 \quad (3-24)$$

Así, suponiendo que el material es plástico ideal, no se

puede obtener reducciones de área superiores al 63%.

TREFILADO CON FRICCIÓN

Hasta en la hilera mejor lubricada se produce fricción y por eso es necesario tenerla en cuenta en el análisis de las fuerzas de trefilado. La fuerza de fricción en cualquier punto de la hilera, se supone proporcional a la presión normal en ese punto (ley de Coulomb) y actúa en sentido opuesto al movimiento relativo entre hilera y alambre.

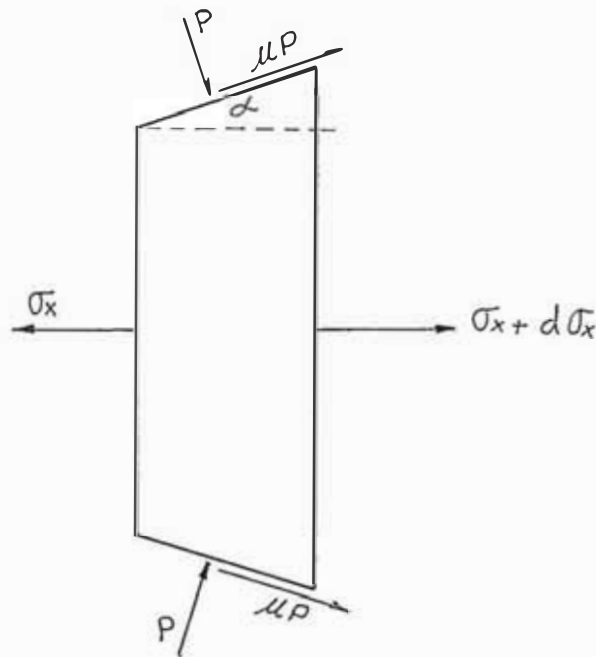


Figura 3.7 - Tensiones que actúan sobre un elemento del alambre

G. Sachs ha elaborado un análisis en el que se incluye - el efecto de la fricción sobre las tensiones del trefilado. El coeficiente de rozamiento se supone constante en toda la intercara hilera-metal y se admite un estado cilíndrico de tensiones a través del alambre. La figura - 3.7 muestra el esquema de tensiones que actúan sobre un

elemento del alambre perpendicular al eje. El equilibrio de fuerzas que actúan a lo largo del eje, se establece entre la tensión longitudinal de tracción σ_x , la componente longitudinal de la fuerza de fricción en la intercara entre los últimos.

Existen tres componentes de fuerzas que actúan en la dirección axial debido a la variación en la tensión longitudinal:

$$(\sigma_x + d\sigma_x) \frac{\pi}{4} (D + dD)^2 - \sigma_x \frac{\pi}{4} D^2$$

debido directamente a la presión de la matriz sobre la circunferencia:

$$p(\pi D \frac{d_x}{\cos \alpha}) \text{Sen } \alpha$$

debido a la resistencia de rozamiento en la circunferencia:

$$\mu p(\pi D \frac{d_x}{\cos \alpha}) \text{Cos } \alpha$$

En condiciones de estirado estacionario debe existir equilibrio, así despreciando los productos infinitesimales:

$$\frac{\sigma_x D dD}{2} + \frac{D^2 d\sigma_x}{4} + p D d_x \text{tg} \alpha + \mu p D d_x = 0$$

puesto que $dD = 2d_x \text{tg} \alpha$, podemos escribir:

$$2\sigma_x dD + D d\sigma_x + 2p dD + 2\mu p dD \text{ctg} \alpha = 0$$

$$D d\sigma_x + 2 \left| \sigma_x + p(1 + \mu \text{cotg} \alpha) \right| dD = 0 \quad (3-25)$$

El equilibrio radial da:

$$\sigma_r (\pi D d_x) = - p(\pi D \frac{d_x}{\cos \alpha}) \text{Cos } \alpha + \mu p(\pi D \frac{d_x}{\cos \alpha}) \text{Sen } \alpha$$

$$\sigma_r = - p(1 - \mu \text{tg} \alpha)$$

Normalmente se puede despreciar $\mu \operatorname{tg} \alpha$ si se le compara con la unidad. Los valores típicos para el cobre son: $\mu = 0.16$; $\alpha = 08^\circ$; $\mu \operatorname{tg} \alpha = 0.022$. Entonces el estado de tensión es cilíndrico y las tensiones principales son $\sigma_1 = \sigma_x$, $\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_r = -p$.

Como sabemos, si dos tensiones principales son iguales, el sistema es equivalente a una tensión uniaxial, combinada con una tensión hidrostática, de manera que la deformación permanente tenga lugar para el valor σ_0 . Todos los criterios de deformación deben dar este resultado.

$$\text{VON MISES: } (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2(\sigma_1 - \sigma_3)^2 = 2\sigma_0^2$$

$$\text{TRESCA : } \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) = K = \frac{1}{2} \sigma_0$$

En consecuencia en el estirado de barra $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_0$, así:

$$\sigma_x + p = \sigma_0 \quad (3-26)$$

Combinando esta condición de deformación permanente con la ecuación (3-25) y escribiendo de nuevo $B = \mu \cot \alpha$,

$$\frac{d\sigma_x}{B\sigma_x - \sigma_0(1+B)} = 2 \frac{dD}{D} \quad (3-27)$$

Al integrar esta ecuación hay que tener en cuenta la posibilidad de que exista una retracción σ_{xb} . La condición en el límite es que para $D = D_0$; $\sigma_x = \sigma_{xb}$ con lo que se obtienen las siguientes expresiones para σ_x y p :

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_0} = \frac{1+B}{B} \left| 1 - \left(\frac{D}{D_0}\right)^2 \right|^B + \frac{\sigma_{xb}}{\sigma_0} \left(\frac{D}{D_0}\right)^2 \quad (3-28)$$

$$\frac{p}{\sigma_0} = \frac{1}{B} \left| 1 + (1+B) \left(\frac{D}{D_0}\right)^2 \right|^B - \frac{\sigma_{xb}}{\sigma_0} \left(\frac{D}{D_0}\right)^2 \quad (3-29)$$

La tracción de estirado σ_{xf} es la tensión axial en la salida de la hilera en la que es $D = D_f$:

$$\sigma_{xf} = \sigma_0 \frac{1+B}{B} \left| 1 - \left(\frac{D_f}{D_0}\right)^2 \right|^B + \sigma_{xb} \left(\frac{D_f}{D_0}\right)^2 \quad (3-30)$$

Cuando no hay retrotracción, la ecuación (3-30) se reduce a:

$$\sigma_{xf} = \sigma_0 \frac{1+B}{B} \left| 1 - \left(\frac{D_f}{D_0}\right)^2 \right|^B \quad (3-31)$$

La ecuación (3-30) indica que la tracción de estirado aumenta con retrotracción en una cantidad menor que el valor de ésta, cuanto mayores son la reducción y el valor de la constante B, tanto más pequeño es el efecto de la retrotracción sobre la tracción de estirado. El valor de la reducción máxima posible, disminuye al aumentar la retrotracción, puesto que en presencia de ésta aumenta la tracción de estirado y se alcanza más pronto el límite $\sigma_{xf} = \sigma_0$, pero la retrotracción ofrece la ventaja de que disminuye la presión en la hilera y aumenta apreciablemente la duración de ésta.

Para incluir el endurecimiento por deformación en la ecuación SACHS, se emplea un valor medio del límite elás-

tico comprendido entre los del metal, antes y después de pasar por la hilera. Davis y Dokos, han desarrollado un tratamiento analítico del trefilado, en el que se tiene en cuenta el endurecimiento por deformación, mediante el empleo de una ecuación potencial de la curva tensión-deformación.

En el análisis de Sachs, no se tiene en cuenta el trabajo superfluo, resultante de la deformación por cizallamiento. Esta deformación no es grande, cuando los ángulos - de la hilera son pequeños o cuando las deformaciones son grandes y los ángulos mayores. Estos factores pueden relacionarse mediante el parámetro Δ :

$$\Delta = \text{Sen } \alpha \frac{D_0 + D_f}{D_0 - D_f}$$

Para valores de Δ inferiores que 0.9, el trabajo superfluo no tiene importancia y la ecuación de Sachs permite el cálculo bastante exacto de la tracción de estirado.

Se ha encontrado que cuando los ángulos de la hilera son menores de 6° , aproximadamente la ecuación de Sachs da diferencias de $\pm 10\%$ con los resultados experimentales.

Whitton ha desarrollado una corrección empírica para el trabajo superfluo que permite predecir la tracción de estirado para ángulos de 5° a 25° y reducciones del 10% al

50% :

$$\sigma_{xf} = \sigma_0 \frac{1+B}{B} \left| 1 - \left(\frac{D_f}{D_0} \right)^2 \right|^B + \frac{2}{3} \left(\frac{\pi}{4} D_f^2 \right) \sigma_0 \frac{\alpha^2 (1-\alpha)}{\alpha}$$

donde : α = semiángulo
 q = reducción de área

También cabe mencionarse, que E. Siebel fué quien dió - a conocer los conceptos más recientes acerca de la distribución de las tensiones y de las líneas de desliza - miento durante el trefilado. En la figura 3.8 se mues tra la distribución de las tensiones en el trefilado se gún Siebel, recurriéndose a los teoremas derivados por

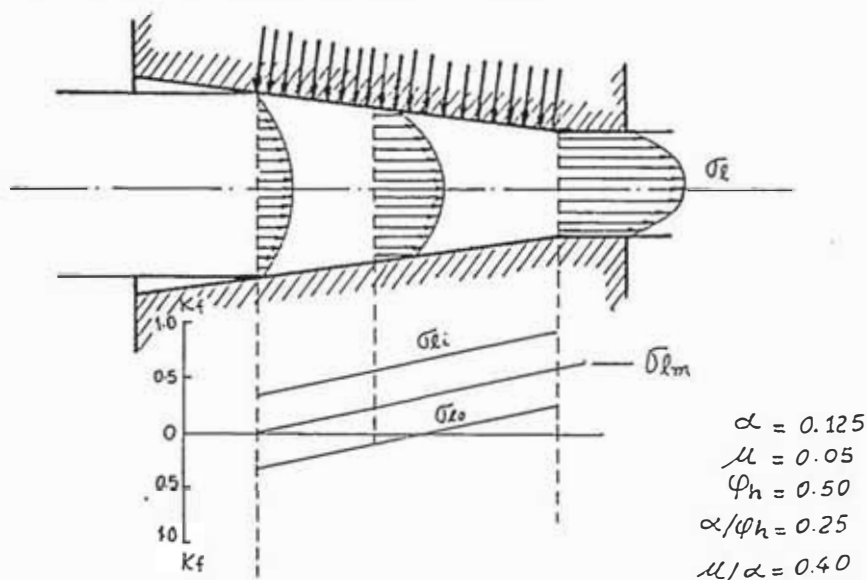


Figura 3.8 - Distribución de las tensiones durante el estirado del alambre (según E. Siebel).

Henky acerca del equilibrio de las masas plásticas y del curso de las capas de deslizamiento, figura 3.9. De conformidad con esto, la transformación se realiza por traslaciones en las superficies de deslizamiento, situadas verticalmente superpuestas, en las que se produce una tensión tangencial $\tau = \frac{K_f}{2}$. Las intersecciones de las superficies de deslizamiento con un plano

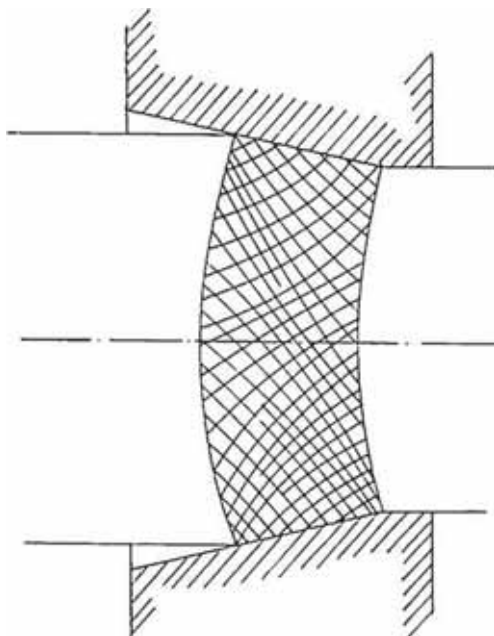


Figura 3.9 - Curso de las líneas de deslizamiento durante el estirado del alambre (según E. Siebel).

dispuesto perpendicularmente a las mismas, proporcionando familias de curvas rectangulares que se cruzan, discurrendo invariablemente dos curvas de la misma familia inclinadas con igual ángulo entre sí. A lo largo de una línea de deslizamiento se modifica entonces la presión media, de conformidad con el producto de la resistencia a la deformación y la variación de inclinación de la línea de deslizamiento. El sistema de capas de deslizamiento, según la figura 3.9, responde a los requisitos citados y cumple también las condiciones marginales en la pared del útil de trefilar.

Según Siebel, la transformación se realiza en el dado al estirar un alambre con la acción simultánea de la

carga de tracción F , aplicado al referido alambre y de la presión transversal p que se produce a modo de es fuerzo de reacción en la pared del dado figura 3.10.

Dicho esfuerzo de reacción p no se manifiesta en este caso perpendicularmente a la pared de la mencionada hi lera de trefilado, sino que actúa, respecto a la perpendicular sobre la referida pared de la tobera de tre filado, con un ángulo de inclinación.

Siebel, obtiene la ecuación aproximada para el esfuerzo de tracción:

$$F = \sigma_1 (A_0 - A_1) \left(1 + \frac{\mu}{\alpha}\right)$$

o bien con mayor exactitud:

$$F = A_1 K_{fm} \left(1 + \frac{\mu}{\alpha} + \frac{2\alpha}{3\phi}\right)$$

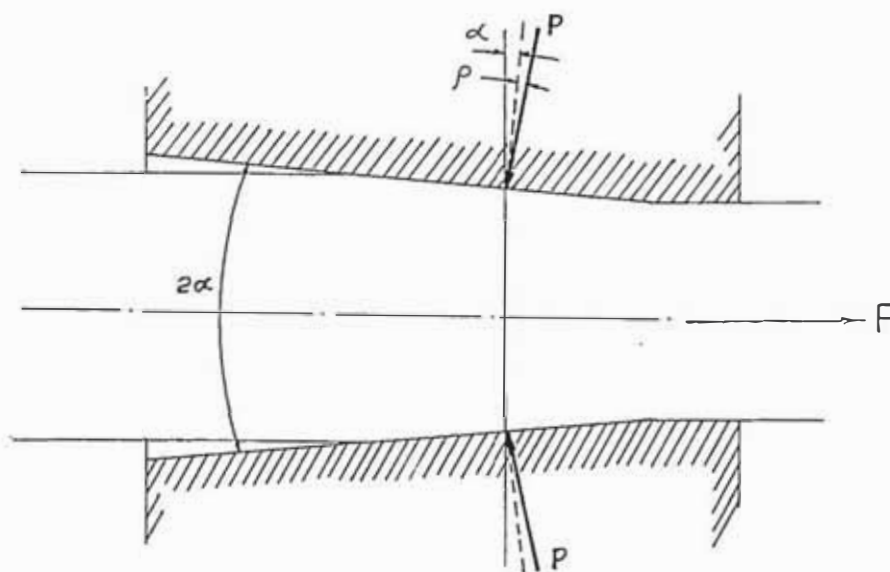


Figura 3.10 - Esquema del proceso de trefilado (según E. Siebel)

La tensión media longitudinal en el alambre a la salida, se obtiene de acuerdo con:

$$\sigma_{em} = \frac{F}{A_1} = K_{fm} \left(1 + \frac{\mu}{\alpha} + \frac{2\alpha}{3\phi} \right)$$

ϕ = relación logarítmica de deformación =

$$\ln \frac{A_0}{A_1}$$

$$\epsilon = \text{deformación relativa} = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \text{ en } \%$$

representando en este caso el rendimiento de deformación:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{\mu}{\alpha} + \frac{2\alpha}{3\phi}}$$

K_{fm} = representa la resistencia media a la deformación que viene a corresponder aproximadamente a la media aritmética de la resistencia a la tracción σ_{B0} y σ_{B1} , antes y después del estirado.

$$K_{fm} = \frac{\sigma_{B0} + \sigma_{B1}}{2}$$

Por consiguiente la disminución máxima admisible de la sección por cada operación de estirado, resulta ser:

$$q_{max} < \frac{\sigma_{B1}}{K_{fm}} \frac{1}{1 + \frac{\mu}{\alpha} + \frac{3\alpha}{3\phi}}$$

3.3.2. La potencia de trefilado.

En las máquinas trefiladoras de un mismo tipo pueden presentarse las más diversas variantes, ya sea en el motor, caja de cambios, número de tambores de arrastre, número de dados, etc.

Por lo tanto es necesario tener presente los requerimientos del mercado, más que nada del tamaño de la planta, éste es un factor muy importante para su diseño. Nosotros no tomaremos en cuenta el estudio del mercado porque solo se trefilará hasta obtener un alambre de calibre N° 6 y con otras tres trefiladoras se continuará trefilando hasta obtener lo requerido, por esto nos proponemos diseñar una máquina trefiladora múltiple, el que es nuestro objetivo principal.

La base fundamental del diseño constituye la determinación del caballaje del motor principal.

Para esto es necesario calcular la fuerza requerida para jalar el alambre a través del dado.

Para esta parte del cálculo, utilizaremos una fórmula desarrollada experimentalmente por Mr. E. W. Clark.

$$\text{Fuerza de jalado (lbs)} = T_s \times (A - a) \left| 1 + \mu \cot \alpha \right|$$

donde: T_s = Esfuerzo de tensión en PSI del alambre

- A = Area del alambre que entra al dado
 a = Area del alambre trefilado
 α = Semiángulo del dado
 μ = Coeficiente de fricción (0.16 para el cobre).

El diagrama N° 1 nos da los coeficientes de fricción para varios materiales, además muestra un grupo de curvas que nos dan el valor de la expresión $|1 + \mu \cot \alpha|$ para varios ángulos de dados y coeficientes de fricción.

Una vez determinada la fuerza de jalado se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{HP por dado} = \frac{\text{Fuerza de jalado} \times \text{Velocidad de jalado}}{33,000}$$

Para tener la potencia total se suman los HP de todos los dados y se deben añadir por las pérdidas. Este procedimiento es general para aluminio, bronce, cobre, acero, etc.

3.3.3. Velocidad de trefilado

Actualmente el estado de evolución técnica de las modernas trefiladoras múltiples, según las investigaciones realizadas, han demostrado que las velocidades muy elevadas no ejercen influencia alguna sobre las propiedades mecánicas del alambre estirado y que no establece límite alguno a dicha velocidad, cuando - las instalaciones técnicas lo permiten. Además, durante el trefilado de alambre, deberá tenerse muy en cuenta lo siguiente:

1. La trefiladora deberá permitir un enhebrado en los dados, suave y sin percusiones.
2. Deberá disponerse de suficiente cantidad de agua de refrigeración, cuya temperatura por otra, es necesaria para la refrigeración de los dados, no deberá exceder de 10 a 12°C.
3. Al pasar por los dados, el alambre deberá estar lo suficientemente lubricado para reducir al mínimo el rozamiento entre la superficie del mismo y la pared del cono de estirar el dado.
4. Cuando se emplean grandes velocidades, no deberá desgarrarse la película lubricante existente sobre el alambre.

5. Deberán utilizarse unos dados, cuya abertura de entrada, cono de estirar, cuerpo cilíndrico, cono antagonista y abertura de salida, tenga una forma de acuerdo con la disminución de sección.

Durante el trefilado del alambre a elevadas velocidades, deberá prestarse especial atención a la elevación de la temperatura, porque esta circunstancia puede dar lugar a una importante alteración de las propiedades mecánicas - del alambre trefilado. Durante los ensayos llevados a cabo, se comprobó que una ligera elevación de la temperatura, trae consigo una muy considerable elevación del límite de estiraje, de la resistencia a la tracción y en especial del límite de elasticidad.

Otras investigaciones y ensayos realizados han demostrado que a causa de la deformación plástica, durante el trefilado a elevadas temperaturas, se produce un aumento de la temperatura, aumento que en la superficie del alambre es proporcional al coeficiente de rozamiento, a la resistencia media a la deformación y a la raíz del múltiplo de la velocidad de trefilado y de la longitud del cono de estiraje. Sin embargo el calentamiento irregular, de la superficie del alambre y del alma del material de trefilado se compensa rápidamente detrás del dado, al enrollarse el alambre en la bobina, cuando la camisa de ésta, está bien refrigerada. La refrigeración intensa - de los dados y de las camisas de las bobinas, durante el

estirado del alambre en las trefiladoras múltiples es un requisito indispensable para conseguir una calidad perfecta y buenas propiedades mecánicas y en especial para lograr un trefilado sin rozamiento con velocidades de trefilado altas y máximas. Además, a altas velocidades se consume mayor potencia para la misma reducción que si se hubiera trabajado a baja velocidad. La velocidad está ligada fundamentalmente de la demanda, de la capacidad de la planta.

En trefiladoras múltiples pesadas para trefilar alambres de calibres menores, generalmente se utilizan velocidades bajas y en las de calibres mayores, velocidades altas.

En nuestro caso, la máquina trefiladora múltiple a diseñarse, es una máquina pesada, porque el diámetro de entrada del alambrón es de 5/16" y se requiere una velocidad baja a la salida de la última etapa de reducción, como la potencia está en función de la velocidad y del porcentaje de reducción, entonces tendremos un motor principal de menor potencia.

3.4. LUBRICACION EN EL PROCESO DE TREFILADO

El trabajo de deformación durante el trefilado, se determina principalmente con dos componentes: el trabajo empleado para la deformación plástica y el trabajo para superar las fuerzas de rozamiento entre el alambre y la

superficie del canal de la hilera.

El trabajo empleado para superar las fuerzas de rozamiento puede ascender a 60...80% del trabajo total. La elevación del valor de trabajo para el trefilado, influye negativamente en las condiciones de explotación de las trefiladoras. El trabajo de rozamiento pasa a la energía térmica y como resultado se eleva la temperatura de la hilera, de los tambores de arrastre y del mismo alambre, un calentamiento excesivo acarrea un desgaste elevado de las hileras, para reducir la fuerza de rozamiento a la zona de deformación, se introducen diversos lubricantes. Los lubricantes empleados para el trefilado deben tener propiedades especiales de acuerdo con las condiciones de la deformación en la hilera. El lubricante debe poseer una gran actividad superficial. La fuerza de cohesión del lubricante, con la superficie del metal, debe ser tal, que éste penetre en la zona de deformación, cuanto mayor sea la actividad superficial del lubricante, éste penetra más en la zona de deformación, en esta zona el lubricante es expuesto a una gran presión y se calienta. En las condiciones indicadas, el lubricante no debe destruirse o aglomerarse, para el labrado de metales a presión se diferencian los siguientes tipos de lubricantes: metálicos, sólidos, consistentes, aceites, líquidos lubricantes, refrigeradores acuosos, gaseosos. Al trefilar aceros se emplean lubricantes metálicos, sólidos, consistentes y líquidos lubricantes refrigeradores acuosos.

Cuanto mayor es el rozamiento, mayor es la carga requerida para producir una deformación determinada, en consecuencia, se ha dado mucha importancia al problema de conseguir valores bajos de los coeficientes de rozamiento. Sin embargo, este problema no es el más importante en la elección del lubricante, para el trefilado del alambre tiene mayor importancia eliminar toda posibilidad de deterioro causado por la transferencia de metal, desde la pieza a las herramientas. La vida de la hilera se puede prolongar, bien reduciendo el rozamiento o bien evitando el contacto metálico con el alambre, sin embargo si la película del lubricante es demasiado gruesa puede producirse una superficie mate.

3.4.1. Transferencia del metal

La consecuencia más grave de una lubricación inadecuada, es la adherencia del metal de la pieza a la herramienta, esta adherencia puede ocurrir con más facilidad en algunos materiales que en otros, pero puede limitar seriamente el intervalo posible de reducciones de sección por pasada. Un factor vital en la mayoría de las operaciones, es la cantidad de lubricante existente en la zona de trabajo, entre el alambre y la hilera, si esto es suficiente para llenar todas las depresiones y cubrir las mayores elevaciones de la superficie, entonces el proceso puede continuar, pero cuando el espesor de la película de lubricante cae por debajo de este límite

te, existe el peligro de contacto metálico seguido de adherencia.

La transferencia metálica puede tener lugar de dos maneras diferentes: una está asociada, en primer lugar, con las superficies rugosas de las hileras, si la película de lubricantes se agota, el metal de la pieza puede ser forzado a entrar en las hendiduras de la herramienta, de la misma manera que en una operación de acuñado, se reproduce exactamente el perfil de aquella. El movimiento tangencial posterior a lo largo de la cara de la herramienta, tiende a cizallar el metal blando que sobresale dejando detrás fragmentos sueltos, normalmente esto proporciona un acabado defectuoso de la superficie; pero no desastroso. El otro tipo de transferencia es adhesivo y es mucho más grave, se puede originar por diversas causas, incluyendo pequeñas partículas de óxido o cascari-lla que quitan las películas protectoras superficiales, dejando el metal desnudo, si se ponen en contacto dos de estas superficies bajo la presión de trabajo, tienden a soldarse, haciendo que un fragmento de la pieza se desgarre por cizallamiento posterior y quede firmemente adherido a la herramienta, en la zona en que se ha arrancado el fragmento, aparece una superficie reciente que normalmente sobresale de la película del lubricante que la rodea, de manera que la adherencia se hace cada vez peor. Con frecuencia este fenómeno impide la operación de conformado y las hileras tienen que repararse, la adheren-

cia depende, en condiciones reales, de la naturaleza de los materiales.

3.4.2. Efectos beneficiosos del rozamiento

No siempre es conveniente reducir el coeficiente de rozamiento a un mínimo, pero aún en estos casos, se debe evitar que el material se adhiera a la herramienta o hilera.

Evidentemente en los diversos tipos de mordazas de tracción que se utilizan en el conformado de metales es conveniente un rozamiento muy grande. Los mecanismos de embrague requieren que exista, un compromiso entre la necesidad de transmitir un par grande cuando se embraga totalmente y la necesidad de un deslizamiento suficiente para obtener un embrague suave, sin saltos bruscos, ya que la mayoría de las instalaciones de conformado de metales son de accionamiento directo.

3.4.3. Principios fundamentales de la lubricación

Aunque las distinciones no siempre son claras es normal considerar la lubricación bajo aspectos diferentes: hidrodinámica, de contorno, de presión extrema y de película sólida. La función principal de un lubricante en el conformado de metales, es evitar la adherencia de material, también es conveniente que un lubricante reduzca el desgaste y el rozamiento, pero lo último, normalmente es lo menos importante. Siempre que sea posible,

la película del lubricante se debe mantener lo suficientemente gruesa como para separar completamente las superficies. No existe ninguna ventaja en exceder este espesor. En presencia de una película muy delgada de lubricante, cada cristal de metal se deforma libremente, de acuerdo a su orientación cristalográfica, produciendo un aspecto mate, esto no altera las propiedades mecánicas o metalúrgicas del producto final, pero dificulta la inspección visual de los defectos y normalmente se considera como perjudicial. Por otro lado, el aspecto altamente pulido, con frecuencia muy apreciado en el conformado de metales, se puede obtener a riesgo de adelgazar la película del lubricante hasta un nivel próximo al de rotura.

3.4.3.1. Lubricación hidrodinámica y de película gruesa

Bajo ciertas condiciones se puede formar películas gruesas de lubricante, mediante las fuerzas viscosas que actúan sobre el fluido. Este fenómeno se favorece con un ángulo pequeño entre la herramienta y la pieza y mediante una gran velocidad relativa. Caso específico la resistencia viscosa ejercida sobre un lubricante mediante un alambre de cobre que se mueve a gran velocidad puede obligar a entrar cantidades apreciables en una hilera de ángulo pequeño, si a esta hilera se adapta herméticamente una boquilla cilíndrica perfectamente diseñada que rodea el alambre, es posible generar en el aceite una

presión suficientemente grande como para deformar un alambre de cobre, antes de que penetre realmente en la hilera. El mismo resultado se puede obtener con alambre de acero, si se utiliza jabón como lubricante, siempre - que se pueda superar el problema de partida.

Para aplicaciones generales, es posible incrementar la - cantidad de lubricante que entra en el espacio de trabajo, atrapándolo en las cavidades superficiales formadas o directamente sobre el alambre o mediante un tratamiento superficial adecuado, tal como la fosfatación.

Otro método es utilizar una película polimétrica con una resistencia y una adherencia al metal adecuados que pueda proporcionar una buena protección contra la transferencia de material, aunque puede ser conveniente reducir el rozamiento, en algunos casos, mediante una película - suplementaria de jabón o aceite.

3.4.3.2. Lubricantes de capa límite y de presión extrema

Algunos lubricantes son muy eficaces en forma de películas muy delgadas. Numerosos experimentos con pequeños deslizadores bajos cargas ligeras, han demostrado que aún capas monomoleculares de algunos compuestos, proporcionan rozamiento pequeño, lógicamente estas películas se gastan rápidamente, estos compuestos se conocen como lubricantes de capa límite, son particularmente efi

caces los ácidos grasos líquidos y sólidos, la razón de su eficacia es que reaccionan con una superficie metálica, para formar un jabón metálico sólido. Sobre un metal no reactivo, los ácidos grasos no son mejores que las parafinas de igual peso molecular. Los compuestos orgánicos de largas cadenas que son sólidas, tienen buenas propiedades lubricantes, pero se unen con menos fuerza a las superficies metálicas que a los productos reactivos.

En el conformado de metales se crean superficies nuevas a medida que las piezas se deforman, un criterio importante de la lubricación es que las superficies nuevas, altamente reactivas, deben ser protegidas por una película de lubricantes o de un producto reactivo antes de que pueda ponerse en contacto con el metal de la hilera.

Una desventaja de los lubricantes de capa límite, es que normalmente son compuestos orgánicos que se descomponen a temperaturas próximas a 250°C o menores, para la protección a temperaturas más elevadas se utilizan compuestos orgánicos elevados, estos compuestos reaccionan para formar cloruros sólidos, tales como FeCl_2 que se descomponen a unos 350°C , estos compuestos se crearon, primeramente para su utilización en engranajes sometidos a altas presiones y se conocen como aditivos de presión extrema, aunque su acción depende principalmente de la temperatura.

En resumen para el trefilado de los metales no ferrosos y aleaciones duras, los lubricantes más corrientes son el jabón sódico aplicado a los tubos por inmersión en una solución en caliente o el estearato cálcico que se toma mediante un alambre procedente de un recipiente de jabón cercano a la hilera. Normalmente el revestimiento se perfecciona mediante un depósito previo de fosfato, oxalato u otro compuesto similar que ayuda a atrapar el lubricante y también proporciona una protección adicional contra la adherencia del material. También se utilizan con éxito diversos aceites que contienen aditivos grasos o clorados y a veces compuestos sulfonados, pero en general requieren un control más cuidadoso del diseño de la matriz y otras peculiaridades. Los aceites tienen la ventaja de poderse aplicar fácilmente a la superficie de la hilera y de no retener arena o partículas de óxido tan fácilmente como lo hacen los revestimientos jabonosos, también son fáciles de eliminar, para operaciones rigurosas, los revestimientos poliméricos pueden proporcionar una mayor protección, pero son más costosos de aplicar y de eliminar.

Finalmente son condiciones fundamentales de un buen lubricante, cumplir las siguientes funciones:

- a) Impedir el contacto directo entre la hilera y el alambre que se hace pasar a través de ella.
- b) Reducir la resistencia al rozamiento de las superfi-

cies con deslizamiento recíproco hilera-alambre.

- c) Mantener reducida la cantidad de calor originado y asumir la acción necesaria refrigeradora.
- d) Aumentar la duración de las hileras.
- e) Reducir el peligro de transferencia metálica o adherencia que es el problema más grave en el trefilado.

3.4.4. Sistema de lubricación o refrigeración

Debido a la fricción entre el dado y alambre se genera calor, se puede considerar que todo el caballaje del motor de la trefiladora es convertido en calor dentro de la caja de la máquina, del 5% al 10% son pérdidas en la máquina, las cuales pueden ser absorbidas por el aceite, otros 5% a 10% pueden ser pérdidas por resbalamiento entre el alambre y el jalador, el resto se convierte en calor en el dado.

Por todas estas razones, la máquina de trefilación necesita de un sistema de refrigeración, el refrigerante usado es agua mezclada con aceite de origen animal. El enfriamiento por refrigerante es realizado dejando que un chorro de refrigerante, bane la parte del jalador o tambor de arrastre que está en contacto con el alambre, este es el lugar donde se produce el deslizamiento y por lo tanto calor, otros chorros de refrigerante también bañan los portadados, fuente principal de calor.

La solución refrigerante debe ejecutar las siguientes funciones:

1. Lubricar el alambre
2. Refrigerar el dado
3. Refrigerar el alambre
4. Refrigerar el tambor de arrastre

Se recomienda la circulación de la solución refrigerante en la relación de un galón por minuto por HP del motor principal, esta relación es adecuada para absorber todo el calor generado por el caballaje con un aumento de 5°F en la temperatura de la solución, además es perdido gran cantidad de calor a través de la caja de la máquina, la solución probablemente pueda aumentar de 3°F a 4°F . La temperatura de la solución no debe exceder los 120°F , es preferible tratar de mantenerla a 110°F , si se deja aumentar la temperatura del refrigerante se producirán roturas en el alambre.

La instalación esquemática del bombeo del refrigerante se ve en la figura N° 3.11.

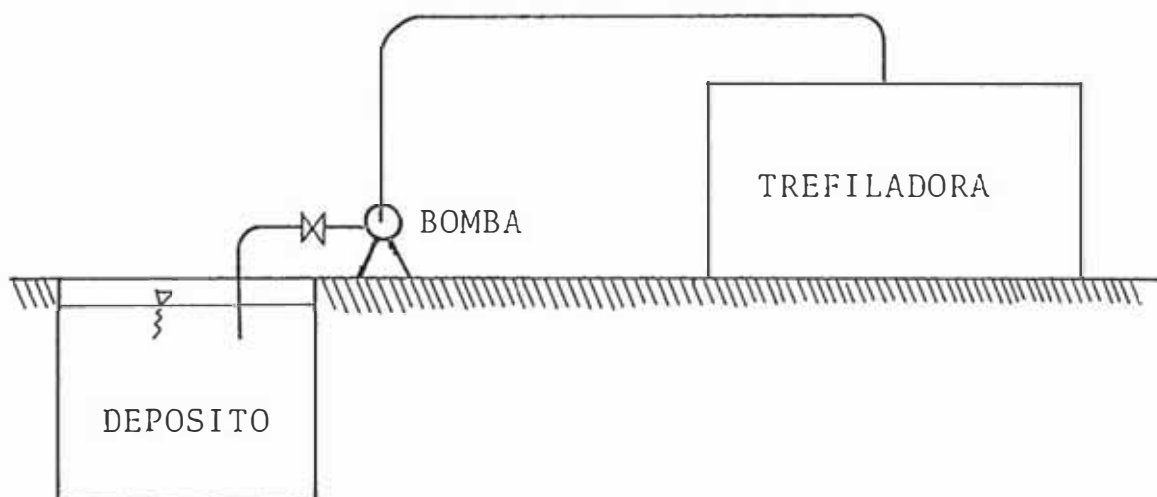


Figura 3.11

CAPITULO IV

4.0. TIPOS DE TREFILADO Y SELECCION DEL SISTEMA MAS ADECUADO

Para la fabricación de alambre se emplean trefiladores de una hilera y de una serie de hileras, sin deslizamiento y con deslizamiento o resbalamiento. Las trefiladoras para la fabricación de alambre se llama de tambor, si éstas funcionan arrollando el alambre sobre un tambor, o de carrete, si el alambre se arrolla sobre bobinas. Las trefiladoras de una hilera de tambor se emplean para la producción de alambre con un diámetro mayor que 6 mm. El alambre con un diámetro menor que 6 mm se fabrican en trefiladoras de tambor con hileras múltiples. Por su cinemática se diferencian las trefiladoras con resbalamiento del alambre con respecto a los tambores de tracción y sin resbalamiento.

Al producirse alambre con un diámetro mayor que 6 mm, se emplean trefiladoras de una pasada. El material inicial para las trefiladoras de una hilera es el laminado en caliente de 8 a 20 mm de diámetro. Antes del trefilado el metal es expuesto al decapado y después de afilar el extremo se envía a la trefiladora. El metal semiacabado en forma de bulto se coloca sobre un cono de rotación libre. El extremo afilado del alambre se pasa a través del canal de trefilado de la hilera y se sujeta con las

tenazas de arrastre, con las cuales el alambre se trefila a una longitud determinada.

Después de arrollarse dos o tres espiras, la trefiladora se para y el alambre se asegura directamente en el tambor. El trefilado del extremo del alambre semiacabado y el trefilado se realiza a cuenta del esfuerzo que desarrolla el tambor. Cuando se requiere una reducción ulterior del diámetro del alambre, se realiza un nuevo trefilado.

4.1. TREFILADO CON RESBALAMIENTO

Las poleas de tracción y de guía en las trefiladoras con resbalamiento se hacen escalonadas, tal como se muestra en la figura (4.1) y giran con una velocidad angular constante.

El diámetro en los escalones de las poleas aumenta a medida que se reduce la sección del alambre proporcional al estirado. Prácticamente la velocidad lineal en los escalones de las poleas es en 2-5% mayor que la velocidad del alambre. Las normas de fabricación de máquinas trefiladoras, recomiendan que no debe existir más del 5% de resbalamiento, como máximo, de lo contrario el alambre se desgasta por el mayor contacto con la superficie del tambor.

El esfuerzo de trefilado, lo mismo que en las trefiladoras sin resbalamiento, se determina por la fuerza de ro

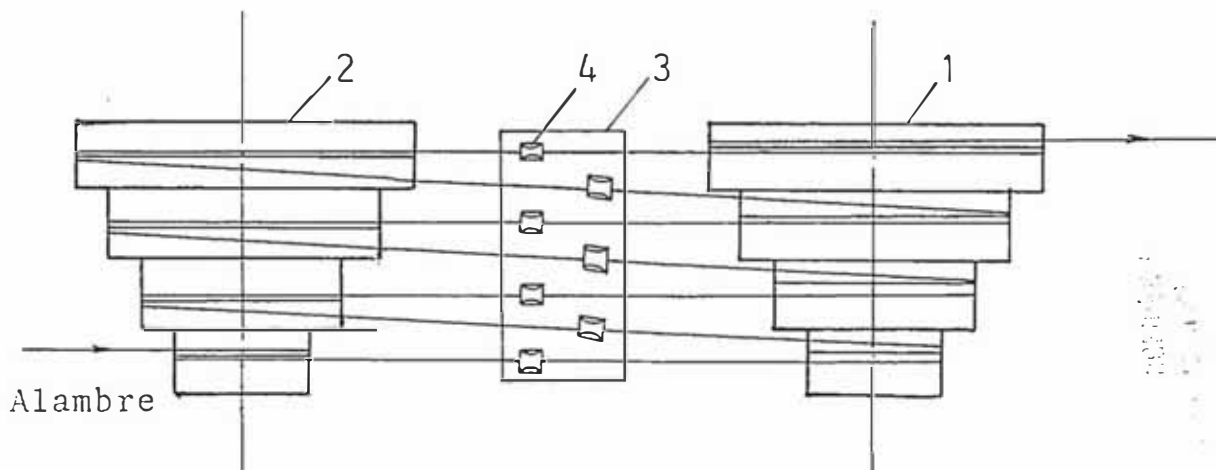


Figura 4.1.- Esquema de trefilado con resbalamiento

zamiento en la superficie de contacto de la polea y el alambre.

El proceso de trefilado de alambre en trefiladoras con resbalamiento se realiza de la siguiente manera: del dispositivo de desenrollado, el alambre con el extremo afilado se hace pasar a través de la primera hilera y se enrolla alrededor de la polea de tracción 1, dos o tres veces y se pasa libremente por el portahileras 3 a la polea guía 2. El esfuerzo de trefilado se crea en la polea de tracción; la polea guía sirve para cambiar la dirección de trefilado. El trefilado en la hilera 4 se efectúa en el escalón de la polea de mayor diámetro, etc. En trefiladoras con dos pares de poleas escalonadas se realiza el trefilado a través de una gran cantidad de hileras (hasta 25), con una reducción relativa total del -

espesor hasta el 90%.

Las trefiladoras que funcionan con resbalamiento del alambre sobre la superficie de las poleas de arrastre, se emplean principalmente para la fabricación de alambres con diámetros más pequeños. Sin embargo como el cobre es material bastante dúctil, se puede usar este sistema de trefilado.

4.2. TREFILACION SIN RESBALAMIENTO

En las trefiladoras de pasadas múltiples, tal como se muestra en la figura 4.2, es el tipo de las trefiladoras sin resbalamiento y generalmente las de una sola pa-sada son de este tipo.

En la figura 4.2, el alambre 1 se deforma simultáneamente en varias hileras 2.

La fuerza de rozamiento que surge entre la superficie del tambor de arrastre 3 y el alambre, realiza el arrastre del alambre a través de la hilera. Las trefiladoras modernas tienen accionamiento individual de los tambores de arrastre, mediante la caja de velocidades 4. La trefiladora de pasadas múltiples es una máquina con un principio de funcionamiento continuo, es decir, simultáneamente el alambre se deforma en varias hileras y la velocidad angular de todos los tambores de arrastre está restringida por la constancia de los volúmenes por segundo del metal, la velocidad de salida del alambre después

de cada hilera.

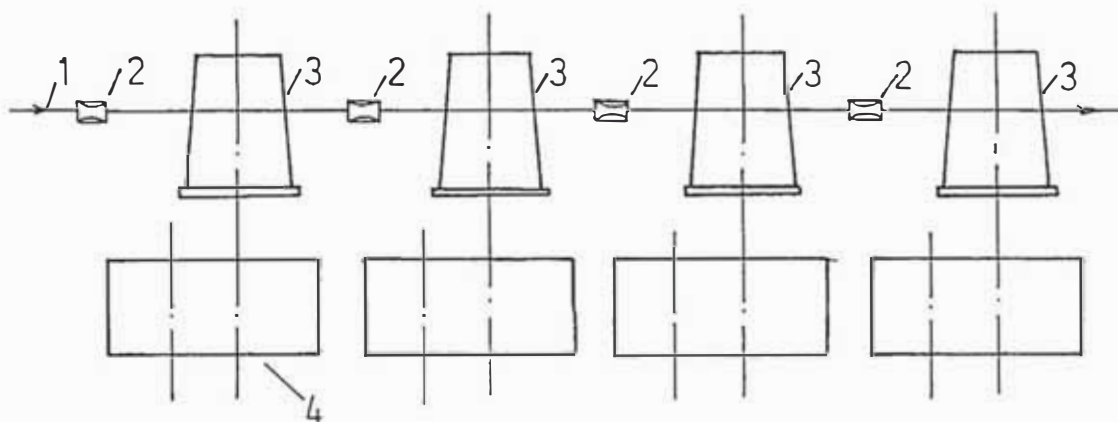


Figura 4.2

La constancia de los volúmenes por segundo en los trefilados de pasadas múltiples, de tipo unidireccional, figura 4.2, se asegura seleccionando el diámetro útil y el número de revoluciones de los tambores de arrastre.

Las trefiladoras de pasadas múltiples sin resbalamiento, son las de mayor difusión. En primer lugar, estas trefiladoras aseguran un amplio surtido en dimensiones y, en segundo lugar, el alambre en estas máquinas obtiene una gran deformación total durante el trefilado, como resultado de pasar por una gran cantidad de dados o hileras (hasta 15).

4.3. SELECCION DEL SISTEMA MAS ADECUADO

4.3.1. Parámetros de selección

- CONSUMO DE POTENCIA. En una trefiladora múltiple se requiere tener una cantidad de dados, en ca

da etapa de reducción es necesario suministrar la potencia para estirar el alambre, analicemos la trefiladora múltiple sin resbalamiento, la instalación de tambores de arrastre se hace en serie, una a continuación de otra y también cada uno de los tambores tendrá un eje independiente accionado por motores eléctricos independientes, los que hay que seleccionarlos con un factor de servicio cada uno de ellos. Esto hace que la suma de todas las potencias de los motores sea sobredimensionada la capacidad instalada de consumo de energía, esto significa un costo adicional. En cambio en una trefiladora múltiple con resbalamiento, se utiliza un motor principal, si es que la trefiladora tiene dos tambores de arrastre, los cuales son accionados por dos ejes mediante una transmisión que puede ser por cadenas o engranajes, dependiendo del caso

Además en este tipo de trefiladoras, al utilizar un solo motor, tenemos que hacer uso de un reductor de velocidad y una caja de cambios, si es que fuera necesario. En cambio en el tipo sin resbalamiento, tendría que usarse necesariamente varios reductores de velocidad y cajas de cambio igual al número de pasadas.

- ESPACIO DE INSTALACION. De acuerdo a lo analizado, la instalación de una trefiladora múltiple, sin resbalamiento, requiere un espacio más grande porque tiene varios tambores de arrastre, motores eléctricos y otros

equipos auxiliares, sucede lo contrario con la instalacion de una trefiladora múltiple con resbalamiento, el cual ocupa un espacio reducido.

En cuanto a la producción, a la misma velocidad de salida en la última etapa de reducción, no existe ventaja alguna al respecto. Tratándose de la calidad, el trefilado sin resbalamiento tiene mejor acabado del alambre, sin embargo la calidad tiene su precio.

Resumiendo el análisis de estos 2 tipos de trefilado - ras para alambres no ferrosos :

Las características básicas de la trefiladora con resbalamiento (del cono escalonado), tenemos :

Ahorro de espacio

Bajo costo de inversión

Alto costo de mantenimiento

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

Las características básicas de la trefiladora sin resbalamiento (tandem), tenemos :

- Mayor espacio utilizado

Alto costo de inversión

Bajo costo de mantenimiento

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 características de deslizamiento están determinadas por la transmisión y la reducción de área.

Tomando en cuenta las consideraciones en líneas arriba, decidimos diseñar una máquina trefiladora múltiple con deslizamiento, porque su costo de inversión es más barato por motivos ya indicados y además estas máquinas son las preferidas por la industria no ferrosa, ya que proveen una velocidad razonable.

4.3.2. Cálculo 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 4.3.

Cada posición polea/dado está designada para alimentar mayor cantidad de alambre que la siguiente posición polea/dado pueda procesar.

Aunque algo de deslizamiento existe en la última etapa siempre se asume que el deslizamiento es cero para tener una base fija en los cálculos. Además el volumen de producción de la máquina está determinada por la velocidad periférica de la última polea y por el tamaño del dado a la salida.

Si : d - Caudal del alambre

v = Velocidad del alambre

d = Diámetro del alambre o diámetro del dado

x = Cuaquiera posición.

Entonces :

$$Q_x = \frac{\pi}{4} d_x^2 v_x$$

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

Entonces :

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

Comparando el caudal actual (real) con el caudal teórico, la única diferencia está en las velocidades, ya que por diseño $P_x > V_x$ (excepto al final donde la posición polea dado es $P_x = V_x$).

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

$$\left(\frac{P_x - V_x}{P_x} \right) \times 100 = \% \text{ de deslizamiento}$$

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 :

$$\frac{\pi}{4} d_d^2 v_d = \frac{\pi}{4} d_c^2 v_c = \frac{\pi}{4} d_b^2 v_b = \frac{\pi}{4} d_a^2 v_a$$

y $d_d^2 v_d = d_c^2 v_c = d_b^2 v_b = d_a^2 v_a$, pero como v_a es una cantidad conocida :

$$v_d = \frac{d_a^2}{d_d^2} \cdot v_a ; \quad v_c = \frac{d_a^2}{d_c^2} v_a ; \quad v_b = \frac{d_a^2}{d_b^2} v_a$$

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

Existen dos tipos de diseño en cuanto a deslizamiento - se refiere :

- Deslizamiento constante
- Deslizamiento acumulativo.

En las máquinas de deslizamiento constante, como su nombre lo dice, el deslizamiento es constante en cada paso o 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.

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.

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

Nosotros optamos diseñar nuestra máquina con 4% de deslizamiento constante, porque no habrá el problema de enredo del alambre, cuando el trefilado se inicia con alambrón.

CAPITULO V

5.0. DISEÑO DE LA MAQUINA TREFILADORA MULTIPLE

5.1. CONSIDERACIONES PARA EL CALCULO Y DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LA TREFILADORA

El cálculo de los parámetros para el diseño de los elementos, lo iniciaremos tomando en cuenta la decisión considerada en el capítulo anterior, donde nos hemos propuesto diseñar una trefiladora múltiple con resbalamiento o deslizamiento, con una capacidad de 6 pasos. El alambro de cobre blando tiene un diámetro nominal de 5/16" \varnothing , el cual se trefilará con una reducción de sección del 26% en cada pasada, utilizando las recomendaciones de American Wire Gauge (AWG), el calibre del alambre a la salida del primer dado, es el número 1 y el calibre que sale de la última etapa de reducción es el calibre - N° 6, que tiene un diámetro de 4.115 mm nominal.

Asimismo dispondremos de dos tambores de arrastre o jaladores con poleas escalonadas triples que sirven de jaladores. Una transmisión entre los ejes de cada tambor de arrastre y otras transmisiones, tal como para el enrollamiento y otros elementos complementarios. Todas estas consideraciones son para una trefiladora múltiple con resbalamiento que nos hemos propuesto diseñar. La velocidad de salida del alambre en la última etapa se

ha considerado de 900 pies por minuto, porque se trata de una máquina pesada, es pesada porque tiene que reducirse un alambroón de 5/16" \varnothing y las reducciones de áreas son mayores, por lo tanto se requiere mayor potencia y la estructura más robusta.

5.2. DETERMINACION DE LA POTENCIA DEL MOTOR PRINCIPAL

Uno de los puntos principales es la determinación del caballaje del motor principal, para ello lo primero que se requiere es calcular la fuerza necesaria para arrastrar el alambre a través del dado.

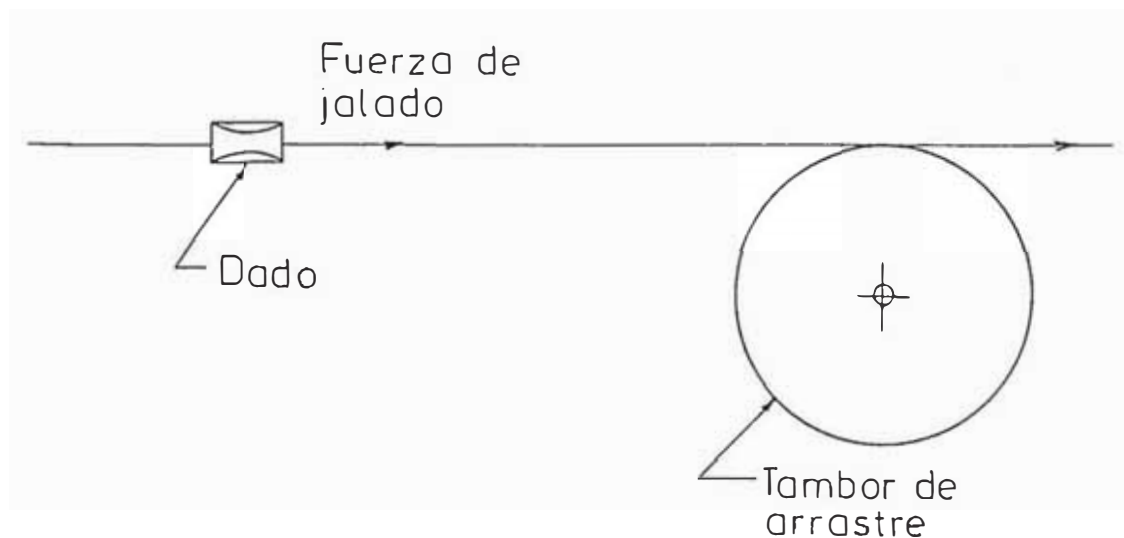


Figura 5.1

La fórmula práctica que se utiliza para el cálculo de la fuerza de jalado en el trefilado, fué desarrollada experimentalmente por el ingeniero Mr. E. W. Clark.

$$\text{Fuerza de jalado (Lbs)} = T_s \times (A - a) |1 + \mu \cot \alpha|$$

T_s - Esfuerzo de tensión en PSI del alambre que sale del dado.

A - Area del alambre que entra al dado

a = Area del alambre trefilado

α = Semiángulo de estirar del dado

μ - Coeficiente de fricción

μ - 0.16 para el caso del cobre

El diagrama N° 5.1 da coeficientes de fricción para varios materiales, además muestra un grupo de curvas que da el valor de la expresión $(1 + \cotg \alpha)$ para varios ángulos de dados y coeficientes de fricción.

| CALIBRE DEL DADO | ANGULO DE REDUCCION (2α) |
|------------------|-----------------------------------|
| 4/0 - 5 AWG | 20° |
| 6 - 8 | 18° |
| 9 - 42 | 16° |

Tabla N° 5.1

La tabla nos dá diferentes ángulos de reducción de acuerdo a determinado calibre.

Una vez que ha sido determinada la fuerza de jalado se aplica la fórmula siguiente:

$$HP_{\text{por dado}} = \frac{\text{Fuerza de jalado} \times \text{Velocidad de trefilado}}{33,000}$$

Para determinar la potencia total se suman los HP de todos los dados y se le añaden las pérdidas. Este proceso descriptivo es común, tanto para los materiales, como alu

minio, bronce, cobre, acero, etc.

| CALIBRE | ∅ (mm) | A (pulg. ²) | v (ppm) |
|---------|--------|-------------------------|---------|
| 5/16" | 7.9375 | 0.0762 | 234.0 |
| 1 | 7.384 | 0.06572 | 294.9 |
| 2 | 6.544 | 0.05213 | 368.64 |
| 3 | 5.827 | 0.0413 | 460.8 |
| 4 | 5.189 | 0.03277 | 576.0 |
| 5 | 4.621 | 0.02599 | 720.0 |
| 6 | 4.115 | 0.0206 | 900.0 |

Tabla 5.2

Aplicando la fórmula, calcularemos las potencias en cada uno de los dados y sumaremos la potencia necesaria para pasar del alambroón de 5/16" ∅ al calibre N° 1.

Entonces:

$$\text{Fuerza de jalado} = T_s \times (A - a) \{1 + \mu \cotg \alpha\}$$

$$T_s = 42,000 \text{ PSI (para el calibre N° 1, cobre blando gráfico N° 5.3)}$$

$$A = 0.0762 \text{ pulg}^2$$

$$a = 0.06572 \text{ pulg}^2.$$

Como hemos dicho anteriormente para el cálculo del término $(1 + \mu \cotg \alpha)$ usamos el gráfico N° 5.1, luego entramos con el ángulo del dado, en este caso para el calibre N°1 se utiliza $2\alpha = 20^\circ$, de acuerdo a la recomendación en la tabla N° 5.1.

Con este valor subimos hasta encontrar la curva de 16%, que es el coeficiente de fricción para el cobre, después nos desplazamos horizontalmente hacia el lado izquierdo y leemos el valor del término: $(1 + \mu \cot \alpha) = 1.9$

Reemplazando en la fórmula:

$$F = 42,000 (0.0767 - 0.06572) \times 1.9 = 876.2 \text{ Lbs}$$

La potencia de trefilación para este calibre:

$$P = \frac{F V}{33,000} = \frac{876.2 \times 294.9}{33,000} = 7.83$$

$$P = 7.83 \text{ hp}$$

La potencia de trefilación para pasar del calibre # 1 al calibre # 2:

$$T_s = 48,000 \text{ PSI}$$

$$A = 0.06572 \text{ pulg}^2$$

$$a = 0.05213 \text{ pulg}^2$$

$$\alpha = 10^\circ$$

$$F = 48,000 (0.06572 - 0.05213) \times 1.9 = 1,239.4 \text{ Lbs}$$

$$P = \frac{F V}{33,000} = \frac{1239.4 \times 368.64}{33,000} = 13.845 \text{ hp}$$

$$P = 13.845 \text{ hp}$$

La potencia de trefilación para pasar del calibre # 2 al calibre # 3:

$$T_s = 53,000 \text{ PSI}$$

$$A = 0.05213 \text{ pulg}^2$$

$$a = 0.04133 \text{ pulg}^2$$

$$2\alpha = 20^\circ$$

$$F = 53,000 (0.05213 - 0.04133) \times 1.9 = 1,087.56 \text{ Lbs}$$

$$P = \frac{F V}{33,000} = \frac{1087.56 \times 460.8}{33,000} = 15.186$$

$$P_3 = 15.186 \text{ hp}$$

La potencia de trefilación para pasar del calibre # 3 al calibre # 4:

$$T_s = 56,000 \text{ PSI}$$

$$A = 0.04133 \text{ pulg}^2$$

$$a = 0.03277 \text{ pulg}^2$$

$$2\alpha = 20^\circ$$

$$F = 56,000 (0.04133 - 0.03277) \times 1.9 = 910.78 \text{ Lbs}$$

$$P = \frac{F V}{33,000} = \frac{910.78 \times 576}{33,000} = 15.897$$

$$P_4 = 15.897 \text{ hp}$$

La potencia de trefilación para pasar del calibre # 4 al calibre # 5:

$$T_s = 58,000 \text{ PSI}$$

$$A = 0.03277 \text{ pulg}^2$$

$$a = 0.02599 \text{ pulg}^2$$

$$2\alpha = 20^\circ$$

$$F = 58,000 (0.03277 - 0.02599) \times 1.9 = 747 \text{ Lbs}$$

$$P = \frac{F V}{33,000} = \frac{747 \times 720}{33,000} = 16.30 \text{ hp}$$

$$P_5 = 16.30 \text{ hp}$$

La potencia de trefilación para pasar del calibre # 5 al calibre # 6:

$$T_s = 60,000 \text{ PSI}$$

$$A = 0.02599 \text{ pulg}^2$$

$$a = 0.02060 \text{ pulg}^2$$

$$2 = 18^\circ$$

$$F = 60,000 (0.02599 - 0.0206) \times 2 = 646.8 \text{ Lbs}$$

$$P = \frac{FV}{33,000} = \frac{646.8 \times 900}{33,000} = 17.64$$

$$P_6 = 17.64 \text{ hp}$$

Caballaje del motor principal (útil):

$$\text{EJE A: } 7.83 + 15.186 + 16.30 = 39.316$$

$$\text{EJE B: } 13.845 + 15.897 + 17.64 = 47.382$$

$$P = 86.7 \text{ hp}$$

También podemos utilizar otro diagrama para la determinación de la fuerza de jalado, esto es solamente cuando se trata solamente del alambre de cobre.

El gráfico N° 5.2 , nos permite leer la fuerza de jalado por 0.001 pulgadas cuadradas de reducción, teniendo como datos de entrada el ángulo del dado y el esfuerzo de tensión del alambre a la salida.

Determinación de la potencia utilizando el gráfico N° 5.2.

Del alambrón de 5/16" \varnothing al calibre N° 1:

$$T_s = 42,000 \text{ PSI}$$

$$2\alpha = 20^\circ \rightarrow \text{Tabla N° 5.1}$$

Al gráfico N° 5.2 entramos con 42,000 PSI hasta la curva de 20°, de la intersección se lleva una horizontal hacia el lado izquierdo, donde se lee el valor, en este caso -

Relación entre la fuerza y el esfuerzo en tensión

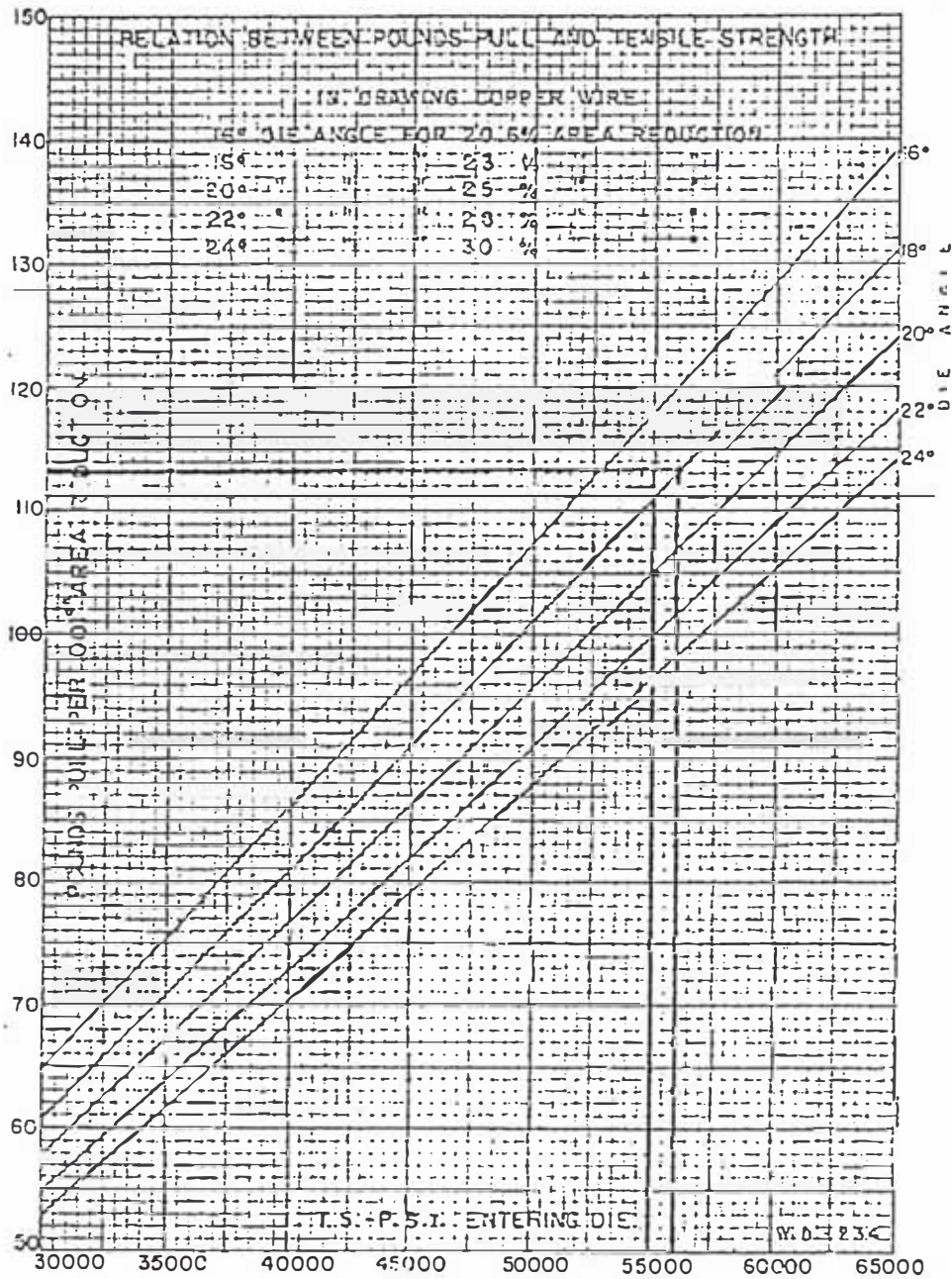


Gráfico 5.2

Ref. Trefilación de cobre T.B. Allen Bazán

Aumento en esfuerzo en tensión debido al
trefilado en cobre blando

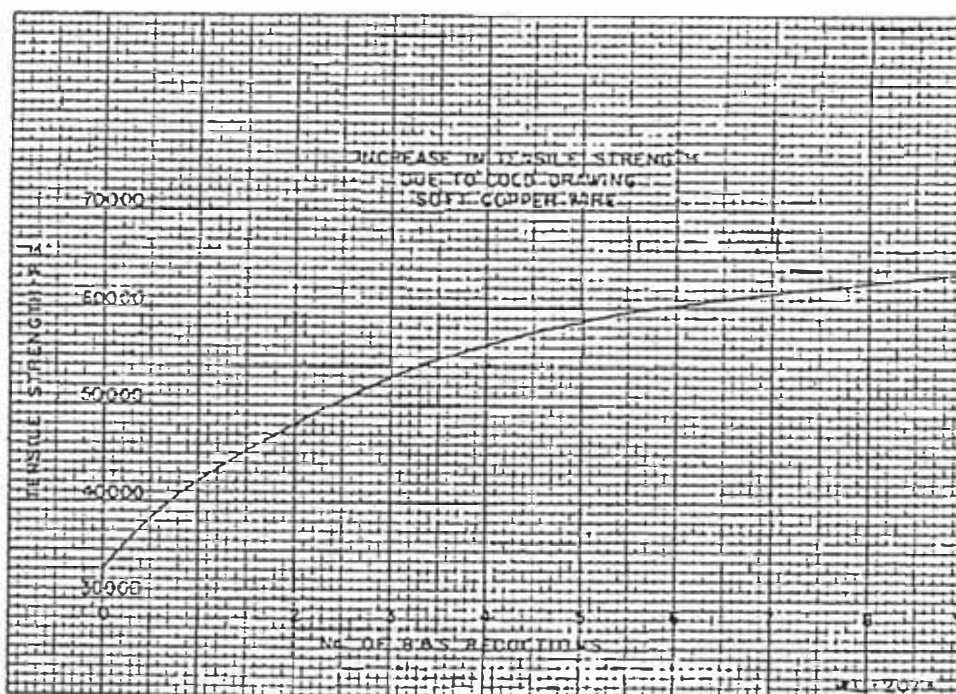


Gráfico 5.3

Ref. Trefilación de cobre T.B. Allen Bazán

80.5, que significa 80.5 Lbs por cada 0.001 pulgadas cuadradas de reducción, la reducción en la primera pasada - es: $A - a = 0.0767 - 0.06572 = 0.01098$ pulgadas cuadradas.

La fuerza será:

$$F = 80.5 \times \frac{0.01098}{0.001} = 883.89 \text{ Lbs}$$

$$P = \frac{F V}{33,000} = \frac{883.89 \times 294.0}{33,000} = 7.89 \text{ hp}$$

$$P_1 = 7.89 \text{ hp}$$

Del calibre # 1 al calibre # 2:

$$T_s = 48,000 \text{ PSI}$$

$$A = 0.06572 \text{ pulg}^2$$

$$a = 0.01359 \text{ pulg}^2$$

$$A - a = 0.01359 \text{ pulg}^2$$

$$F/\text{área} = 92$$

$$F_2 = \frac{92}{0.001} \times 0.01359 = 1250 \text{ Lbs}$$

$$P_2 = \frac{F V}{33,000} = \frac{1250 \times 368.64}{33,000} = 13.96$$

$$P_2 = 13.96 \text{ hp}$$

Del calibre # 2 al calibre # 3:

$$T_s = 53,000 \text{ PSI}$$

$$A = 0.05213 \text{ pulg}^2$$

$$a = 0.04133 \text{ pulg}^2$$

$$A - a = 0.0108 \text{ pulg}^2$$

$$F/\text{área} = 101$$

$$F_3 = \frac{F V}{0.001} \times 0.0108 = 1091 \text{ Lbs}$$

$$P_3 = \frac{F V}{33,000} = \frac{1091 \times 460.8}{33,000} = 15.23$$

$$P_3 = 15.23 \text{ hp}$$

Del calibre # 3 al calibre # 4:

$$T_s = 56,000 \text{ PSI}$$

$$A = 0.04133 \text{ pulg}^2$$

$$a = 0.03277 \text{ pulg}^2$$

$$A - a = 0.00856 \text{ pulg}^2$$

$$F/\text{área} = 106$$

$$F_4 = \frac{106}{0.001} \times 0.00856 = 907$$

$$P_4 = \frac{F V}{33,000} = \frac{907 \times 576}{33,000} = 15.83$$

$$P_4 = 15.83 \text{ hp}$$

Del calibre # 4 al calibre # 5:

$$T_s = 58,000 \text{ PSI}$$

$$A = 0.03277 \text{ pulg}^2$$

$$a = 0.02599 \text{ pulg}^2$$

$$A - a = 0.00678 \text{ pulg}^2$$

$$F/\text{área} = 111$$

$$F_5 = \frac{111}{0.001} \times 0.00678 = 753$$

$$P_5 = \frac{F V}{33,000} = \frac{753 \times 720}{33,000} = 16.42 \text{ hp}$$

$$P_5 = 16.42 \text{ hp}$$

Del calibre # 5 al calibre # 6:

$$T_s = 60,000 \text{ PSI}$$

$$A = 0.02599 \text{ pulg}^2$$

$$A - a = 0.00539 \text{ pulg}^2$$

$$F/\text{área} = 121$$

$$F_6 = \frac{121}{0.001} \times 0.00539 = 652 \text{ Lbs}$$

$$P_6 = \frac{F V}{33,000} = \frac{652 \times 900}{33,000} = 17.78$$

$$P_6 = 17.78 \text{ hp}$$

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6$$

$$P = 7.89 + 13.96 + 15.23 + 15.83 + 16.42 + 17.78$$

$$P = 87.11 \text{ hp}$$

Caballaje útil de la máquina movida:

$$P = 87 \text{ hp}$$

Como se puede observar, por ambos métodos tenemos el mismo resultado. Aún más, para máquinas trefiladoras marca SYNCRO, esto ha sido simplificado mediante el uso de las tablas tituladas "Diagrama del Caballaje para trefilar a lambre de cobre a 1000 pies por minuto", se puede ver el gráfico N° 5.4 , el cual da el caballaje a 1000 ppm en máquinas Sincro contra el calibre del alambre a la entra da y el calibre acabado. Entonces solamente necesitamos multiplicar por la actual velocidad de trefilado ppm/1000, para obtener la potencia de una determinada reduc ción y una velocidad dada.

Una aproximación del caballaje requerido para trefilar o tros materiales, puede ser obtenida multiplicando el va lor de la tabla por la relación de tensión del nuevo ma

terial a la tensión del cobre duro. Sin embargo no han sido hechas tolerancias para la diferencia en el coeficiente de fricción o pérdidas en la máquina.

En el gráfico N° 5.4 se puede notar que las potencias para trefilar parten de un determinado valor, para ir aumentando hasta un cierto límite, luego empiezan a disminuir, esto se debe a que la diferencia de áreas también va disminuyendo y los esfuerzos de tensión se van manteniendo, con una pequeña variación con respecto al calibre anterior, porque ya no ocurre el incremento como en los primeros pasos.

| CALIBRE DIAMETRO | ESFUERZO DE TENSION RE COMENDADO PARA COBRE - BLANDO EN PSI |
|---------------------|---|
| 7/16" \emptyset | 39,000 |
| 3/8" \emptyset | 39,000 |
| 5/16" \emptyset | 40,000 |
| 1/4" \emptyset | 41,000 |

Tabla N° 5.3

| CALIBRE AWG | ESFUERZO DE TENSION RE COMENDADO PARA COBRE DURO EN PSI |
|----------------|---|
| 4/0 | 48,000 |
| 3/0 | 51,000 |
| 2/0 | 53,000 |
| 1/0 | 53,500 |

Continuación de Tabla N° 5.4

| | |
|----|--------|
| 1 | 53,600 |
| 2 | 53,900 |
| 3 | 54,000 |
| 4 | 54,100 |
| 5 | 54,200 |
| 6 | 55,000 |
| 7 | 56,000 |
| 8 | 56,200 |
| 9 | 56,200 |
| 10 | 58,000 |
| 11 | 59,000 |
| 12 | 61,000 |
| 13 | 61,100 |
| 14 | 63,500 |
| 15 | 63,800 |
| 16 | 66,000 |
| 17 | 66,100 |
| 18 | 66,800 |
| 19 | 68,000 |
| 20 | 68,200 |
| 21 | 68,800 |
| 22 | 69,500 |
| 23 | 70,500 |
| 24 | 71,000 |
| 25 | 73,000 |

Continuación de Tabla N° 5.4

| | |
|----|--------|
| 26 | 73,500 |
| 27 | 74,000 |

Tabla N° 5.4

5.3. TIPO DE JALADOR (CAPSTAN) O TAMBOR DE ARRASTRE

Ahora trataremos sobre el diseño del jalador que es el elemento encargado de jalar el alambre a través de los dados, está acoplado a un eje que le transmite la potencia del motor. El alambre al pasar por un determinado dado, debe dar varias vueltas sobre las bandas, éstas están en contacto directo con el alambre; el número de vueltas determina la mayor o menor fuerza resultante.

En máquinas trefiladoras múltiples se utilizan jaladores compuestos de varias poleas de diferentes diámetros, es decir escalonados, con la finalidad de compensar el alargamiento sufrido por el alambre al pasar a través de los diferentes dados. Todas estas poleas forman entre sí, un conjunto de forma cónica y así cuanto más delgado sea el alambre, mayor será el diámetro de la polea para un mismo jalador.

Las poleas de los jaladores pueden ser:

- a) Las de bandas intercambiables
- b) Las de bandas fijas

En los primeros las bandas se pueden reemplazar por otras

nuevas cuando estén gastadas por el uso, estas bandas se ajustan por medio de unas pestañas.

Las del tipo fijo no se pueden cambiar y cada vez que se desgasten hay que sacar toda la polea del jalador para mandarla a tornear, pues la banda forma una sola pieza con la polea.

5.3.1. Determinación de los diámetros de las poleas de los jaladores A y B

Los dos tambores de arrastre tendrán las mismas dimensiones, sin embargo tendrán diferentes velocidades angulares y la relación de transmisión entre ambos ejes será de 1.25; esto es para obtener velocidades tangenciales diferentes a la salida a través de cada uno de los dados para obtener distintos calibres.

En nuestro caso, el alambre que sale a través del primer dado es de calibre número 1, sería recomendable instalar una polea de dimensiones razonables para ser enrollables sin que se produzca mayores tensiones al dar varias vueltas en un diámetro pequeño. Para nuestro diseño asumiremos un diámetro de 600 mm para la polea mayor, para ambos jaladores, llamaremos tambor A al tambor que tiene menor velocidad angular y tambor B al de mayor velocidad.

Teniendo el diámetro de la polea mayor, calcularemos los diámetros de las otras poleas, como conocemos las velocidades tangenciales de cada polea, entonces calculamos:

$$\text{Si : } D_3 = 600 + V_5 = \frac{\pi D_3 \eta_A}{12} = \text{ppm}$$

Velocidad angular del tambor A:

$$\eta_A = \frac{12 V_5}{\pi D_3} = \frac{12 \times 720}{\pi \left(\frac{600}{25.4}\right)} \rightarrow \eta_A = 116.425 \text{ RPM}$$

Velocidad angular del tambor B:

$$\eta_B = 1.25 \eta_A = 1.25 (116.425) \rightarrow \eta_B = 145.53 \text{ RPM}$$

Diámetro de la polea 2 :

$$D_2 = \frac{12 V_3}{\pi \eta_A} = \frac{12 (460.8) \times 25.4}{\pi (116.425)} \rightarrow D_2 = 384 \text{ mm } \emptyset$$

Diámetro de la polea 1:

$$D_1 = \frac{12 V_1}{\pi \eta_A} = \frac{12 \times 294.9 \times 25.4}{\pi (116.425)} \rightarrow D_1 = 246 \text{ mm } \emptyset$$

Se puede ver la figura N° 5.2.

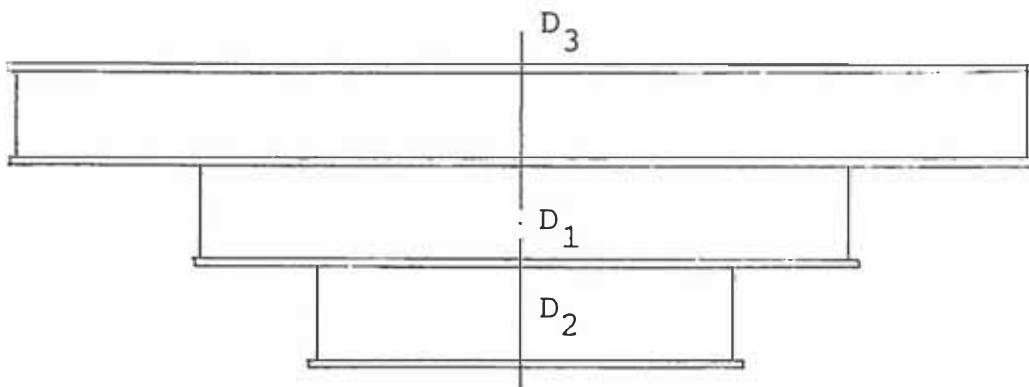


Figura 5.2

$$\text{donde : } D_1 = 245.66 \text{ mm}$$

$$D_2 = 384 \text{ mm}$$

$$D_3 = 600 \text{ mm}$$

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

Mientras hay 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, en este caso 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, esto causará que se enrede y se rompa el alambre.

Ya que el propósito de las poleas es el de jalar el 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 las características más importantes de una polea es su resistencia al desgaste.

Cuando un escalón del cono de poleas debe ser reparado debido al desgaste, entonces todos los escalones de las

otras poleas, deben ser reparadas para mantener la adecuada relación entre diámetros de las poleas y así de las velocidades de trabajo.

El cono de poleas será fabricado de acero fundido, las dimensiones y los detalles ver en el plano.

5.4. DISEÑO DE LA TRANSMISION POR CADENAS

Tratándose de una máquina trefiladora, múltiple de 6 pasos, se tiene que disponer de dos tambores de arrastre, llamados también poleas de arrastre o jaladores de poleas escalonadas, con la finalidad de obtener velocidades tangenciales diferentes, la relación de transmisión entre los ejes de estos tambores, debe ser de 1.25, la potencia a transmitir por la cadena es de 39.5 hp. El proceso de trefilado se lleva a cabo sin choques, por precaución usaremos un factor de servicio de 1.1.

Potencia a transmitir : 39.5 hp

Velocidad angular : 145.5 rpm

Relación de transmisión: 1.25

Con relación de transmisión de 1.25 usaremos ruedas dentadas de 20 y 25 dientes para tener una relación de velocidad apropiada. Una rueda de 20 dientes tendrá una vida mayor y producirá menos ruido que una de 16 ó 18 dientes.

Potencia de diseno: $HP \times f_s = 39.5 \times 1.1 = 43.4$ HP

Potencia corregida: $HP_m = K_1 K_2 Hr$

K_1 1.18 factor por N° de dientes ($Z_1 = 20$)

K_2 - 2.5 factor por N° de hileras (3 hileras)

Hr - 14.8 capacidad de una sola hilera para ANSI
100

$HP_m = 1.18 \times 2.5 \times 14.8 = 43.6$ HP

Es satisfactorio.

Entonces: $Z_1 = 20$ dientes
 $Z_2 = 25$ dientes

De la tabla: paso de la cadena $p = 1 \frac{1}{4}$ "

Diámetro de paso de las ruedas dentadas.

$$d_p = \frac{1.25}{\text{Sen}\left(\frac{180}{20}\right)} = 7.99" \text{ } \emptyset$$

$$D_p = \frac{1.25}{\text{Sen}\left(\frac{180}{25}\right)} = 9.97" \text{ } \emptyset$$

Velocidad de la cadena:

$$v = \frac{\pi d_p n_p}{12}$$

$$v = \frac{\pi (7.99) (145.5)}{12} = 304.4 \text{ ppm}$$

$$C_p = 32 \text{ pasos} \rightarrow C = 40 \text{ pulgadas}$$

$$L_p = 88 \text{ pasos} \rightarrow L = 110 \text{ pulgadas}$$

$$C = 1016 \text{ mm}$$

$$L = 2794 \text{ mm}$$

Conclusión: Usar 88 pasos de cadena ANSI 100-3 con ruedas dentadas de 20 y 25 dientes.

5.5. DISEÑO DE LOS DADOS

Se debe dar una atención especial a la hilera por estar considerada como el elemento más importante en el estirado del alambre, no solo por el hecho de que su evolución permitiese el diseño de varias clases de máquinas, sino el útil de estirar determina además la calidad del

alambre producido, sin hablar de los gastos de fabricación, esto influye decisivamente con el tiempo de permanencia en servicio sobre los gastos de producción del alambre. Por este motivo existe siempre la tendencia a mejorar, aparte del material para el dado, también la forma del útil, basándose en las investigaciones relacionadas con el proceso de conformación, aumentando no solo la calidad deseada del producto estirado, sino también el aspecto económico del útil, propiamente dicho. De un dado bueno se exige que mantenga las medidas durante mucho tiempo con el objeto de poder estirar la mayor cantidad posible de alambre sin volver a efectuar trabajos en el útil, es decir sin rectificar.

5.5.1. Material de los dados

Los dados de trefilación, usualmente son fabricados de un metal duro insertado en una caja portadora, el inserto o pildora debe ser de carburo de tungsteno. Las características de esta pildora de carburo de tungsteno pueden ser durante el proceso de manufactura, aumentando el cobalto. La cantidad de cobalto añadida controla el grado de dureza de la pildora. Performances satisfactorios se han obtenido con insertos a los cuales se les añadió cobalto en relación de 10% a 14%, algunas veces son usadas relaciones más pequeñas.

Varios métodos pueden ser usados para fijar el inserto dentro de la caja del dado, aunque se debe tener cuidado

que el carburo de tungsteno esté soportado completamente sobre todo la circunferencia, una falta de soporte puede causar una rápida falla de tensión en la pildora.

Un método de ajuste por contracción ha sido adoptado por la pildora y la caja del dado. La cavidad donde irá la pildora ha de ser cuidadosamente maquinado y todas las superficies afiladas, deben de ser eliminadas. La pildora también debe ser maquinada hasta tener las tolerancias requeridas, luego es empujada dentro de la caja, luego es colocado un anillo de cobre sobre la tapa del dado, todo el conjunto es calentado a una temperatura de 1100°C . Debido a la diferencia del coeficiente de expansión lineal del carburo de tungsteno y del acero, el diámetro interior de la caja portadora se expande lo suficiente para permitir el ingreso del cobre fundido entre la caja y la pildora, cuando todo el conjunto se enfría forma una fuerte unión.

Una desventaja del carburo del tungsteno es que tiene afinidad por el acero, por esta razón cuando se rompe la película de lubricante y se está trefilando, puede llevarse a cabo una soldadura en frío. Los dados de carburo de tungsteno y carboloy cuando se desgastan, pueden usarse nuevamente mandándolos a rectificar, después de esta rectificación su calibre ya no será el original, sino quedará aumentado a calibres mayores. Las máquinas trefiladoras del tipo fino, todas usan dados con pildo -

ra de diámante.

5.5.2. Consideraciones en el Diseño de Dados

La disposición fundamental de un núcleo o píl-do-
ra de metal duro está mostrada en la figura N° 5.3, donde
se distinguen los siguientes detalles:

1. Cono de entrada o de lubricación (e)
2. Cono de estirar, de reducción o de trabajo (K)
3. Guía cilíndrica (Z)
4. Cono de salida (a)
5. Angulo de entrada (β)
6. Angulo de estirar (2α) o de ataque
7. Angulo de salida (γ)
8. Calibre (d)

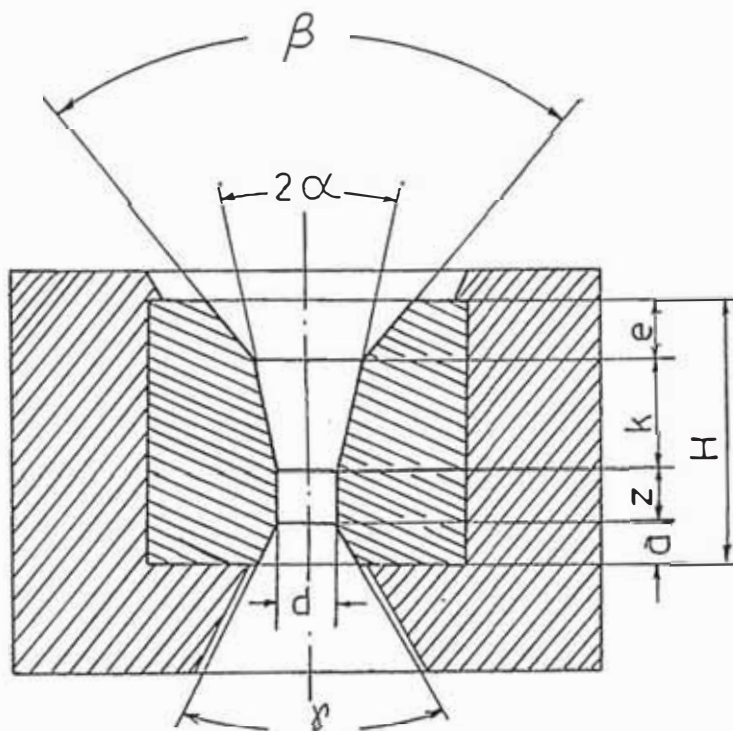


Figura N° 5.3

La función del cono de entrada es el de conducir el alambre a estirar con superficie hacia el cono de trabajo dispuesto a continuación. El cono de trabajo cumple además con la misión de facilitar al agente lubricante, el libre acceso al producto trabajado.

A causa del paso suave, desde el cono de lubricación hasta el cono de estirar, se posibilita el arrastre al agente lubricante hasta dentro del cono de estirar, dentro de este cono, la superficie del alambre acoge la materia lubricante que actúa a presión sobre el alambre, como la trefilación del cobre se realiza en húmedo, en este caso el cono de entrada facilita una refrigeración muy buena del núcleo. Además, si esta entrada está bien diseñada, ello puede facilitar mucho el labrado para abrir el calibre a una medida mayor, entonces hay que quitar mucho menos el metal duro. En el diseño del núcleo ha de importar la altura (e) del cono de entrada, en los dados pequeños, aproximadamente $1/3$ y en los grandes más o menos $1/6$ de la altura del núcleo. El valor absoluto en los dados pequeños se halla por lo tanto en unos 1.3 mm y en los medianos y grandes en aproximadamente 3 hasta 4 mm. El ángulo de entrada por lo general es de 60°

El cono de estirar constituye la parte de la tobera a estirar, donde se produce la deformación propiamente dicha del alambre. Su ángulo de inclinación depende de las propiedades del material a estirar y también está deter-

minado por las exigencias que ha de satisfacer el material una vez estirado.

Por lo general se prevee para materiales como aluminio, cobre, etc. ángulos de estirar mayores que en los materiales duros. A continuación se indican algunas cifras a título de orientación, valores que varían de acuerdo con el diámetro y la reducción de sección.

La forma del orificio del dado se da siguiendo las reglas generales siguientes basados en resultados experimentales:.

- a) Para metales blandos: ángulo de ataque (2α) largo y parte cilíndrica del orificio (Z) corto;
- b) Para metales duros : ángulo de ataque (2α) corto y parte cilíndrica (Z) larga.

El siguiente cuadro (*) explica datos aproximados que sirven como guía:

| MATERIAL TREFILADO | 2α | Z/d |
|---|-----------|-----------|
| Acero duro, aleaciones de cromo, bronce duros, etc. | 6 a 12° | 0.8 a 1.5 |
| Acero blando (hierro dulce) | 8 a 25° | 0.6 a 1.0 |
| Bronce blando, latón | 10 a 18° | 0.4 a 0.8 |
| Cobre | 15 a 25° | 0.2 a 0.6 |
| Aluminio, plata | 15 a 22° | 0.1 a 0.5 |

(*) Según Ing. Jorge Knaepper y G. Kluth

En el diseño de los dados, frecuentemente se suele dar - al canal de estirar una longitud equivalente a la mitad del diámetro del calibre, no obstante no siempre resulta favorable esta forma de dimensionar. La longitud de la parte cilíndrica, como lo ha demostrado la práctica, ha de ser más corta cuando se trata de material blando, tal como el cobre cuando hay que estirar un material duro, en tal caso dicha longitud equivale aproximadamente a 0.2 hasta $0.3d$. A parte de esto también se rige esta medida por el mismo diámetro de alambre, al sobrepasar - el espesor de un alambre cierta medida determinada, no hay que aumentar más la longitud de guía, o sea que a partir de diámetros medianos, queda prácticamente constante la longitud de guía.

Aparte del diámetro del dado, las partes más importantes son: el ángulo de reducción y la longitud de guía, estas dos partes pueden ser variadas para influir en la performance de la trefilación. Un ángulo de reducción demasiado grande no es aconsejable, pues aumenta el trabajo redundante durante la reducción, asimismo ángulos pequeños de reducción aumentan el trabajo de fricción. Una longitud de guía demasiado larga da un buen acabado, pero aumenta el trabajo de fricción, ocurre lo contrario con una longitud de guía demasiado corto.

Finalmente, después de la zona cilíndrica figura el ángulo de salida, al cual se le da por regla general una a -

bertura de 60° hasta 90° , casi siempre se prolonga este ángulo de abertura dentro de la misma armadura. Este ángulo favorece la evacuación del calor resultante durante el trefilado y posibilita la libre salida del lubricante consumido, su altura puede estimarse en $1/3$ hasta $1/5$ de la altura del núcleo, de manera que las zonas de la hileras más solicitadas se sitúen hacia el interior del núcleo.

En el diseño de los dados de estirar hay que prestar mucha atención a que todo el tramo, desde el cono de entrada a través del cono de estirar y de la guía cilíndrica hacia el cono de trabajo, estén bien redondeados. Como ya se dijo, la altura del núcleo puede calcularse partiendo del máximo diámetro del alambre para el que está previsto el dado. La práctica ha demostrado lo imprescindible que resulta un espesor de pared adecuado en el metal duro, para poder absorber la presión resultante de la conformación durante el trefilado. Por esta razón los núcleos siempre presentan un diámetro mayor que su altura, si bien esta diferencia disminuye al aumentar el diámetro.

5.5.3. Mantenimiento de los Dados

Las toberas de estirar que hayan perdido antes su redondez, han de ser naturalmente labradas de nuevo al diámetro mayor correspondiente, este labrado no debe limitarse a aumentar el calibre, ya que entonces se alargaría la guía cilíndrica, también el ángulo de estirar -

resultaría desproporcionado, al labrar de nuevo el útil es necesario retocar asimismo el calibre y el cono de estirar, se tendrá gran cuidado, sobretodo en el tramo desde el cono de estirar a la guía cilíndrica y desde éste al cono de salida.

Para ampliar el diámetro del dado, puede aplicarse carburo de boro o polvo de diámante algo grueso, factible de ser disminuído en su concentración mediante aditamentos adecuados. Para el pulido final es absolutamente imprescindible emplear polvo de diámante finísimo hasta el punto de resultar impalpable.

Existen instrumentos adecuados para la medición y verificación regulares del ángulo de abertura del dado, del radio de redondeo, del recorrido cilíndrico de guía y de la calidad de la superficie de transformación del dado. Asimismo, estos instrumentos permiten controlar el ángulo del cono de agujas pulidoras. El empleo de tales aparatos verificadores permite restaurar con regularidad la conformación correcta del dado, con ello, la duración de los dados, el tiempo de trabajo de las máquinas trefiladoras, la velocidad de estirado, así como el volumen de producción y la calidad del material estirado, salen beneficiados al incrementarse.

5.6. DETERMINACION DE LA POTENCIA EN EL ENROLLADOR

1. Cálculo de la fuerza. El número de vueltas que

da el alambre sobre la banda del jalador, determina la mayor o menor fuerza en el enrollador.



Figura N° 5.4

Como se puede observar en la figura N° 5.4, el jalador - es un multiplicador de fuerza, la que está expresada por la siguiente fórmula:

$$F_2 = F_1 e^{f\theta}$$

F_1 = Fuerza de refrenamiento

$$e = 2.718$$

θ = ángulo de contacto = $2\pi\eta$

f = coeficiente de fricción (entre las bandas del jalador y el alambre).

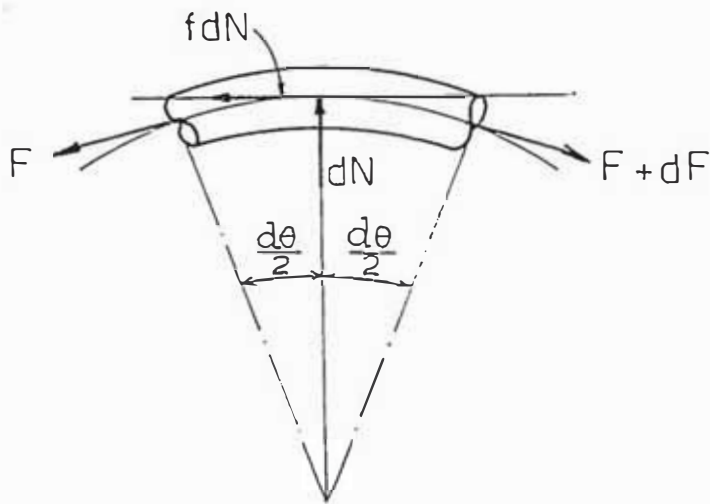
F_2 = Fuerza resultante de jalado

Reemplazando el valor de θ

$$F_2 = F_1 e^{2\pi\eta f}$$

η = número de vueltas del alambre alrededor

del jalador.



Debe estar en equilibrio:

$$\Sigma F_x = 0, (F + dF) \cos \frac{d\theta}{2} - F \cos \frac{d\theta}{2} - fdN = 0$$

pero : $\cos \frac{d\theta}{2} = 1$

$$(F + dF) - F - fdN = 0$$

$$dF = fdN \quad (1)$$

$$\Sigma F_y = 0, dN - (F + dF) \sin \frac{d\theta}{2} - F \sin \frac{d\theta}{2} = 0$$

pero : $\sin \frac{d\theta}{2} = \frac{d\theta}{2}$

$$dN - F \frac{d\theta}{2} - dF \frac{d\theta}{2} - F \frac{d\theta}{2} = 0$$

El producto de dos diferenciales iguales, es parecida a - una diferencial de segundo orden, la cual es despreciable

$$dN - F \frac{d\theta}{2} - F \frac{d\theta}{2} = 0$$

$$dN - Fd\theta = 0 \quad (2)$$

Reemplazando (2) en (1) se tiene que:

$$dF = F f d\theta$$

$$\int_{F_1}^{F_2} \frac{dF}{F} = \int_0^{\theta} f d\theta$$

$$\left| \text{Ln } F \right|_{F_1}^{F_2} = f\theta$$

$$\text{Ln } \frac{F_2}{F_1} = f\theta$$

$$\frac{F_2}{F_1} = e^{f\theta} \rightarrow \boxed{F_2 = F_1 e^{f\theta}}$$

La tabla N° 5.5 muestra valores de F_2 para varias vueltas y coeficientes de fricción, esta tabla da valores típicos de coeficientes de fricción para varias combinaciones de superficies de fricción, ya sean estáticas o de resbalamiento.

La fórmula anterior puede ser aplicada para condiciones estáticas o deslizantes, solo es necesario aplicar el coeficiente de fricción adecuado. Sin embargo encontrar el coeficiente de fricción adecuado es muy difícil, particularmente en una condición resbaladiza. El resultado de pequeños cambios en el coeficiente de fricción hace variar enormemente la fuerza, como se ilustra en la tabla N° 5.5.

| FUERZA F_2 POR UNA LIBRA DE TENSION DE REFRENAMIENTO F_1 | | | | | | |
|--|-----------------------------|-------|-------|-------|------|------|
| N° vueltas n | Coeficiente de fricción (f) | | | | | |
| | 0.18 | 0.20 | 0.25 | 0.30 | 0.35 | 0.40 |
| 1 | 3.1 | 4 | 5 | 9 | 9 | 12 |
| 2 | 9.5 | 12 | 23 | 43 | 81 | 152 |
| 3 | 30 | 43 | 111 | 285 | 733 | 1882 |
| 4 | 91 | 152 | 535 | 1882 | 6610 | -- |
| 5 | 241 | 540 | 2650 | 12500 | | |
| 6 | 900 | 1900 | 12800 | | | |
| 7 | 2750 | 6500 | | | | |
| 8 | 8100 | 20000 | | | | |

Tabla N° 5.5

| COEFICIENTES DE FRICCIÓN (f) | | |
|-------------------------------|------|-----------|
| MATERIAL | SECO | LUBRICADO |
| Acero duro en acero duro | 0.42 | 0.029 |
| Acero medio en hierro fundido | 0.23 | 0.133 |
| Cobre en acero medio | 0.36 | 0.180 |
| Cobre en hierro fundido | 0.29 | -- |
| Aluminio en acero | 0.47 | -- |

Tabla N° 5.6

La fuerza de jalado a la salida del último dado es de 652 Lbs. El número de vueltas que daremos al alambre al rededor de la polea será de 3 vueltas. El material del tambor es de acero fundido.

DATOS PARA EL CALCULO DE LA FUERZA: F_1

$$F_2 = 652 \text{ libras}$$

$$n = 3 \text{ vueltas}$$

$$f = 0.18 \text{ de la tabla N}^\circ 5.6$$

$$F_2 = F_1 e^{2\pi n f}$$

$$F_2 = F_1 (e^{2\pi \times 3 \times 0.18}) \rightarrow F_2 = 30 F_1$$

$$F_1 = \frac{652}{30} \rightarrow F_1 = 21.73 \text{ libras}$$

La velocidad de salida del alambre del último dado:

$$V = 900 \text{ pies/minuto}$$

La potencia de enrollamiento:

$$P = \frac{FV}{33,000} = \frac{21.73 \times 900}{33,000} = 0.5927$$

$$P = 0.59 \text{ hp}$$

También habrá que evaluar la potencia requerida para realizar el trabajo de doblado del alambre en el enrollamiento, porque la potencia determinada en líneas arriba es como si el alambre fuese totalmente flexible; además para vencer la inercia y las pérdidas por rozamiento. Este cálculo es muy engorroso, sin embargo se han realizado mediciones prácticas en una máquina trefiladora simi

lar, donde se obtuvo la potencia total de enrollamiento de 2.25 HP aproximadamente. Esta potencia la consideraremos como referida para la selección del motor que va a mover el enrollado, con esta potencia calcularemos la transmisión por cadenas entre el motor y el eje del enrollador, y también nos servirá para seleccionar el limitador del torque para mantener la tensión constante - en el alambre que se enrolla.

5.7. CALCULO DE LAS CARGAS SOBRE LOS EJES A y B

Usaremos la siguiente relación:

$$F_2 = F_1 e^{f\theta}$$

donde:

F_1 = fuerza de refrenamiento

F_2 = Fuerza de jalado del alambre ya calculado a la salida de cada dado

f = coeficiente de fricción entre las bandas del jalador y el alambre ($f = 0.18$)

$\theta = 2\pi n$ = ángulo de contacto

n = número de vueltas del alambre alrededor del jalador

$e = 2.71828$

$$F = F' e^{2\pi n f}$$

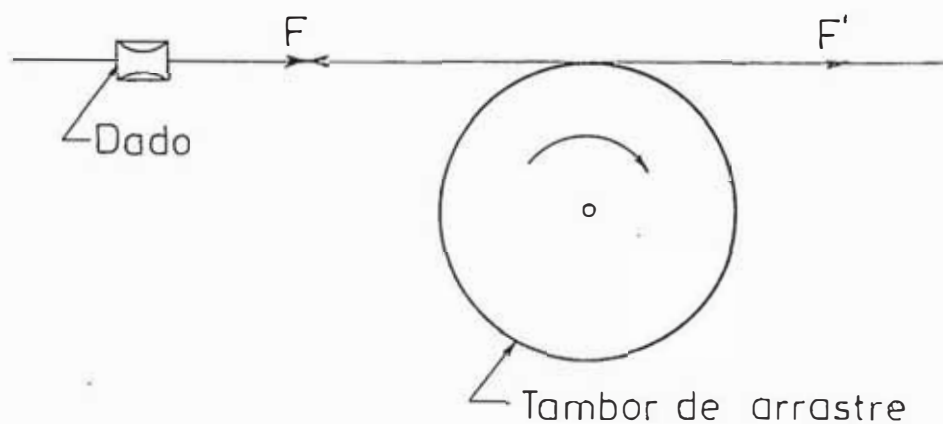


Figura 5.5

Con las fuerzas de jalado ya calculadas, tenemos:

$$F_1 = 884 \text{ lbs (401 Kg)}$$

$$F_2 = 1250 \text{ lbs (567 Kg)}$$

$$F_3 = 1091 \text{ lbs (495 Kg)}$$

$$F_4 = 907 \text{ lbs (411.5 Kg)}$$

$$F_5 = 752 \text{ lbs (341.6 Kg)}$$

$$F_6 = 652 \text{ lbs (296 Kg)}$$

de :

$$F = F' e^{2\pi\eta f}$$

$$F'_1 = \frac{F_1}{e^{2\pi\eta f}} = \frac{884}{e^{2\pi(3)(0.18)}} = 29.7 \text{ lbs}$$

$$F'_2 = \frac{F_2}{e^{2\pi\eta f}} = \frac{1250}{e^{2\pi(2.5)(0.18)}} = 74 \text{ lbs}$$

$$F'_3 = \frac{F_3}{16.9} = \frac{1091}{16.9} = 64.5 \text{ lbs}$$

$$F'_4 = \frac{F_4}{16.9} = \frac{907}{16.9} = 53.6 \text{ lbs}$$

$$F'_5 = \frac{F_5}{16.9} = \frac{753}{26.9} = 44.5 \text{ lbs}$$

$$F'_6 = \frac{652}{29.76} = 21.7 \text{ lbs}$$

La fuerza en la cadena :

$$T = \frac{63000 \times \text{HP}}{n} = \frac{F' d_p}{2} P$$

$$d_p = 9.97 \text{ pulg}$$

$$n = 116.4 \text{ RPM}$$

$$P = 40 \text{ HP}$$

$$F = \frac{63000 \times 40 \times 2}{116.4 \times 9.97} = 4343 \text{ lbs}$$

$$F = 1971 \text{ Kg}$$

5.8. CALCULO DE LOS EJESEJE A

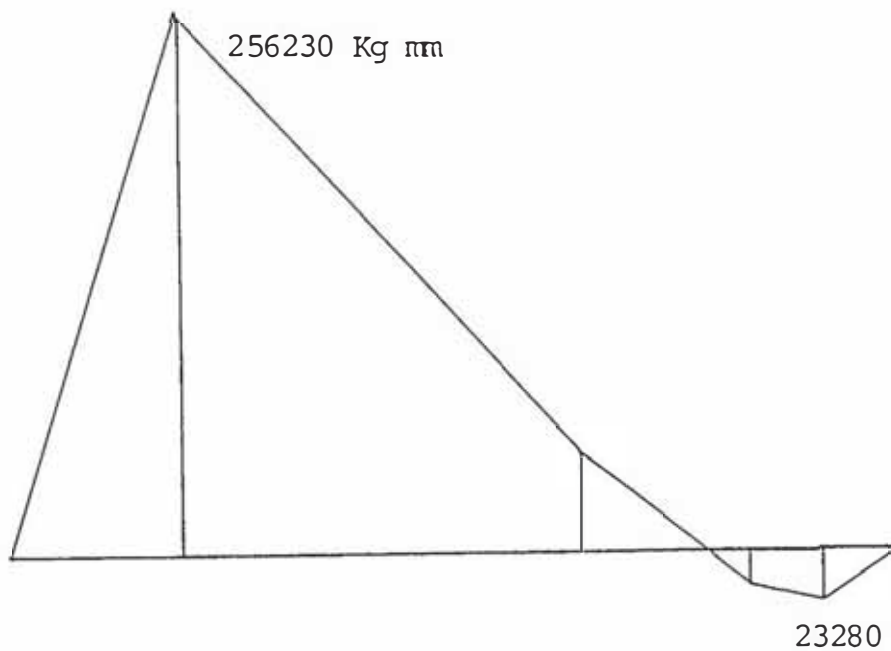
Diagrama de cargas sobre el eje A :



$$R_1 = 2640 \text{ Kg}$$

$$R_2 = 175 \text{ Kg}$$

Diagrama de momentos:



Cálculo del torque.

De :

$$HP = \frac{T(\text{Kg m}) \times N(\text{RPM})}{725.725}$$

donde: $P = 39.5 \text{ HP}$

$$N = 116.4 \text{ RPM}$$

$$T = \frac{39.5 \times 725.725}{116.4} = 246272 \text{ Kg mm}$$

$$M = 256230 \text{ Kg mm (punto crítico)}$$

Material del eje:

Acero BOEHLER VCL-140 (AISI 4140)

$$S_y = 65 \text{ Kg/mm}^2$$

$$S_u = 90 \text{ Kg/mm}^2$$

Esfuerzo de diseño: S_{sd}

Por recomendaciones de la ASME, para el diseño de ejes:

$$S_{sd} = 0.18 S_u = 0.18 \times 90 = 16.2 \text{ Kg/mm}^2$$

$$S_{sd} = 0.30 S_y = 0.30 \times 65 = 19.2 \text{ Kg/mm}^2$$

tomamos el valor menor: $S_{sd} = 16.2 \text{ Kg/mm}^2$.

Considerando los factores:

$$K_m = 2 \quad ; \quad K_t = 1.5$$

Usando la fórmula de la ASME:

$$d^3 = \frac{16}{\pi S_{sd}} \sqrt{(K_m M)^2 + (K_t T)^2}$$

$$d^3 = \frac{16}{\pi (16.2)} \sqrt{(2 \times 256230)^2 + (1.5 \times 246272)^2}$$

$$d = 58.34 \rightarrow d = 60 \text{ mm } \emptyset$$

- Chequeo por deformación angular.

Se recomienda, que para los ejes de transmisión se permite:

$$\theta \leq 1^\circ \text{ por cada 20 diámetros de longitud}$$

donde: $\theta = \frac{LT}{GJ}$ radianes

$$G = 8000 \text{ Kg/mm}^2$$

$$\theta = \frac{584 \text{ LT}}{Gd^4} \text{ en grados sexagesimales}$$

$$\theta = \frac{584 \times (20d) \text{ T}}{Gd^4} = \frac{584 \times 20T}{Gd^3}$$

$$d^3 \geq \frac{584 \times 20T}{\theta G} = \frac{584 \times 20 \times 246272}{1 \times 8000}$$

$$d \geq 71 \quad \rightarrow \quad d = 80 \text{ mm } \emptyset$$

- Chequeo por fatiga.

$$N = \frac{\pi d^3}{32 \sqrt{\left(\frac{T}{S_y}\right)^2 + \left(\frac{M}{S_e}\right)^2}}$$

donde: N = factor de seguridad

$$S_y = 65 \text{ Kg/mm}^2$$

$$S_u = 90 \text{ Kg/mm}^2$$

$$d = 80 \text{ mm } \emptyset$$

$$T = 256230 \text{ Kg mm}$$

$$M = 246272 \text{ Kg mm}$$

$$S'_e = \frac{1}{2} S_u$$

$$S_e = 0.4 S'_e$$

$$\rightarrow S_e = 18 \text{ Kg/mm}^2$$

Reemplazando:

$$N = \frac{\pi (80)^3}{32 \sqrt{\left(\frac{256230}{65}\right)^2 + \left(\frac{246272}{18}\right)^2}}$$

$$N = 3.53 > 1 \quad \text{OK!}$$

EJE B.

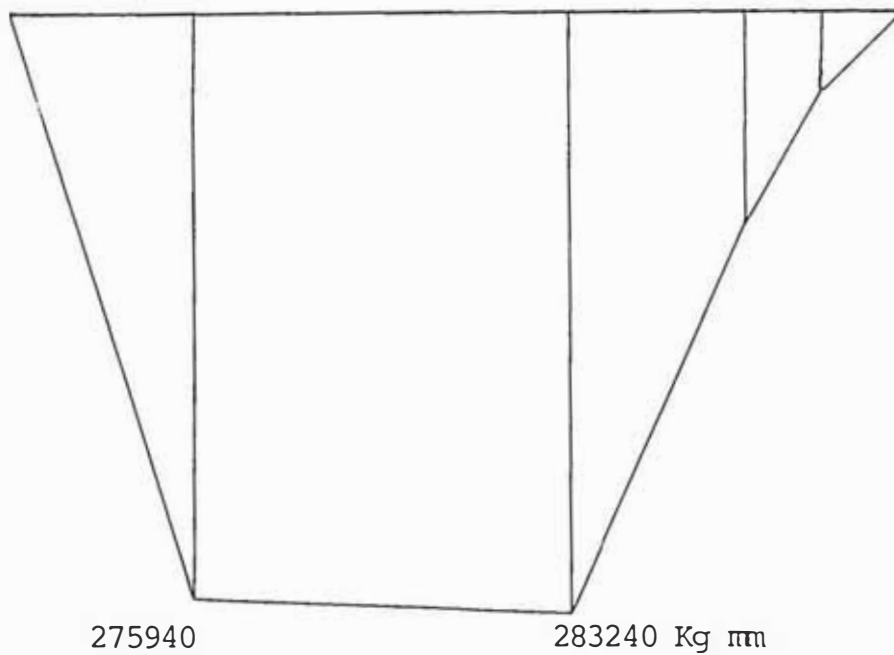
Diagrama de cargas sobre el eje B :



$$R_1 = 1946 \text{ Kg}$$

$$R_2 = 1347 \text{ Kg}$$

Diagrama de Momentos :



Cálculo del torque:

$$HP = \frac{T(\text{Kg m}) \times N(\text{RPM})}{725.725}$$

donde :

$$P = 87.5 \text{ HP}$$

$$N = 145.5 \text{ RPM}$$

$$T = \frac{87.5 \times 725.725}{116.4} = 436432 \text{ Kg mm}$$

$$M = 283240 \text{ Kg mm (punto crítico)}$$

Material del eje:

Usaremos el mismo material que para el eje A

$$d^3 = \frac{16}{\pi (16.2)} \sqrt{(2 \times 283240)^2 + (1.5 \times 436432)^2}$$

$$d = 64.8 \quad \rightarrow \quad d = 70 \text{ mm } \emptyset$$

- Chequeo por deformación angular.

Con las mismas consideraciones que para el eje A, chequearemos:

$$d^3 \geq \frac{584 \times 20T}{\theta G} = \frac{584 \times 20 \times 436432}{1 \times 8000}$$

$$d \geq 86.05 \quad \rightarrow \quad d = 90 \text{ mm } \emptyset$$

- Chequeo por fatiga.

$$N = \frac{\pi d^3}{32 \sqrt{\left(\frac{T}{S_y}\right)^2 + \left(\frac{M}{S_e}\right)^2}}$$

$$N = \frac{\pi (90)^3}{32 \sqrt{\left(\frac{436432}{65}\right)^2 + \left(\frac{283240}{18}\right)^2}}$$

$$N = 4.18 > 1 \quad \text{OK!}$$

5.9. SELECCION DE LOS SOPORTES PARA RODAMIENTOS CON MANGUITO DE FIJACION

Para el eje A: $d = 80 \text{ mm } \emptyset$

$$R_1 = 2640 \text{ Kg } \langle \rangle 25.9 \text{ KN}$$

$$n = 116.4 \text{ RPM}$$

$$L_h = 20,000 \text{ horas}$$

- Duración expresada en millones de revoluciones:

$$L = \frac{60 \times 116.4 \times 20000}{10^6} = 139.68$$

- Seguridad de carga requerida:

$$C/P = L^{1/p}$$

Para rodamiento de bolas:

$$C/P = (139.68)^{1/3} = 5.188$$

Para rodamiento de rodillo:

$$C/P = (139.68)^{0.3} = 4.40$$

- Carga equivalente será:

$$P = F_r = 25.90 \text{ KN} , \text{ porque } F_a = 0$$

- Capacidad de carga dinámica requerida.

Con rodamiento de bolas:

$$C = 5.188 \times 25.00 = 134.36 \text{ KN}$$

Con rodamiento de rodillos:

$$C = 4.4 \times 25.90 = 113.96 \text{ KN}$$

De las tablas de dimensiones básicas de soportes Bi-par-tidos y para 80 mm \varnothing de diámetro del eje, obtenemos:

| SOPORTES | | RODAMIENTOS |
|----------|-----|-------------|
| SNA | 518 | 1218 K |
| | | 2218 K |
| SN | 518 | 22218CK |
| | | 23218CK |

De las tablas de rodamientos, se tiene:

| Rodamiento N° | d_1 | d | D | B | C | C_o | RPM Max | Mang. | Desmont |
|------------------|-------|-----|-----|------|-----|-------|------------|-------|----------|
| 1218K | 80 | 90 | 160 | 30 | 43 | 29 | 3800 | H218 | |
| 2218K | 80 | 90 | 160 | 40 | 54 | 35.5 | 3600 | H318 | |
| 22218CK | 80 | 90 | 160 | 40 | 212 | 183 | 1900 | H318 | AHX 320 |
| 23218CK | 80 | 90 | 160 | 52.4 | 270 | 250 | 1800 | H2318 | AHX 3218 |

Conclusión: Usar 2 soportes Bi-partidos, SNA518 ó SN520 con rodamientos Nros. 22218CK, con manguito de fijación H318 y con 2 anillos guías FRB12.5/160P (para SNA 518).

Para el eje B: $d = 90 \text{ mm } \emptyset$

$$R_1 = 1946 \text{ Kg } \langle \rangle 19.09 \text{ KN}$$

$$n = 145.5 \text{ RPM}$$

$$L_n = 20,000 \text{ horas}$$

- Duración expresada en millones de revoluciones:

$$L = \frac{60 n L_h}{10^6} = \frac{60 \times 145.5 \times 20000}{10^6} = 174.6$$

- Seguridad de carga requerida:

$$C/P = L^{1/p}$$

Para rodamientos de bolas:

$$C/P = (174.6)^{1/3} = 5.589$$

Para rodamientos de rodillos:

$$C/P = (174.6)^{0.3} = 4.705$$

- La carga equivalente será:

$$P = F_r = 19.09 \text{ KN, porque } F_a = 0$$

- Capacidad de carga dinámica requerida.

Con rodamientos de bolas:

$$C = 5.589 \times 19.09 = 106.69 \text{ KN}$$

Con rodamientos de rodillos:

$$C = 4.705 \times 19.09 = 89.818 \text{ KN}$$

- De las tablas de dimensiones básicas de soportes Bi-partidos y para 90 mm \varnothing de diámetro del eje, obtenemos que los soportes que podríamos utilizar son:

SNA520; SNA620, SN520.

- De las tablas de Rodamientos, manguitos y anillos guías para soportes Bi-partidos, obtenemos los rodamientos que podrían utilizarse en los soportes:

| SOPORTES | RODAMIENTOS |
|----------|-------------|
| SNA 520 | 1220K |
| | 2220K |
| SN 520 | 22220CK |
| | 23220CK |
| SNA 620 | 22320CK |

- De las tablas de rodamientos, tenemos las capacidades de cargas dinámicas:

| Rodamiento N° | d ₁ | d | C | C _o | RPM Máx | Man- guito | Desmont. |
|------------------|----------------|-----|-------|----------------|------------|---------------|----------|
| 1220K | 90 | 100 | 53.0 | 35.0 | 3400 | H220 | -- |
| 2220K | 90 | 100 | 75.0 | 50.0 | 3200 | H320 | -- |
| 22220CK | 90 | 100 | 270.0 | 236.0 | 1800 | H320 | AHX320 |
| 23220CK | 90 | 100 | 360.0 | 340.0 | 1600 | H2320 | AHX3220 |
| 22320CK | 90 | 100 | 530.0 | 475.0 | 1700 | H2320 | AHX2320 |

Conclusión: Usar 2 soportes Bi-partidos SNA520 ó SN520 con rodamientos Nros. 22220CK con manguitos de fijación H320 y con dos anillos guías FRB 12/180P.

5.10. SELECCION DEL MOTOR PRINCIPAL DE LA TREFILADORA

Potencia requerida: 87.5 HP.

Tomando en consideración las pérdidas en la transmisión, seleccionaremos para una potencia de 100 HP.

De los catálogos de Motores Delcrosa, seleccionamos un Motor Asíncrono Trifásico con rotor a Jaula de Ardilla.

Serie: NV

NV280S4

P = 125 HP

N = 1765 RPM

Peso = 696 Kg

5.11. SELECCION DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD

La trefiladora diseñada debe operar un promedio de 8 horas diarias, con una velocidad de entrada de 145.5 RPM y 87.5 HP de potencia y estará accionado por un motor eléctrico de 125 HP y 1765 RPM.

Usaremos los catálogos de reductores FALK de ejes paralelos.

Factor de servicio: f.s. - 1.25 Tabla 2

HP equivalente : $87.5 \times 1.25 = 109.5$ HP

Relación de reducción requerida: $1765 : 145.5 = 12.13$, tendrá que ser un reductor de dos etapas de reducción.

En la tabla de selección de doble reducción, encontramos que la relación AGMA estándar más cercana es $11.39 + 4\%$. Del catálogo, el tamaño de la unidad es: 2070 Y2, este reductor tiene una capacidad de 153 HP, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, para esta capacidad es necesario utilizar un ventilador de enfriamiento Mecánica Falk, el cual proporciona una forma simple y económica para usar al máximo la capacidad mecánica del reductor de velocidad, reduciendo la temperatura de operación e incrementando así su capacidad de potencia térmica.

5.12. SELECCION DEL MOTOR PARA EL ENROLLADOR

La potencia para enrollar el alambre ya ha sido calculada en el acápite 5.6.

Potencia requerida : 3 HP

De los catálogos de Motores Delcrosa, seleccionamos un Motor Asíncrono Trifásico con rotor de jaula de ardilla.

Serie: NV

Tipo : NV 100 La 4

P 3.6 HP

N - 1730

Peso : 30 Kgs

5.13. SELECCION DEL LIMITADOR DE TORQUE PARA EL ENROLLADOR DEL ALAMBRE.

En el enrollamiento del alambre existe un problema que resolver, esto es, después de que se haya empezado el llenado del alambre en el carrete, el diámetro del carrete se va incrementando y éste origina una sobrecarga en el alambre al aumento constante de la velocidad tangencial.

Nuestro problema consiste en mantener una tensión constante en el alambre para evitar la rotura. Una buena solución a este problema es usar un limitador de par o torque, que consiste en un mecanismo simple de seguridad que justamente sirve para evitar las sobrecargas.

Este limitador de par de marca RENOLD es un mecanismo de seguridad contra sobrecargas, empieza a patinar a una sobrecarga predeterminada. El limitador de par comprende un cubo, un casquillo de bronce, dos discos de fricción,

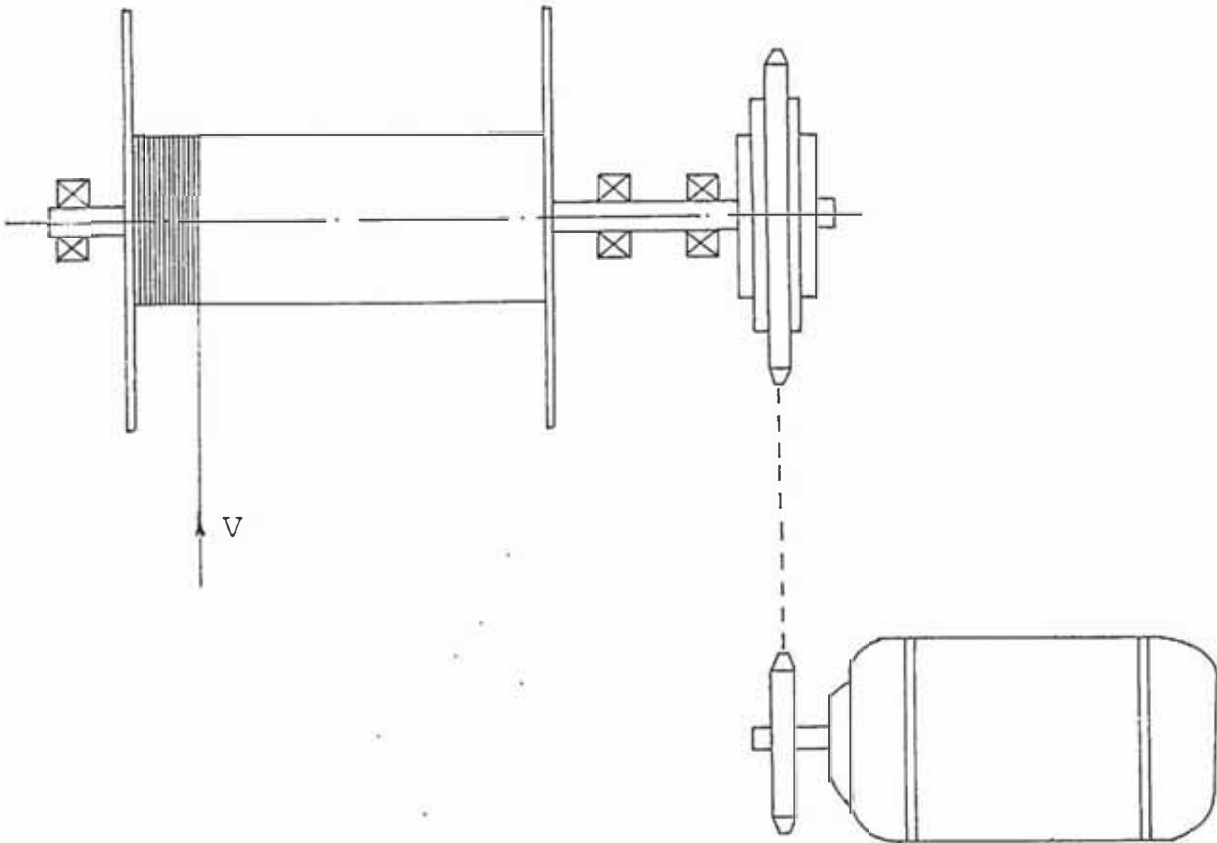


Figura N° 5.7

dos platos de presión, una o dos arandelas cónicas que actúan como muelles y un aro roscado que se emplea como tuerca. La rueda de cadena se monta sobre el casquillo de bronce entre ambos discos de fricción soportados por los platos de presión. La presión de arrastre se logra comprimiendo las arandelas cónicas.

El parámetro de selección es el torque, tenemos de:

$$P(\text{HP}) = \frac{T(\text{Kg}_m) \times N(\text{RPM})}{725.725}$$

donde :
$$N = \frac{60,000 v}{\pi D}$$

$$P = 2.25 \text{ hp}$$

$$v = 4.57 \text{ m/seg } (900 \text{ pies/min})$$

$$D = 260 \text{ mm } \varnothing$$

$$N = \frac{60,000 \times 4.57}{\pi(260)} = 335.84$$

$$N = 336 \text{ RPM}$$

Reemplazando los valores tenemos:

$$T = \frac{725.725 \times 2.25}{336} = 4.86 \text{ Kg m}$$

Con este parámetro de torque, obtenemos del catálogo "RE NOLD" B.S. de transmisiones por cadena y seleccionamos:

Un limitador de PAR, tipo Fricción:

Catálogo N° 646222

Sus características:

| Par Mínimo | Par Máximo | Peso | PARA UTILIZAR CON: | | |
|---------------|---------------|------|--------------------|------------|-------------------------|
| Kg-m | Kg-m | Kg | Cadena N° | Paso mm | Ruedas N° de dientes |
| 3 | 10 | 2.72 | 110038 | 9.525 | 57, 76, 95 114 |

Cálculo de la transmisión por cadenas de Rodillos entre el eje del enrollador y el motor.

El alambre a la salida del último dado es enrollado en un carrete, el enrollador es accionado por un motor eléctrico de 3.6 HP - 1730 RPM que ya fué seleccionado, y esto será a través de una transmisión por cadenas de rodillos. El eje del enrollado debe girar a 366 RPM (eje

conducido).

La relación de transmisión es:

$$- \quad m_g = \frac{1730}{336} = 5.14$$

- Del catálogo "RENOLD" B.S. de cadenas, la relación de transmisión más próxima es 5.07, donde:

$$z_1 = 15 \quad \text{número de dientes del piñón}$$

$$z_2 = 76 \quad \text{número de dientes de la Catalina}$$

- Cadena N° 110038 - paso = 9.525 mm (3/8")

$$d_p = 45.82 \text{ mm} \quad \text{diámetro de paso del piñón}$$

$$D_p = 230.48 \text{ mm} \quad \text{diámetro de paso de la Catalina}$$

- Asumiendo una distancia entre Centros de $C_p = 40$ pasos, la longitud aproximada de la cadena será:

$$L_p \approx 2 \times 40 + 0.53 (15 + 76) = 128.23$$

tomaremos $L_p = 128$ pasos.

La distancia correcta entre centros será:

$$128 = 2C_p + \frac{15 + 76}{2} + \frac{(76 - 15)^2}{4\pi^2 C_p} \rightarrow C_p = 40$$

$$C_p = 40 \text{ pasos} \rightarrow C = 40 \times 9.525 = 381 \text{ mm}$$

Conclusión:

Usar 128 pasos de cadena de rodillos "RENOLD" B.S.

N° 110038 con ruedas dentadas de 15 y 76 dientes.

5.14. SELECCION DE LOS ACOPLAMIENTOS.

5.14.1. Entre motor eléctrico y el reductor.

Seleccionamos un acoplamiento "Steel Flex" Falk, para transmitir 125 HP a 1765 RPM de un motor eléctrico, el cual tiene un eje de 75 mm de diámetro a un Reductor de Velocidad de ejes paralelos, que su eje de entrada tiene 57 mm de diámetro.

Para el acoplamiento Steel Flex, tipo T10.

De la tabla de Factores de servicio: F.S. = 1.5

Sin embargo, para transmisiones que utilicen reductores de velocidad por engranajes conectados con acoplamientos flexibles en los ejes de entrada y de salida del reductor, es posible reducir el factor de servicio para el acoplamiento del eje de entrada con respecto al de salida, solamente para los valores:

De 1.00 a 1.50, usar F.S. = 1.00

$K = 0.070$ (para 1765 RPM)

Capacidad básica - HP transmitido x F.S. x K

- $128 \times 1.00 \times 0.070$

Capacidad básica = 8.75

De la tabla 3, del Manual preparado por el Ing. Hori, tenemos un acoplamiento tamaño 80T.

De la tabla de características:

Diámetro mínimo : 27 mm \varnothing (1 $\frac{1}{16}$ " \varnothing)

Diámetro máximo : 76.2 mm Ø (3" Ø)

RPM máximo : 3600 RPM

5.14.2. Entre el reductor y el eje del tambor de arrastre de la trefiladora.

Como en el caso anterior también selecciona remos un acoplamiento "Steel Flex" Falk, para transmitir 125 HP a 145.5 RPM, de un reductor de velocidad, su eje de salida tiene un eje de 88.9 mm de diámetro al eje del tambor de arrastre de la trefiladora (90 mm Ø).

Para el acoplamiento, tipo T10

Factor de servicio: F.S. = 1.50

Parámetro K = 0.510 (145.5 RPM)

Capacidad básica = $125 \times 1.50 \times 0.50 = 93.75$

De la tabla 3: tenemos un acoplamiento tamaño 120T.

De la tabla de características:

Diámetro mínimo : 60.3 mm Ø (2 3/8" Ø)

Diámetro máximo : 127.0 mm Ø (5" Ø)

RPM máximo : 2025 RPM.

CAPÍTULO VI

6.0. EVALUACION ECONOMICA

La evaluación económica está referida al costo de fabricación de la trefiladora múltiple, en este rubro no se considerarán los equipos complementarios que forman parte de una planta de trefilación, tales como, equipos para el decapado del alambrón, el sistema de lubricación, el sistema de enrollamiento, etc.

6.1. DETERMINACION DEL COSTO DE LA MAQUINA.

En la determinación del costo se tomará en cuenta los equipos y accesorios que forman parte de la máquina que son suministrados como componentes para su ensamblaje podemos mencionar tales como son: el motor eléctrico, reductor de velocidad, sistema de transmisión, soportes de pie para rodamientos, rodamientos, etc, estos componentes generalmente son estandarizados, los cuales deben comprarse en el mercado.

Para la parte de la carcasa y soportes se determinará el peso total de las planchas de que están conformadas. Calcularemos, considerando lo que es el costo para trabajos de calderería, para este caso es aproximadamente 2 dólares/Kg, es decir 200 intis/Kg, tomando en consideración el cambio del dólar del mes de Marzo de 1988, este caso -

COSTO DE LOS EQUIPOS

| SUMINISTRO DE EQUIPOS | CANT. | DESIGNACION | TAMAÑO | COSTO UNITARIO (I/.) | PESO UNITARIO (Kg) |
|--|-------|--------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
| Motor Eléctrico Trifásico "DELGROSA" | 1 | NV280 S4 | 125 HP 1765 RPM | 400,000 | 676 |
| Reductor de velocidad de ejes paralelos "FALK" | 1 | 2070 Y2 | Reducción: 11.39/1 | 500,000 | 368 |
| SopORTE de pie para rodamientos con manivela de fijación SKF | 2 | SNA518-TA | Ø agujero = 80 mm | 12,000 | 12.5 |
| SopORTE de pie para rodamientos con manivela de fijación SKF | 2 | SNA520-TA | Ø agujero = 90 mm | 15,000 | 17.0 |
| Rodamientos de rodillos a rotula SKF | 2 | 22218 CK | Ø agujero = 90 mm | 7,000 | 3.25 |
| Rodamientos de rodillos a rotula SKF | 2 | 22220 CK | Ø agujero = 100 mm | 8,000 | 4.85 |
| Eje de transmisión | 1 | Acero Boehler VCL-140 | Ø 80 x 820 mm | 7,000 | 33.0 |
| Eje de transmisión | 1 | Acero Boehler VCL-140 | Ø 90 x 1000 mm | 8,000 | 42.0 |

COSTO DE LOS EQUIPOS

| SUMINISTRO DE EQUIPOS | CANT. | DESIGNACION | TAMAÑO | COSTO UNITARIO (I/.) | PESO UNITARIO (Kg) |
|--|-------|-------------------|---|----------------------|--------------------|
| Acoplamiento "Steel Flex", tipo T10 "FALK" | 1 | 80 T | $\phi_{\min} = 27$ mm $\phi_{\max} = 76.2$ mm | 30,000 | 18 |
| Acoplamiento "Steel Flex", tipo T10 "FALK" | 1 | 120 T | $\phi_{\min} = 60.3$ mm $\phi_{\max} = 127$ mm | 50,000 | 83 |
| Cadena de rodillos ANSI | 1 | ANSI 100-3 | Long = 2794 mm Paso = 31.75 mm | 25,000 | 30 |
| Una rueda dentada - de 20 dientes | 1 | Triple hiler | $\phi_{\text{paso}} = 203.2$ mm | 6,000 | 16 |
| Una rueda dentada - de 25 dientes | 1 | Triple hiler | $\phi_{\text{paso}} = 254$ mm | 8,000 | 30 |
| Tambor de arrastre | 2 | Polea esca-lonada | ver plano | 20,000 | 90 |
| Base plana Standard "FALK" | 1 | 2070-4044 | ver plano | 40,000 | 236 |
| T O T A L E S : | | | | 1'188,000 | 1698 |

incluye planchas, perfiles, corte, soldadura, rolado, etc

6.1.1. Costo de los Equipos.

Este costo lo presentamos en un cuadro preparado con los costos unitarios de cada equipo y accesorio (ver cuadro). La suma de los costos unitarios asciende a la cantidad de I/. 1'188,000 intis.

6.1.2. Peso de las planchas de la carcaza y sus partes.

Las planchas que se usarán para la carcaza y sus partes serán de acero al carbono ASTM A36 de 1/2" x 4' x 8' (12 x 1200 x 2400 mm).

El peso de la plancha es: 286 kilogramos.

La superficie de la plancha: 2.9 m^2

- a) Peso de las planchas para las 4 paredes laterales de la carcaza.

Los detalles y las dimensiones del desarrollo se puede ver en el plano N° 4.

De donde tenemos, la superficie = 2.284 m , como la superficie de cada plancha es de 2.9 m^2 , el peso de las cuatro paredes laterales sera:

$$\text{Peso} = \frac{2.284}{2.9} \times 286 = 225 \text{ Kgs}$$

- b) Peso de las planchas para la base del soporte de los ejes.

Los detalles y dimensiones de la base se puede obser

var en el plano N° 4.

Se tiene: Superficie = 1.51 m^2

El peso de la base será :

$$\text{Peso} = \frac{1.51}{2.9} \times 286 = 149 \text{ Kgs}$$

c) Peso de las planchas para los soportes de los ejes.

Las dimensiones de los soportes se pueden observar -
en el plano N° 4.

Se tiene: Superficie = 0.6996 m^2

El peso de los soportes será :

$$\text{Peso} = \frac{0.6996}{2.9} \times 286 = 69 \text{ Kgs}$$

d) Peso de las planchas para el soporte de los portada-
dos.

De la misma manera que para los casos anteriores, se
observa en el plano N° 4.

Se tiene : la superficie = 0.375 m^2

El peso del soporte de los portadados será :

$$\text{Peso} = \frac{0.375}{2.9} \times 286 = 37 \text{ Kgs}$$

e) El peso de las planchas para los portadados.

Se tiene : la superficie = 0.24 m^2

El peso de los portadados será:

$$\text{Peso} = \frac{0.24}{2.9} \times 286 = 24 \text{ Kgs}$$

f) El peso de las planchas para el cárter.

Para el cárter se utilizará una plancha de 6 mm de espesor.

Del plano N° 4, tenemos las dimensiones de cárter.

El peso del cárter será :

$$\text{Peso} = \frac{182 \times 34.5 \times 0.6 \times 7.9}{1000} = 30 \text{ Kgs}$$

g) El peso de las planchas para las bridas y carteles de rigidez.

Del plano N° 4, el peso de las 2 bridas y los 8 carteles de rigidez serán :

$$\begin{aligned} \text{Peso} &= (2 \times 100 \times 800 \times 19 + 8 \times \frac{100 \times 100}{2} \times 12.5) \\ &\times \frac{7.9}{1000} = 28 \text{ Kgs} \end{aligned}$$

6.1.3. Costo de la carcasa y partes.

El costo será el resultado de multiplicar el peso total por el costo específico, considerado en este caso = 200 intis/Kg.

$$\text{Peso total} = 225 + 149 + 69 + 37 + 24 + 30 + 28 = 552 \text{ Kgs}$$

$$\text{El costo será : } \text{Costo} = 552 \times 200 = \text{T/} 110,400$$

además debemos agregar el costo por retacería de planchas y podamos considerar el 10% del peso total y multiplicar por 35 intis/Kg que es el precio de la plancha.

$$\text{Así : } 55.2 \times 35 = 1900 \text{ intis}$$

Finalmente el costo de la carcaza y sus partes dará la suma de :

$$\text{Costo} = 110400 + 1900 = \text{I/} . 112300$$

En conclusión el costo total de la máquina será igual a la suma de los costos unitarios de los equipos y elementos complementarios más el costo de la carcaza y sus partes - esto es:

$$\text{Costo Total} = 1'188,000 + 112,300 = \text{I/} . 1'300,300$$

Podemos afirmar que el costo estimado de fabricación local de la trefiladora múltiple será de I/. 1'300,300. Si tomamos el cambio del dólar del mes de marzo en 100 intis, el costo será de \$ 13,003 dólares.

6.2. ANALISIS COMPARATIVO DE FABRICACION LOCAL RESPECTO A LA IMPORTACION DE LA TREFILADORA.

A estas alturas de la situación crítica que vive el país, en que las reservas internacionales se va agotando, es difícil la importación de las maquinarias. Al fabricarse la trefiladora localmente, su costo es aproximadamente la suma de \$ 13,003 dólares, también debemos tener presente que el costo de la fabricación local está en relación de 1 a 3, respecto a una máquina importada.

El 90% de los insumos que intervienen en la fabricación es de producción nacional. Es factible abaratar las ma

quinas, decidiéndonos a diseñar y fabricarlo en el país, de esta manera se estaría ahorrando las divisas que tanto necesitamos para la importación de insumos que no producimos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Por lo expuesto en el presente trabajo podemos concluir:

1. De acuerdo a la evaluación económica del costo de fabricación de la trefiladora, con seguridad podemos afirmar que este costo es relativamente bajo, si es que comparamos con una máquina de la misma capacidad, pero importada.

2. La trefiladora diseñada puede trabajar a velocidad variable, esto es usando un variador de velocidad, con una caja de cambios o simplemente trabajando con un Motor Asíncrono Trifásico de dos velocidades (Motores PAM).

Este tipo de motor, presenta las características de ser una máquina de velocidad prácticamente constante, ligada a la frecuencia de la red y el número de polos. Por eso se usa en muchas aplicaciones industriales con regulación a dos velocidades, mediante el uso de un simple conmutador. El motor PAM indicado a utilizarse sería la serie NVD280M de 2 y 4 polos con 130 HP y 110 HP de potencia, con velocidades angulares de 3540 y 1765 RPM respectivamente.

3. Cálculo de la producción de la trefiladora:

Determinaremos la producción en toneladas por hora

sin tomar en cuenta la pérdida de tiempo ocasionada - por los cambios de carrete o las roturas que pueden producirse en el alambre.

Teniendo la velocidad de salida del alambre trefilado y su peso se puede calcular la producción de la siguiente manera : la velocidad de salida es 4.57 m/seg o sea 16,460 metros por hora, pero 1,000 metros de alambre del calibre N° 6 pesan 118.3 kilogramos, luego 16,460 metros pesarán :

$$\frac{16,460 \times 118.3}{1000} = 1,947 \text{ kgs}$$

Finalmente la producción del calibre N° 6 será 1.947 toneladas por hora.

4. Algunas veces, cuando se requiere, el alambre es recocido antes de pasar a las trefiladoras finas. El alambre es ablandado para facilitar su trefilado, debido a que calibres muy finos AWG son bastante difíciles de obtener con alambre duro.

Otras razones más poderosas por las que se requieren alambre recocido son:

- a) Cuando este alambre sea utilizado en la confección de alambres flexibles.
- b) Cuando el alambrón está malo, esto es por contener escoria en su interior y al ser jalado se rompe.

Cabe mencionarse que los alambres y cables desnu-

dos en el sistema milimétrico, según las Normas - de Fabricación: ITINTEC 370.223 - "Alambres de cobre desnudos de sección circular para uso Eléctrico" para conductores sólidos, temple blando y duro. ITINTEC 370.042-370.043 - "Conductores de cobre cableados para uso Eléctrico", temple blando y duro.

Descripción:

Son conductores de cobre electrolítico de 99.9% - de pureza mínima, temples blando y duro, sólidos o cableados concéntricamente de 7, 19, 37 y 61 hilos.

Usos:

Alambres sólidos: circuitos aéreos de comunicación telefónica, telegráfica y otros usos generales.

Cables concéntricos: Temple duro

En líneas aéreas de transmisión y Redes de Distribución aéreas primaria y secundaria de acuerdo a la Norma DGE019-CA-2/1983 y al Código Nacional de Electricidad.

Temple blando

Sistemas de puestas a tierra y conexiones para protección de

equipos.

Aplicación en otros usos generales.

La característica particular es su alta resistencia a la corrosión y permite ser recomendado especialmente para instalaciones en zonas con atmósferas salinas y en zonas industriales donde puedan estar sometidas a la acción de humos y vapores corrosivos.

Conductibilidad : Temple blando: 100% IACS

Temple duro : 96.16% IACS

5. La rotura de los alambres, son debidos generalmente a incrustaciones de escoria en la constitución interna del alambre al vaciar el cobre fundido en los moldes para fabricar los wire bars (lingotes), la escoria flota quedándose en la parte superior, al sacar los wire bars de sus moldes, la parte superior tiene otro color y está cubierta de arrugas. Cuando se introducen los wire bars en los rodillos del laminador, toda la escoria queda aprisionada en el alambrón dando lugar a áreas débiles, las cuales no soportan la tensión recomendada y se produce la rotura.

La manera de subsanar esta falla será pasar por la parte superior del wire bars un esmeril, tantas veces como sea necesario para dejarla completamente limpia, de esta manera se evitará la presencia de escoria en el alambrón.

6. Las partes que sufren mayor desgaste son las bandas de los jaladores, esto se debe a que existe un deslizamiento o patinaje continuo entre el alambre y las bandas.

Una forma de aminorar este desgaste es añadiéndole más vueltas de alambre alrededor del jalado, al aumentar las fuerzas se reduce el patinaje.

7. Se recomienda la circulación de la solución refrigerante en la relación de UN GALON POR MINUTO POR HP del motor principal. Esta relación es adecuada para absorber el calor generado por el caballaje del motor de la trefiladora.

Para evitar el rápido desgaste de los dados y el aumento de temperatura por efecto de la fricción, se emplean lubricantes especiales a base de aceites solubles en agua, cuyo conjunto forma la solución lubricante que baña constantemente la superficie del alambre formando una película fina alrededor del mismo para impedir el excesivo desgaste del dado. Naturalmente, a medida que se trefila la solución lubricante se va calentando y cuando llega al límite de 55°C, es necesario reemplazarla por otra solución fresca. Por esto, el sistema de lubricación, consta generalmente de dos tanques, cuyo intercambio es posible por medio de un by-pass.

El porcentaje de aceite deberá ser chequeado mensual-

mente y debe mantenerse en un 4% a 5%, de ser menor - este porcentaje, ocurriría roturas en el alambre.

8. Para el sistema de refrigeración y lubricación es necesario instalar boquillas adecuadamente, en este caso una boquilla por dado y tres boquillas por tambor de arrastre.

BIBLIOGRAFÍA

- R1 GEOFFREY W. ROWE, Conformado de Metales, Editorial URMO.
- R2 FLIMM, Fabricaciones Metálicas sin arranque de viruta, Editorial URMO.
- R3 GEORGE E. DIETER, Metalurgia Mecánica, Editorial - Mc Graw Hill.
- R4 THE WIRE ASSOCIATION, INC. Steel Wire Handbook, - Tomos 1, 2 y 3.
- R5 B. V. LINCHEVSKI, Metalurgia de Metales no Ferrosos, Editorial MIR.
- R6 CENTRO ESPAÑOL DE INFORMACION, El cobre y sus Aleaciones.
- R7 SMIRNOV, Trenes de Laminación, Editorial MIR.
- R8 THE WIRE ASSOCIATION INTERNATIONAL, Nonferrous Wire Handbook, Volumen 1 y 2.
- R9 R. HANCHEN, Fundición de piezas de máquinas, Editorial URMO.
- R10 BEER Y JOHNSTON, Mecánica Vectorial para Ingenieros, Editorial Mc Graw Hill.
- R11 FEODOSIEV, Resistencia de Materiales, Editorial MIR.
- R12 JOSEPH E. SHIGLEY, Diseño en Ingeniería Mecánica, Editorial Mc Graw Hill.
- R13 SLAYMAKER, R.R., Diseño y Análisis de Elementos de Máquinas, Editorial LIMUSA.
- R14 M. F. SPOTTS, Proyecto de Elementos de Máquinas, Editorial Reverté, S.A.
- R15 SHIGLEY, El Proyecto de Ingeniería Mecánica, Editorial Mc Graw Hill.

- R16 VALLANCE, Cálculo de Elementos de Máquinas. Editorial Alsina.
- R17 FAIRES, Diseño de Elementos de Máquinas, Editorial UTEHA.
- R18 J.J. HORI ASANO, Diseño de Elementos de Máquinas, - uso interno UNI.
- R19 FEODOSIEV, Resistencia de Materiales, Editorial MIR
- R20 L. SINGER, Resistencia de Materiales, Editorial Mc Graw Hill.
- R21 P. A. STIOPIN, Resistencia de Materiales, Editorial MIR.
- R22 NIEMANN, Tratado Práctico de Elementos de Máquinas, Editorial Labor.
- R23 P. ORLOV, Ingeniería de Diseños, Tomos 1 y 2, Editorial MIR.
- R24 L. MARKS, Manual del Ingeniero Mecánico, Editorial Mc Graw Hill.
- R25 H. DUBBEL, Manual del Constructor de Máquinas, Editorial Labor.
- R26 JENSEN, Dibujo y Diseño de Ingeniería, Editorial Mc Graw Hill.
- R27 Revistas e informaciones técnicas :
- Anual book of ASTM STANDARD 1985
 - Wire Journal International Directory/Catalog 1986
 - Wire Industry, the International Monthly Journal
 - Revista Técnica para la producción y manufacturación de alambres, barras y derivado de todos los sectores marginales.
 - Wire products Buyers Guide and Yearbook of the Wire Association INC.
- R28 Catálogos comerciales
- Motores eléctricos Delcrosa
 - Reductores de ejes paralelos "FALK"
 - Soportes y rodamientos SKF
 - Cadenas de rodillos, normas ANSI.