



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

DETERMINACION DE LA FUERZA EN EL
PROCESO DE TREFILADO

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO METALURGICO
P R E S E N T A
ARTURO CHONG CASTELL



MEXICO, D. F.



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA

2005

m 342623



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Jurado asignado:

Presidente Prof. TERESITA ROBERT NUÑEZ.

Vocal. Prof. VICTOR JORGE CORTES SUAREZ

Secretario. Prof. IGNACIO BELTRAN PIÑA.

1er Suplente Prof. GERARDO ARAMBURO PEREZ.


2do Suplente Prof. JOSE HERNANDEZ ESPINOSA.

Sitio en donde se desarrollo el tema: Departamento de Ingeniería Metalúrgica.
Ciudad Universitaria, circuito de los institutos
Sin número Edificio D.

Nombre del asesora : TERESITA ROBERT NUÑEZ

Teresa Robert N.

Nombre de sustentante: ARTURO CHONG CASTELL

 _____

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Chong Castell Arturo

FECHA: 5-abril-2005

FIRMA: 

Dedico esta tesis:

A Dios por darme la luz de la vida y por la familia que no merezco.

A mi Madre Lucila.

Por el apoyo, cariño incondicional, inspiración y ejemplo que me permiten lograr mis metas y propósitos.

Por esa mano que extiendes cuando uno se tropieza.

A mi Padre Arturo

Por su ejemplo, enseñanzas, cariño, estímulos y regaños que me hacen tomar decisiones correctas.

Mamá y Papá Gracias por creer en mi.

A mis hermanos: Samuel, Soette y Liliam.

Por su cariño y ejemplo que me demuestran.

A mi sobrina: Jacqueline.

Por su sonrisa y alegría que contagia.

A mi profesora: Teresita Robert Nuñez

Por su paciencia para enseñarme y por guiarme en la realización de este proyecto.

INDICE

Antecedentes	(1)
Objetivos	(3)
Objetivo General.....	(3)
Objetivos Específicos.....	(3)
Hipótesis	(3)
Capítulo I Proceso de Trefilado	
1.1. Definición de Trefilado.....	(4)
1.2. Esquema del proceso de trefilado.....	(4)
1.3. Equipo de Trefilado.....	(4)
1.4. Trabajo de Trefilado.....	(8)
<i>Fricción</i>	(8)
<i>Trabajo redundante</i>	(9)
1.5. Productos químicos que intervienen en el proceso.....	(10)
1.5.1 <i>Preparación del material</i>	(10)
1.5.2 <i>Operación de estirado</i>	(14)
Capítulo II Métodos de determinación de fuerza para el trefilado.	
2.1. Variables requeridas en los diferentes métodos analíticos para calcular la fuerza requerida para el trefilado.....	(19)
2.1.2 <i>Calculo del ángulo óptimo</i>	(19)
2.1.3 <i>Formula de trabajo para la deformación homogénea</i>	(20)
2.1.4 <i>Formula de trabajo para el trefilado</i>	(22)
2.2. Método de bloque.....	(23)
2.3. Método de Siebel.....	(25)
2.4. Método de Whittón.....	(26)
2.5. Método industrial.....	(27)
Capítulo III Programa global	
Modelo matemático	
Método de bloque.....	(28)
Método de Siebel.....	(28)
Método de Whittón.....	(28)
Método Industrial.....	(28)
Algoritmo.....	(29)
Diagrama de flujo.....	(30)
Controles de los programas.....	(32)
Programa Global	
Instructivo.....	(34)
Capítulo IV Validación del programa y discusión de resultados	
4.1. Prueba industrial	
Procedimiento.....	(41)
Resultados.....	(42)
Comprobación con el programa global.....	(43)
4.2. Discusión de resultados.....	(45)
Conclusiones	(48)
Bibliografía	



Antecedentes

Trefilado

El Trefilado es una operación importante del trabajo de los metales y la finalidad de éste es la fabricación de alambre. El proceso consiste en reducir el diámetro de un perfil redondo de un metal haciéndolo pasar a través de una matriz circular aplicando esfuerzo de estirado. Las propiedades del material se modifican y hay que cuidar en no sobrepasar la ductilidad del metal, pues ésta disminuye con la deformación; La etapa más crítica del proceso es cuando el metal se somete a tracción, para no producir grietas o la estricción localizada que produce ruptura inmediata.

En la fabricación de alambre por este proceso, primero se parte de un lingote, que es laminado en caliente o en su defecto, extruido, con el fin de obtener una varilla y/o pletina. Una vez obtenida la varilla se decapa y posteriormente se trefila en frío con varios tipos de máquinas. Algunos materiales no resisten grandes deformaciones sin romperse, por lo que se trefila la varilla en máquinas de un solo paso, y antes de pasar al siguiente, es necesario llevar a cabo un tratamiento de recocido, con el fin de eliminar la deformación microestructural obtenida y seguir reduciendo el diámetro de la varilla. Existen otros materiales que resisten reducciones consecutivas, dicha reducción se hace continua. Para alambre común, se emplean máquinas de 4 a 5 pasos, y para cuando se necesita alambre mas fino, el metal es sometido a recocido y se trefila en máquinas hasta de 19 matrices.

La fuerza de tracción total necesaria para estirar un alambre a través de un dado de trefilado, es la suma de la fuerza necesaria para causar la deformación del metal por tracción (trabajo ideal), la deformación cortante mas la fuerza requerida para vencer la fricción entre el alambre y la superficie del dado (trabajo de fricción). Cualquier aumento en la fricción disminuye la cantidad de reducción que puede darse en el alambre en un solo paso, por lo que es importante reducirla al mínimo lubricando eficientemente las superficies y utilizando un diseño correcto del dado.

Un dado o matriz para trefilado consiste de un cilindro con un agujero cónico, cuya superficie debe ser tersa, hecho de un material de resistencia al desgaste considerable. La parte de entrada es en forma de campana y nunca está en contacto con el trabajo de deformación, sino que sirve de recipiente para el lubricante arrastrado por el material a deformar; La porción cónica interior es la superficie efectiva del trabajo, donde se verifica la deformación plástica, por tanto, es la parte que debe ser diseñada y preparada cuidadosamente. El ángulo del cono es la parte crítica y es dependiente del metal a trefilar, del material del que está hecho el dado y de la reducción deseada. La superficie debe estar pulida con el fin de reducir la fricción, de manera que la reducción requerida se obtenga con la fuerza de tracción mínima posible.

La siguiente sección interior es de forma cilíndrica y de longitud específica, de manera que al desgastarse la sección de trabajo, el diámetro del alambre permanezca dentro de las especificaciones. La función de la parte final del dado, que esta avellanada, es reforzar a la sección de trabajo y evitar que la orilla circular de éste sea rota o desprendida.



Antecedentes

Para trefilar ciertos metales, se utilizan matrices de acero al carbón, pero se pueden fabricar también de hierro colado templado y de aceros aleados. Los dados o matrices de aceros al carbón y aleados tienen la ventaja de que, al ser fabricados por forja, al desgastarse el agujero se puede martillar y luego escariarse a las dimensiones correctas, las matrices con hierro templado se limitan para fabricar alambres de baja calidad. Para la fabricación de alambre de acero se utilizan dados de carburo de tungsteno, debido a la larga vida de su superficie dura, pero como el carburo de tungsteno es muy caro y frágil, solamente la sección de trabajo del dado se hace de este material y se sujeta a un bloque de hierro dulce, que no se desgasta tan rápidamente, las operaciones de reajuste son menores, obteniéndose una mejor superficie en el alambre producido. Para la fabricación de alambres de metales refractarios, tales como molibdeno y tungsteno, la operación de trefilado debe ser en caliente y los dados a utilizar debe ser fabricados de diamante; para la fabricación de alambre fino de acero también se usan dados de diamantes.

El diseño y la correcta colocación de la matriz es muy importante. El alambre debe entrar con un ángulo determinado y salir con el mismo, girando la matriz para evitar que el alambre se doble o se tuerza. Si la línea del centro del orificio no coincide con el de empuje del alambre, se obtiene alambres desproporcionados o rayados y la matriz se desgasta muy rápido.

La vida de las matrices se prolonga por lubricación entre ella y el metal. La viscosidad del lubricante debe ser menor en cuanto es mayor la velocidad de paso del metal y más elevada es la temperatura de trabajo y también cuanto más blando es el metal o la aleación que se trefila. Para disminuir el desgaste de piezas metálicas debidas a fricción por deslizamiento, se utilizan recubrimientos de fosfatos de hierro-manganeso, asociado siempre a un lubricante, tal como el aceite, grasa o disulfuro de molibdeno.

Para la fabricación de tubos, se debe utilizar un mandril para soportar la pared del tubo; en cambio, para el alambre, no es necesario el uso de mandriles. Existen bancos de estirado para tubos sin mandril, y la operación consiste en que un extremo del tubo se estampa, de manera que se pueda roscar a través del dado, y se estira muy similar a la varilla. Hay otro banco de estirado con un mandril fijo, quedando en posición con la boca del dado, unido a un vástago y soportado al extremo opuesto al estirado, En el caso de la fabricación de alambre, se utilizan bancos de estirado, desde un solo dado, para la fabricación de alambre grueso y en el caso de que se necesite alambre fino, se utilizan bancos con una cantidad múltiple de dados de 4 a 5.

*Wire drawing- Science and Art" Stanley L. Stalson. Tooling and Production Magazine. Marzo, 1971.



Objetivos

A: Objetivo general:

Desarrollar un programa de computación que permita calcular la carga necesaria para llevar a cabo un proceso de trefilado por diferentes métodos, (Método de Whittón, bloque, Siebel y práctico industrial). Validar los datos.

B: Objetivos específicos:

- B1. Implementar una fácil determinación de la fuerza con este programa evitando hacer muchos cálculos matemáticos.
- B2. Predecir problemas o defectos en el metal al obtener la carga suficiente para la deformación .
- B3. Optimizar el proceso de trefilado controlando una de la variables importantes de este proceso (diámetro inicial, diámetro final, ángulo del dado, coeficiente de fricción, esfuerzo de deformación, esfuerzo de trefilado y fuerza).

Alcance

Determinar el efecto de las variables del proceso de trefilado: fuerza aplicada, ángulo óptimo del dado, limpieza del metal y lubricante utilizado, reducción de área y esfuerzo de fluencia del material.

Hipótesis

Lograr un programa que determine la fuerza del proceso de trefilado, mediante métodos teóricos confiables y poderlo aplicar en la industria de conformado.

Capitulo

1

Proceso de trefilado



Capítulo I Proceso de Trefilado

1.1 Definición de trefilado

En este proceso se reduce el diámetro de una pieza de metal cilíndrica al jalarla a través de un agujero cónico, que es el perfil interno de un dado de estirado. Al metal cilíndrico alimentado inicialmente se le reduce la punta de manera que salga a través del orificio del dado y pueda ser sujetado por el equipo de estirado necesario; puede encontrarse desde un simple banco de estirado para trabajo intermitente, hasta bloques múltiples para operación continua.

1.2 Esquema del proceso de trefilado

En la Fig. 1 se muestra las partes básicas de una máquina de trefilado, como se maneja en el lenguaje industrial.

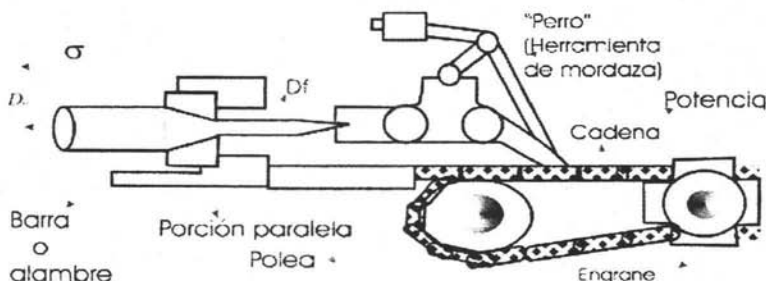


Figura 1. partes de una máquina de trefilado

El esfuerzo de deformación del material es aplicado por la mordaza que a su vez es por la potencia que realiza la cadena, del cual depende la velocidad de trefilado, por eso la fuerza por la velocidad nos da la potencia que requiere la cadena para llevar a cabo el proceso de trefilado.

1.3 Equipo de trefilado

El bloque de estirado consiste de tres partes: un sujetador o cabrestante para sujetar el enrollamiento de varilla lista para estirarse, el dado que es el que ejecuta la reducción y el bloque de estirado o acumulador que enrolla al alambre ya estirado. Las tres partes se muestran en la Fig. 2.

Capítulo I Proceso de Trefilado

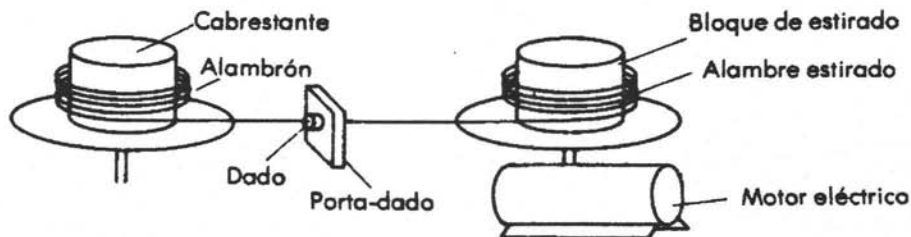


Figura 2. Elementos que componen el trefilado

El equipo mostrado tiene solamente un dado el cual debe cambiarse y reemplazarse por otro de menor diámetro después de cada pasada completa. También es posible estirar el alambre de manera que se pase a través de varios dados simultáneamente. Debe haber, sin embargo, un bloque de estirado para cada dado. Una máquina continua que tenga cinco dados. También tendrá cinco bloques de estirado. Tal tipo de máquina se muestra en el diagrama de la Fig. 3.

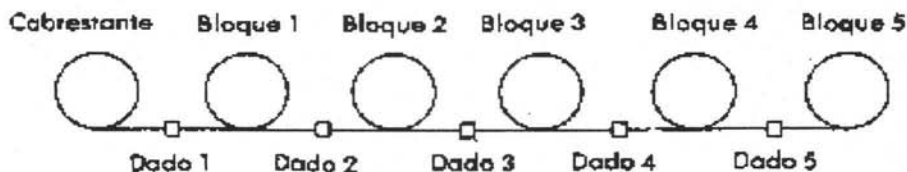


Figura 3. Diagrama de una máquina continua de trefilado.

Puesto que el diámetro del alambre disminuye desde el dado 1 al dado 5, la velocidad periférica de los bloques debe aumentarse a lo largo de la línea. Esto puede lograrse por una de dos maneras:

En la primera, cada bloque de estirado está equipado con su propio motor eléctrico con control de velocidad totalmente variable, el cual puede ajustarse automáticamente para sincronizar la velocidad del bloque con la del alambre. Tiene mucha desventaja debido a la inversión en la instalación de los costosos equipos eléctricos.

El segundo tipo de máquina supera estas desventajas haciendo uso de un solo motor eléctrico para mover una serie de conos escalonados. Los diámetros de los conos son tales, que generan una secuencia de velocidades periféricas equivalentes a una serie definida de reducciones de tamaño. Tales máquinas están, por tanto, diseñadas para dar una reducción específica por pasada, como se ilustra en la Fig. 4.

Capítulo I Proceso de Trefilado

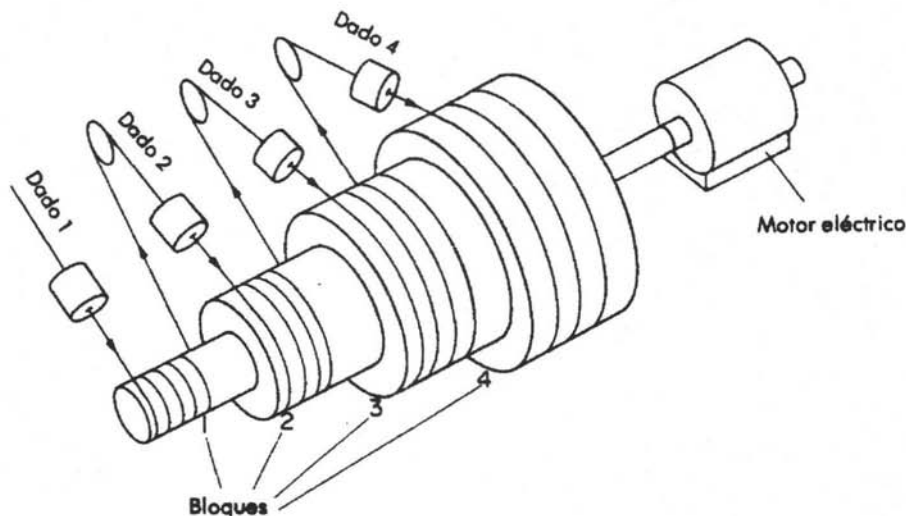


Figura 4. Máquina un solo motor eléctrico.

No es posible lograr una relación precisa entre los diámetros del dado y los del bloque, que es esencial en este patrón, pero el estirado puede llevarse a cabo satisfactoriamente si la discrepancia no son grandes. La discrepancia da como resultado que el material estirado se deslice hacia adelante o hacia atrás en los bloques mientras giran. Esto resulta en fricción y generación de calor, el cual se disipa al sumergir el arreglo completo de conos escalonados en un baño de aceite. Por esta razón se denominan máquinas de inmersión o de deslizamiento.

La parte más importante de la máquina de estirado de alambre es el dado. Este consiste en dos partes, la cubierta y la boquilla. La cubierta está hecha de acero para dados de gran diámetro y de bronce para los pequeños, su función principal es proteger la boquilla. La boquilla, que está contenida dentro de la cubierta, está hecha de carburo de tungsteno en los dados grandes y de diamante industrial en los pequeños. Debe ser de un material extremadamente duro puesto que es la parte en donde se lleva a cabo la reducción. La boquilla tiene un agujero en su centro el cual tiene un perfil definido. Una sección de esta parte se ilustra en la Fig. 5.

Capítulo I Proceso de Trefilado

Dados:

Un dado esta formado por: Caja portanúcleo y núcleo.

Caja Portanúcleo : Es el recipiente cilíndrico de acero, en donde se aloja el núcleo además de distribuir en ella la fuerza de trefilado que se aplique.

Núcleo: El núcleo es el cilindro de carburo de tungsteno con orificio y contorno interior rectificado a un diámetro preferente.

Nomenclatura de un dado:

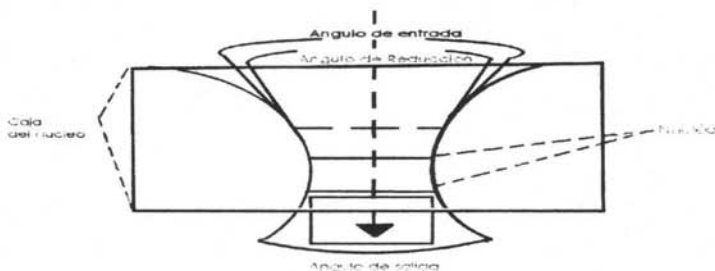


Figura 5. Partes de un dado.

El perfil en sí mismo consiste de cuatro partes: campana, cono, cojinete y salida. La campana esta formada de tal manera que el alambre que viaje en el dado jalará lubricante con él. La forma de la campana ocasiona que la presión hidrostática aumente y permita el flujo del lubricante en el dado. El cono de acercamiento tiene un ángulo definido con la línea de centro y es la porción donde el metal choca contra la superficie, como se muestra arriba. El metal se reduce en diámetro y es jalado a lo largo del acercamiento hacia la salida. La parte de la caja del núcleo constituye el mecanismo de reducción. Como el perfil del dado se desgasta gradualmente conforme el alambre es estirado, la duración del dado se aumenta alargando la longitud del cojinete. Mientras mayor sea la longitud de la caja del núcleo mayor será la carga por fricción en el alambre que está siendo estirado, y si se hace demasiado grande, puede ocurrir la ruptura del alambre, ya que se requiere una carga de estirado demasiado alta. En la práctica, el óptimo usado es aquel en el que la longitud del cojinete es dos tercios del diámetro o barreno. Si el perfil de la salida es correcto, puede presentar erosión en el alambre en este punto.

El ángulo del dado es un parámetro importante en el estirado del alambre. Este es el ángulo que el acercamiento forma con la línea de centro del dado, como muestra en la fig. 5.

Capítulo I Proceso de Trefilado

1.4 Trabajo de trefilado

El trabajo total requerido para lograr una deformación esta formado por el trabajo ideal homogéneo, el trabajo de fricción y el trabajo redundante. El ángulo del dado controla el grado de carga de estirado (es decir, la carga que debe aplicarse al alambre que va sumergido dentro del dado para jalar el restante a través de éste).

Para cada metal existe una carga de estirado para una reducción dada. Estos tres componentes de trabajo (homogéneo, de fricción y redundante):

a) El requerido para deformar el metal ideal u homogéneamente. Está dado por $\sigma = Y \ln(1/1 - r)$, donde Y es el esfuerzo de fluencia, "r" es el % reducción de area lograda. Esta carga ideal es independiente del método de trabajo.

b) El segundo componente del trabajo de deformación es el requerido para vencer la fricción externa. Este depende de una combinación de la presión entre el metal que está siendo deformado y la herramienta, el coeficiente de fricción entre el metal y la herramienta, y el área de la superficie de contacto entre el metal y la herramienta. En el estirado de alambre el área de contacto disminuye conforme el ángulo del dado es aumentado.

La fricción se presenta en cualquier proceso de conformado en frío. Esto se debe al contacto entre dos superficies metálicas sometidas a un movimiento constante ó relativo.

La fricción es debido a las presiones que tiene entre el dado y el alambre. (las presiones son por la carga o fuerza de flujos del trefilado). Si las presiones son altas, la resistencia de fricción es alta. Por lo que podemos considerar que la carga de trefilado es directamente proporcional a la fricción obtenida en el proceso, también se debe considerar el ángulo que tiene el dado y la falta de lubricantes entre el alambre y el dado. La fricción se presenta en todo el borde del dado que tiene contacto con el alambre.

c) Trabajo redundante. En el estirado de alambre la carga por trabajo redundante se aumenta con el ángulo del dado, como se muestra abajo la fig.7. El trabajo redundante es el trabajo extra o desperdiciado que debe efectuarse para doblar las fibras de metal, primero en un sentido y después regresarlas a la dirección original del flujo.

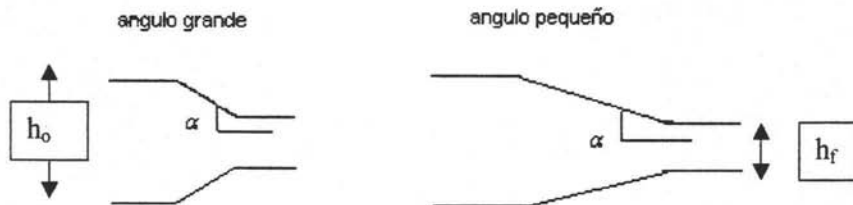


Figura 6. Diferencia de ángulos

Capítulo I Proceso de Trefilado

Es obvio que se requiere más energía para lograr esto en el caso de un ángulo de dado grande, que en el caso de un ángulo de dado pequeño Fig. 6, En la Fig. 7 se muestra la participación del trabajo redundante y la dirección en función del ángulo del dado.

El trabajo redundante es la fuerza que se ejerce en sentido contrario al de la carga de trefilado o llamado tirón.

Otro de los factores que provocan el trabajo redundante es la velocidad de la maquina. (a menor velocidad mayor trabajo redundante).

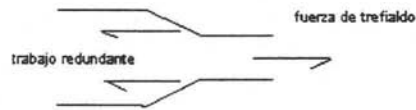


Figura 7. Las fuerzas del trabajo redundante son en sentido contrario a la fuerza de trefilado

En la Figura 8 se muestra la participación del trabajo de deformación ideal, de la fricción y del trabajo redundante en el trabajo requerido para el trefilado.

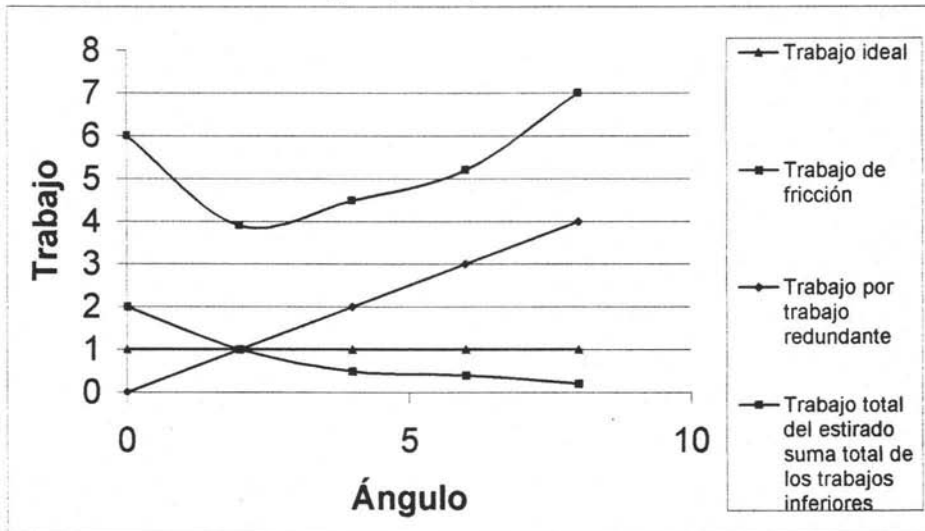


Figura 8. Componentes del trabajo total de trefilado. Trabajo ideal de deformación, trabajo de fricción y trabajo redundante



Capítulo I Proceso de Trefilado

Se ha encontrado en la práctica que entre más duro sea el metal el ángulo mínimo de fuerza debe ser mas pequeño.

Tabla 1 ángulo óptimo en función del metal

<i>Metal</i>	<i>Angulo óptimo</i>
Aluminio	24°
Cobre	12°
Acero	6°

El proceso industrial de fabricación de alambre puede involucrar muy altas velocidades de estirado. El alambre en una maquina típica de 15 dados, en la que el diámetro es reducido de 510 mm (0.020plg) a 200 mm (0.0076plg) tendrá una velocidad de salida de 70 m/s (252Km/h, 12000pies/seg). A tales velocidades la mayoría de la energía de deformación aparece como un aumento de temperatura y para lograr su disipación los dados y bloques son totalmente sumergidos en un baño de lubricante en circulación, el cual también actúa como refrigerante.

1.5 Productos Químicos que intervienen en el proceso*

Como la mayoría de las ciencias, el estirado de alambre empezó siendo un arte. Los antiguos egipcios golpeaban el oro hasta conseguir hilos que adelgazaban más, jalándolos a través de agujeros hechos en piedras logrando así alambre finos para joyería. El proceso de estirado aún se aprecia así de simple y se puede describir como la operación en la cual se pasa el alambón o alambre jalándolo a través de uno o más dados, alargándolo lo suficiente para producir diámetros más pequeños.

Sin embargo, esta preparación es superficial si consideramos los detalles que afectan al proceso, al grado que en la actualidad contamos con una verdadera tecnología.

Para describir este punto debemos considerar dos aspectos principales del proceso:

I.- Preparación del material.

II.-Operación del estirado.

1.5.1 Preparación del material.

Dentro del la preparación del material debemos considerar los aspectos de limpieza y recubrimiento.

a) **Limpieza:** La limpieza es un aspecto importante, ya que se parte de alambón el cual está cubierto por la escama de óxidos producida en la laminación en caliente, dicha escama debe ser eliminada antes del estirado en frío.

*Pickling of Iron and Steel" ASM Comitee on Picking Iron and Steel. Metal Handbook Vol. 2 HeatTreating, Cleaning and Finishing. Agosto, 1971.



Capítulo I Proceso de Trefilado

La eliminación se puede realizar por medios mecánicos o químicos.

Los métodos químicos más comunes son aquellos que emplean soluciones ácidas directamente o bien con un tratamiento previo en soluciones alcalinas.

El decapado químico (PICKLING) es la operación que elimina los óxidos (escamas) de la superficie de un metal por inmersión de éste en una solución de ácido. En dicha operación son posibles muchas variantes con respecto al tipo de ácido, concentración y temperaturas de la solución empleada.

Soluciones de decapado: El ácido sulfúrico es el ácido para decapado más barato y por lo tanto, es el más ampliamente utilizado. El ácido clorhídrico se emplea para propósitos específicos tales como el grado previo al galvanizado o estañado y el decapado de acero inoxidable. El ácido nítrico, se usa para el decapado de acero inoxidable y ocasionalmente es empleado para oxidar la escama de las superficies para acelerar el decapado. El ácido fluorhídrico se agrega algunas veces al baño para acelerar el decapado.

Ácido sulfúrico: Se usa generalmente en concentraciones entre 5 y 12 % por peso, a temperaturas de 55 a 60 °C y por tiempo de 15 a 40 minutos dependiendo de las condiciones del alambtrón así como de la aleación que se trabaja.

Ácido clorhídrico: Este ácido se prefiere para el decapado en cargas de alambtrón o de alambre a alto carbón laminado en caliente. Este ácido produce una superficie uniforme gris clara y reduce al mínimo la posibilidad de un ataque por decapado excesivo, con la formación del residuo negro sobre la superficie.

Las operaciones de decapado continuo también emplean ácido clorhídrico con las siguientes condiciones de operación 8 a 12 % HCl en agua a temperaturas de 38 a 41 °C y por un tiempo de 5 a 10 minutos.

Aditivos: Para un trabajo más eficiente, seguro y cómodo en los baños de ácido para decapado, se emplean aditivos, siendo los más importantes los inhibidores y los agentes espumantes.

Inhibidores: Los inhibidores son sustancias que permiten la eliminación de la escama de manera apropiada. Previenen al metal base de un ataque severo y reducen considerablemente el desprendimiento de hidrógeno de la reacción de ácido sobre el metal, logrando con todo esto que el consumo de ácido caiga dentro de valores económicos y prácticos. Además debemos hacer notar que todo esto se efectúa sin afectar de manera considerable las propiedades físicas del metal.

En general, los inhibidores tienen composiciones químicas muy variadas, tales como los aldehídos, alcoholes acetilénicos, piridinas, pirimidinas, mercaptanos, tiocianatos, proteínas; todos ellos compuestos orgánicos, y su comportamiento en las soluciones de ácido se ve afectado por la temperatura y concentración del ácido, la clase de ácido y el tiempo de inmersión del metal, así como la cantidad de hierro disuelto en el baño de decapado.

Agentes Espumantes: Los agentes espumantes se emplean en los baños de decapado ácido para producir una capa de espuma en la superficie líquida, dicha capa evita la salida de vapores además de reducir considerablemente la salida de vapor de agua.

Los agentes espumantes generalmente caen en dos categorías: Anódicos y catódicos. Los agentes humectantes no iónicos no llegan a formar espuma estable como la de los iónicos.



Capítulo I Proceso de Trefilado

Pretratamientos al decapado ácido: Existen tratamientos previos a la inmersión en baños ácidos para lograr mayor eficiencia en la limpieza del material a procesar, de ellos los más importantes son:

1.) El tratamiento con solución de permanganato de potasio se conoce desde hace muchos años y actualmente se usa en la industria de los metales no ferrosos.

Se ha encontrado que con el empleo del permanganato se logra un decapado más rápido y con menor ataque del ácido al metal. Dicho pretratamiento ha venido a resolver los problemas de eliminación de escama que no se logran con el decapado convencional, especialmente cuando se requieren superficies extremadamente limpias que han de sujetarse a métodos de acabados posteriores.

2.) El tratamiento con hidruro de sodio no solo se emplea para el acero también para el cobre y otros metales y aleaciones. El proceso consiste en un baño de hidróxido de sodio fundido conteniendo de 1.5 a 2.0 % de hidruro de sodio. El mecanismo de este tratamiento implica la reducción química de los óxidos metálicos o metales u óxidos inferiores. El material ya reducido se elimina en su mayoría en una inversión en agua y la eliminación total se realiza por inmersión del material en una solución de ácido seguido de un enjuague de agua a alta presión.

b) **Recubrimientos:** No basta con la limpieza de la escama, por los procedimientos descritos antes, para considerar al alambón o alambre lo suficientemente preparado para su estirado en frío.

En primer lugar, es recomendable una práctica de neutralización para evitar oxidaciones en el material y en seguida un medio que facilite el acarreo del lubricante en la operación de estirado.

De acuerdo al empleo general o específico de los recubrimientos podemos clasificar a éstos en dos grupos:

1. Recubrimientos convencionales.
2. Recubrimientos especiales.

Entre los primeros, contamos con los transportadores de lubricante comúnmente usados en la mayor parte de las fábricas de alambre que son la cal y el bórax y entre los segundos tenemos el fosfatizado y los recubrimientos como: cobre, estaño y zinc

Cal: El hidróxido de calcio es el transportador de lubricantes más económico. Es necesario conocer a fondo las características físicas del compuesto para lograr suspensiones adecuadas que garanticen el éxito con respecto a la velocidad de la producción. Algunas plantas, especialmente las pequeñas, emplean el óxido de calcio que se convierte en hidróxido de calcio al "apagar" aquel con agua.

Para lograr un depósito que se aproveche con éxito es importante que la conversión de CaO a Ca(OH)_2 se realice de manera adecuada y el baño de hidróxido de calcio se mantenga apropiadamente.

Es importante que las partículas en suspensión tenga un diámetro pequeño o una superficie específica alta. Estas características influyen notablemente en la adherencia del Ca(OH)_2 al alambre.

Bórax: El uso del Bórax como recubrimiento para el alambón o alambre se puso en práctica al terminar la Segunda Guerra Mundial. La alcalinidad de este compuesto ayuda a



Capítulo I Proceso de Trefilado

neutralizar cualquier residuo ácido que no hubiese sido eliminado en los enjuagues. Este ayuda a proteger al material contra la oxidación y ayuda a la lubricación durante la operación de estirado.

En general se le usa a concentraciones de 75 a 190 g/l. de bórax pentahidratado a una temperatura de 90°C dejando el material en proceso dentro de la solución el tiempo suficiente para que alcance la temperatura del baño. El calor que retiene el material es suficiente para secarlo aunque también se utilizan hornos a 285-315°C por tiempos de 15 minutos.

Fosfatizado: El fosfatizado es uno de los recubrimientos especiales pues solo se usa para el estirado de los tipos de alambre y /o alambón mas críticos, generalmente alto en carbón y alta tensión.

En general el fosfato que se usa es una formulación donde existe fosfato de zinc y aditivos que favorecen la cristalización sobre la superficie del alambre.

El recubrimiento de fosfato es un verdadero enlace químico entre los cristales de fosfato y el metal base. El espesor de película es mayor, por lo que los alambres fosfatizados ya estirados presentan mas rugosidad en su superficie que los recubrimientos con cal o bórax.

Los recubrimientos de fosfatos retienen mejor la película de lubricante y por ello es más útil cuando la superficie es importante como en la manufactura de alambre para resorte de válvulas, alambre musical, alambre para resorte mecánicos, alambre para cables de preesfuerzos, alambre para cuerdas de llantas y otros que requieren dimensiones y características de superficies específicas, además de alta resistencia a las fallas por fatiga. Otra características del recubrimiento del fosfato, a diferencia de la cal y el bórax, es que tiene muy poca tendencia a tomar humedad del ambiente y proporciona una resistencia a la corrosión al alambre acabado. El alambre fosfatizado ya estirado presenta un acabado gris azulado, oscuro, muy cercano al negro dependiendo de la cantidad y tipo de lubricante residual sobre la superficie del alambre.

De los baños tanto para la limpieza, como para recubrimiento el que más control químico requiere es éste y con objeto de obtener mejores resultados se requiere que sea uniforme, adherente y de cristales finos para lo cual se hace necesario el control químico de: acidez total, acidez libre, temperatura, tiempo, soldadura del alambre en las cargas, cantidad de acelerador, peso de la capa y tamaño de los cristales.

Cobrizado: Los recubrimientos de cobre por inmersión son esenciales en muchos de los productos de alambre de acero bajo y alto en carbón. En alambre de soldadura facilita el estirado; en alambre para cuerdas de llanta, se aumenta la adherencia al hule; en el alambre para grapas facilita el estirado y proporciona una apariencia atractiva. Además el Cobrizado proporciona muchas otras características especiales, como conductividad, superficies lustrosas y resistencia a la corrosión.

Los productos empleados para lograr este recubrimiento por inmersión generalmente están formulados con sulfato de cobre y con aditivos como inhibidores, activadores, agentes humectantes y estabilizadores. El cobrizado por inmersión, sin emplear corriente eléctrica, es posible debido a la posición que guardan el cobre y el hierro en la serie electroquímica de los metales y el Fe no desplaza al Cu; el Cu se reduce pasando de $\text{Cu}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cu}^0$



Capítulo I Proceso de Trefilado

Galvanizado: En el proceso de galvanizado, ampliamente conocido, los productos químicos que intervienen después de tener la superficie de alambre limpia (para cual generalmente se emplea el ácido clorhídrico con mejores resultados) son los fundentes a base de cloruro de amonio (sal amónica) o cloruro de zinc y amonio, y posteriormente el zinc fundido para formar el recubrimiento. En algunas instalaciones se emplean productos a base de carbón vegetal a la salida del baño de zinc para limpiar la superficie del alambre y provocar que el recubrimiento de zinc sea más terso y uniforme en su espesor.

Los recubrimientos metálicos se aplican de manera más económica por simple inmersión aunque es práctica común, para tener mejor calidad de acabado, la aplicación por métodos electrolíticos, empleado para ello corriente directa.

En ambos procesos (inmersión o electrolítico) la condición de limpieza del alambre constituye uno de los factores más importantes dependiendo del origen del material que va a recubrirse, no siempre la limpieza con ácidos es suficiente, cuando es el caso, se hace necesario el empleo de limpiadores que generalmente son de los clasificados como detergentes alcalinos.

c) **Limpiadores alcalinos:** Formulados de muy diversas formas para ser empleados en la limpieza previa al decapado químico por ácido. Existen muchos limpiadores cuya función es eliminar de manera rápida los residuos insolubles en agua. El comportamiento de estos limpiadores no es propiamente químico aunque, para la eliminación de algunas impurezas grasas, sí existe una verdadera saponificación. La forma en que actúan los limpiadores de este tipo es abatiendo la tensión superficial que existe entre las impurezas y el metal base, "arrancando" prácticamente los residuos de la superficie del metal. Para una mejor penetración de los limpiadores se acostumbra incorporar a sus formulaciones agentes humectantes, además de otros aditivos que les permite ser eficientes aún cuando se emplee agua dura en la preparación de sus soluciones.

También existen limpiadores alcalinos electrolíticos, que puede acelerar la limpieza empleando corriente directa.

d) **Protectores:** Los recubrimientos metálicos que se han mencionado presentan una tendencia al empañamiento y manchado y es necesario proteger sus superficies para evitarlo. Existen muchos productos específicos para cada caso. En general, funcionan dejando películas infinitamente delgadas que no afectan las operaciones de transformación del alambre a productos terminados, aislando al metal recubierto del oxígeno del aire y de la humedad del ambiente.

1.5.2 Operación de estirado*

Lubricantes: Los productos químicos importantes que intervienen en la operación de estirado propiamente dicha, son los lubricantes. Los lubricantes actúan depositando una película no metálica entre el material a estirar y el dado, evitando el rayado del producto y el desgaste del dado.

Las operaciones de los lubricantes para estirado de alambre son muy diversas y las características que debe presentar cada lubricante normalmente las dicta el tipo de alambre y el equipo disponible para la operación.

En general, podemos clasificar los lubricantes de la siguiente manera:



Capítulo I Proceso de Trefilado

- i.- Jabones en polvo.
 - a) Solubles en agua.
 - b) Insolubles en agua.

- ii.- Compuestos grasos:
 - a) base agua.
 - b) Base aceite.

- iii.- Lubricantes líquidos.
 - a) emulsionables en agua.
 - b) emulsionables en aceite.

i - Jabones en polvo:

El comportamiento de los lubricantes en polvo se puede describir así: Cuando el alambre pasa a través de la caja que contiene el polvo, se adhiere una pequeña cantidad de jabón a la superficie del alambre, la cual es arrastrada dentro del dado junto con el alambre. El calor y la presión de la operación de estirado son los factores que hacen posibles la transformación del lubricante y el transportador (cal o bórax) en una película plástica, que actúa reduciendo en alto grado la fricción y disminuyendo el contacto metal – metal.

La composición química de un lubricante en particular no determina estrictamente su eficiencia para una aplicación específica. Un lubricante cuyos ingredientes han sido mezclados mecánicamente puede tener componentes que reaccionan bajo estas condiciones, las variaciones en la manufactura puede producir diferentes propiedades de lubricación en compuestos que tienen la misma composición química.

Los jabones en polvo solubles en agua son jabones sódicos y se preparan por la reacción entre sosa cáustica y grasas o ácidos grasos en combinación con algunos otros ingredientes.

Los jabones insolubles en agua, en general, son jabones metálicos de calcio, aluminio, zinc y plomo, es decir, son sales de varios ácidos grasos. Los jabones cálcicos son los más ampliamente usados.

Las características que deben reunir los lubricantes en polvo para asegurar su funcionamiento son:

Contenido de grasas: Esta característica se refiere a la cantidad de material graso en el lubricante, en general: a mayor material graso más “rico” el lubricante, y menor cantidad más “pobre”.

El tipo de materiales grasos influyen en la temperatura de fusión de cada lubricante.

Tamaño de grano: Una importante consideración para una aplicación específica es el tamaño de las partículas del lubricante en polvo. En general, los lubricantes de grano grueso se usan en los calibres más grueso o alambrón, en tanto que los lubricantes finos se aplican para los estirados de alambres finos. Si el lubricante contiene demasiadas partículas



Capítulo I Proceso de Trefilado

gruesas, el alambre no recoge el lubricante fácilmente. Por otro lado, si es muy fino puede presentarse fácilmente la formación de un "túnel" aunque esto es más frecuente a altas velocidades de estirado.

Los lubricantes en polvo caen dentro de las siguientes clasificaciones atendiendo el tamaño de grano Tabla 2.

Tabla 2 Clasificación del tamaño del lubricante en polvo.

Lubricante en polvo	Porcentaje retenido por una malla de No. 20
Muy grueso	Más de 50
Grueso	41 a 50
Mediano	26 a 40
Fino	16 a 25
Extra fino	6 a 15
Extra, extra fino	0 a 5

Humedad: Un contenido excesivo de humedad en un lubricante da como resultado una película pobre de éste sobre la superficie del alambre, además de causar un alto consumo debido al apelmazamiento de dicho material en la caja. Sin embargo, el equipo moderno y las nuevas técnicas de fabricación han eliminado prácticamente esta posibilidad.

El uso de lubricantes en polvo para alambres ferrosos quedan restringidos prácticamente a alambres de más de 0.018" en diámetro (calibre 26). Para alambres de diámetro menor, se emplean soluciones de jabones solubles o productos sintéticos en agua.

Las soluciones de estirado disponibles para el alambre de acero galvanizado, cobrizado o latonado y fosfatizado deben contener de 0.9 a 2% de material graso.

Aditivos especiales: Con el propósito de proporcionar determinadas propiedades a los lubricantes se emplean algunos aditivos especiales siendo los más importantes:

Azufre, fósforo y cloro (aditivos de extrema presión).

Grafito: también es un aditivo de extrema presión que funciona a temperaturas hasta de 1,100 °C, siendo su coeficiente de fricción muy bajo.

Disulfuro de molibdeno: es un sólido con características muy similares a las del grafito, sin embargo, la máxima temperatura que soporta sin descomponerse es de 400°C. Arriba de dicha temperatura presenta una oxidación en presencia de aire formándose el óxido de molibdeno que es abrasivo.

Disulfuro de tungsteno: Muy parecido al MoS_2 en apariencia y comportamiento químico. Su coeficiente de fricción es más bajo y se puede usar hasta temperaturas de 510°C.

Kynar: (Derivado fluorado del vinilo). Es el aditivo de mas bajo coeficiente de fricción. Sin embargo, no se ha desarrollado ampliamente por su elevado costo.

Se han llegado a emplear con resultado regulares otros aditivos inorgánicos como el óxido de zinc, carbonato de calcio, sulfato de bario, que tiene valores de lubricación bajos.



Capítulo I Proceso de Trefilado

ii.-Compuestos grasos:

a) Base agua: Los lubricantes que son solubles en agua son los compuestos llamados lubricantes polares, se consideran polares porque el compuesto orgánico que predomina en estas grasas es la glicerina con agua incluyendo aceites minerales, contienen agentes como sulfatos de sodio y calcio. La cantidad de glicerina es para prevenir la corrosión del dado. Estos lubricantes también permiten que fluya el metal más rápido. No contiene ningún abrasivo y no presentan residuos en el dado.

b) Base aceite: Estos lubricantes son solubles en aceite, se utiliza un aceite neutro como aceite de parafina. La base de este lubricante incluye sólidos solubles en aceite orgánico como es el caso de plomo blanco, grafito y/o sulfuros de molibdeno en talco. Estos lubricantes no son corrosivos pero si presentan residuos en el metal trefilado.

iii.-Lubricantes líquidos:

Estos lubricantes son considerados emulsiones. Las emulsiones son coloides en las cual es una fase líquida (pequeñas gotitas con diámetro entre 10^{-5} a 10^{-7} cm) se dispersa o suspende en un medio líquido. Las emulsiones se clasifican como liofóbicas (que repelen solventes y son generalmente inestables) y liofílicas (que atraen solventes y son generalmente estables).

Emulsiones en agua: son emulsiones liofílicas porque contiene solventes como el caso de grasas base agua que a su vez contiene partículas sólidas de sulfatos de sodio. Como emulsión se puede suministrar a presión y por inyección y así permite bañar uniformemente al alambre, solo que se desperdicia más lubricante.

Emulsiones en aceite: es estos se utilizan grasas base en aceite pero en lugar del agua se utiliza un hidrocarburo que puede ser una cetona para conseguir la consistencia de emulsión y generalmente se utiliza un solvente de azufre.

Las emulsiones generalmente abaten la temperatura que pudiera darse entre el metal y el dado de la máquina.

Los diferentes tipos de lubricantes existentes han surgido de las distintas necesidades a través del gran número de combinaciones posibles para lograr diferentes clases de alambres. Esto significa que para cada operación es necesario escoger el o los lubricantes más apropiados. Normalmente el lubricante adecuado para cada aplicación debe seleccionarse tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

1. La composición del metal.
2. La preparación de la superficie, es decir, si el decapado es mecánico o químico
3. La variable de estirado: a) tipo de máquina, b) rango dimensional, c) número de pasos en la reducción total y d) los dados.
4. Requisitos de la película residual incluyendo: a) lubricación para procesos posteriores, b) facilidad para su eliminación, c) protección a la corrosión, d) resistencia al manchado, e) conductividad, etc.
5. El tipo de acabado deseado.

* Pickling of Iron and Steel" ASM Committee on Pickling Iron and Steel. Metal Handbook Vol. 2 Heat Treating, Cleaning and Finishing. Agosto, 1971.



Capítulo I Proceso de Trefilado

Lubricantes para el trefilado:

Los polvos lubricantes para el trefilado en seco de los alambres de acero, constan fundamentalmente de tres ingredientes: Grasas, carga o relleno y aditivos.

1. Grasa usualmente jabón de calcio o sodio.
2. Carga o relleno, comúnmente cal química para los jabones de calcio y sosa solray para los de sodio. Con esto nos permite tener una película gruesa de lubricante sobre el alambre el cual ayuda a mejorar su acabado.
3. Aditivos: azufre para superficies muy ásperas (decapado mecánico), sulfuro de molibdeno auxiliar en extrema presión, pigmentos para incrementar el arrastre del aceite por la capa de lubricante, etc.

Comportamiento del lubricante en el trefilado:

- a) La cantidad de lubricante tomada por el alambre está en función del porcentaje de reducción y alcanza valores máximos para reducciones de tipo medio (de 2.5mm), y depende en cada momento de sus características superficiales.
- b) Muy poco o prácticamente nada de lubricantes se adhiere al material en los pasos intermedios y finales en trefilado múltiple.
- c) Dado que la cantidad de lubricación intermedia es prácticamente nula, para llegar a tener una buena capa de lubricante en los últimos pasos, habrá que conservar la tomada en el o los primeros pases.
- d) La lubricación sódica (sodio o potasio) da una capa más delgada que los metales (calcio y aluminio). Los lubricantes sódicos son solubles en agua, los metálicos no.

Capítulo II Métodos de determinación de fuerza para el trefilado

2.1 Variables requeridas en los diferentes métodos analíticos para calcular la fuerza requerida para el trefilado.

En la figura 9 se representan las variables de importancia en el proceso de trefilado.

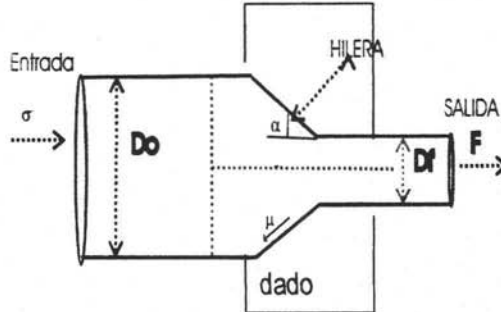


Figura 9 Variables del proceso de trefilado

Notación

- σ = Esfuerzo de deformación del metal
- D_o = Diametro Inicial
- D_f = Diametro Final
- α = Semiángulo del dado
- μ = Coeficiente de fricción
- F = Fuerza
- σ = Esfuerzo de trefilado

2.1.2 Cálculo del Ángulo Óptimo.

El ángulo óptimo, α^* es el ángulo que garantiza la energía mínima requerida para realizar la deformación. Depende del rozamiento o fricción y también de la reducción. Este ángulo no depende del endurecimiento por deformación característico de cada metal.

El ángulo optimo esta dado por:

$$\alpha^* = \sqrt{\frac{\mu \times r}{1 - r}} \text{ [radianes] } \dots\dots\dots(1)$$

μ = coeficiente de fricción.

Capítulo

2

*Métodos de determinación
de fuerza para el trefilado*



Capítulo II Métodos de determinación de fuerza para el trefilado

$$r = \frac{A_o - A_f}{A_o} = 1 - \frac{A_f}{A_o}$$

$$\frac{A_f}{A_o} = 1 - r \dots\dots\dots(2)$$

invirtiendo las relaciones se obtiene

$$\frac{A_o}{A_f} = \frac{1}{1 - r}$$

$A_o = \text{Área Inicial}$
 $A_f = \text{Área Final}$

Por lo tanto:

$$r = 1 - \left(\frac{D_f}{D_o}\right)^2 \dots\dots\dots(3)$$

La teoría del conformado de metales tiene como objetivos principales el cálculo de la deformación del material, y el cálculo de las cargas requeridas para producir esta deformación, pero también puede servir de ayuda para predecir las causas de rotura. La práctica normalmente esta basada en originar el cambio de forma que se requiera, sin introducir tensiones y deformaciones perjudiciales en el material final.

2.1.3. Fórmula de trabajo para la deformación homogénea

En el trefilado, el esfuerzo de tracción se aplica al alambre estirado, pero su magnitud se determina mediante la carga requerida para provocar la deformación plástica en la zona de la hilera, no sobre la sección trasversal del alambre estirado que ha sobrepasado la hilera. El esfuerzo de tracción sobre el alambre depende del área proyectada del anillo de la hilera, mas que de la sección trasversal del alambre estirado. Un cálculo de la carga en sentido perpendicular a la dirección del estirado, daría la fuerza de compresión sobre la hilera, que es la carga de restricción necesaria para la operación, pero que no realiza ningún trabajo. Esto puede tener importancia por ejemplo al considerar la ruptura de la hilera, dando la fuerza de trabajo en la dirección de estirado es normalmente mas importante.

Un método más general, aplicable a las condiciones sencillas de tracción o compresión así como a procesos mas complejos tales como el estirado es considerar el trabajo realizado en la deformación de un pequeño elemento de la pieza, y entonces integrarlo a lo largo de todo la región de deformación.

Así, para la tracción uniaxial, las tensiones principales para un punto cualquiera son:

$$\sigma_1 = Y_1, \sigma_2 = 0, \sigma_3 = 0,$$



Capítulo II Métodos de determinación de fuerza para el trefilado

Donde Y es la tensión de fluencia instantánea para la deformación ϵ , que corresponde al área de la sección transversal A y a la longitud l . El incremento de trabajo realizado al aumentar la longitud de la probeta δl durante la deformación viene dado por el producto de la fuerza y del desplazamiento:

$$\delta W = (YA)\delta l$$

El incremento de trabajo, por unidad de volumen V , es : (4)

$$\frac{\delta W}{V} = \frac{\delta W}{Al} = Y \frac{\delta l}{l}$$

Suponiendo que no hay cambio de volumen por lo que se integra esta expresión entre la longitud original l_0 longitud final l_1 :

$$\frac{W}{V} = \int_{l_0}^{l_1} Y \cdot \frac{dl}{l} = \int_{\epsilon^0}^{\epsilon^1} Y \cdot d\epsilon \dots\dots\dots(5)$$

De estos se deduce que el trabajo realizado por unidad de volumen, en una deformación homogénea, es igual al área de la curva tensión-deformación entre los valores de deformación adecuados.

Estos se pueden calcular directamente a partir del cambio de dirección suponiendo una fluencia media \bar{Y} .

$$\frac{W}{V} = \bar{Y} \int_{l_0}^{l_1} \frac{dl}{l} = \bar{Y} \ln \frac{l_1}{l_0} \dots\dots\dots(6)$$

La ecuación anterior, frecuentemente conocida como la fórmula de trabajo proporciona una aproximación razonable para un metal que se haya endurecido por deformación plástica antes del estirado por tracción, de manera que Y no varíen mucho durante el proceso. Esta ecuación es menos útil para un material recocido, donde Y aumenta rápidamente con la deformación de manera que entonces es preferible utilizar la ecuación,

$$\sigma = \bar{Y} \ln \frac{l_1}{l_0} \dots\dots\dots(7)$$

integrando la curva tensión-deformación gráficamente. Este método se puede aplicar en varias operaciones reales.



Capítulo II Métodos de determinación de fuerza para el trefilado

2.1.4 Fórmula de trabajo para el trefilado

El trabajo realizado por la fuerza de estirado F_1 cuando se mueve desde la posición de partida, adyacente a la hilera, hasta la longitud total de l_1 del alambre estirado, viene dado por

$$W_1 = F_1 l_1 \dots\dots\dots(8)$$

Suponiendo una deformación homogénea, el trabajo necesario para deformar el alambre en la hilera se deduce a partir de la ecuación.

$$W = V Y \ln \frac{l_1}{l_0} \dots\dots\dots(9)$$

Quando no existe rozamiento, esta expresión se transformará en:

$$F = \frac{V}{l_1} Y \ln \frac{l_1}{l_0} \dots\dots\dots(10)$$

Puesto que $V=l_0 A_0 =l_1 A_1$, esta fórmula se puede escribir como:

$$F = A_1 Y \ln \frac{l_1}{l_0} \dots\dots\dots(11)$$

Lo normal es considerar la reducción de área en el trefilado mejor que el incremento de longitud, ya que en la práctica lo que se requiere es una variación del área de la sección. Si consideramos de nuevo que el volumen permanece constante la ecuación se convierte en

$$F = A_1 Y \ln \frac{A_0}{A_1} \dots\dots\dots(12)$$

la reducción de área r viene dada por:

$$r = \frac{A_0 - A_1}{A_0} = 1 - \frac{A_1}{A_0}$$

Así

$$F = A_1 Y \ln \frac{1}{1-r}$$

En consecuencia la tensión de estirado σ_1 es

$$\sigma_1 = \frac{F}{A_1} = Y \ln \frac{1}{1-r} \dots\dots\dots(13)$$



Capítulo II Métodos de determinación de fuerza para el trefilado

Esto constituye la base para muchos de los cálculos de operaciones de trefilado, aplicándose las correcciones correspondientes para compensar la influencia de las restricciones mecánicas y de rozamiento.

2.2 Método de Bloque.

Estirado de barra cilíndrica, con una matriz cónica (σ, μ, Y constante)

Se considera nuevamente el equilibrio de un pequeño elemento en la zona de trabajado. La figura siguiente representa las tensiones que actúan sobre un delgado cono, a una distancia x del vértice virtual de la mordaza cónica.

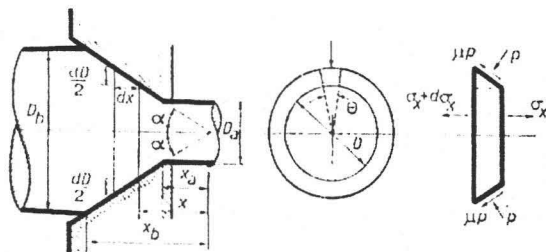


Figura 9 componentes de fuerza

Existen tres componentes de fuerza que actúan en la dirección axial:

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

Debido a la presión de la matriz sobre la circunferencia,

$$p \left(\pi D \cdot \frac{dx}{\cos \alpha} \right) \sin \alpha$$

debido a la resistencia de rozamiento en la circunferencia

$$p \left(\pi D \frac{dx}{\cos \alpha} \right) \cos \alpha$$

En condiciones de estirado estacionarias debe existir equilibrio. Así despreciando los productos infinitesimales,

$$\frac{\sigma_x D dD}{2} + \frac{D^2 d\sigma_x}{4} + p D dx \operatorname{tg} \alpha + \mu p D dx = 0 \dots\dots\dots (14)$$



Capítulo II Métodos de determinación de fuerza para el trefilado

puesto que $dD=2dx \operatorname{tg} \alpha_a$ se puede escribir

$$2\sigma_x dD + Dd\sigma_x - 2pdD + 2\mu p d\operatorname{ctg} \alpha = 0$$

$$Dd\sigma_x + 2[\sigma_x + p(1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha)]dD = 0 \quad \dots\dots\dots(15)$$

el equilibrio radial da:

$$\sigma_r(\pi D dx) = -\rho \left(\pi D \frac{dx}{\cos \alpha} \right) \cos \alpha + \mu \rho \left(\pi D \frac{dx}{\cos \alpha} \right) \operatorname{sen} \alpha \quad \dots\dots\dots(16)$$

$$\sigma_r = -\rho(1 - \mu \operatorname{tg} \alpha)$$

Normalmente se puede despreciar $\mu \operatorname{tg} \alpha$ con la unidad.

Los valores típicos son $\mu = 0,05, \alpha = 12^\circ, \mu \operatorname{tg} \alpha = 0,011$

Entonces el estado de tensión es cilíndrico y las tensiones principales son $\sigma_1 = \sigma_x = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_r = -p$. Si dos tensiones principales son iguales, el sistema es equivalente a una tensión axial combinada con una tensión hidrostática, de manera que la deformación permanente tenga lugar para el valor de Y . Todo los criterios de deformación deben dar este resultado:

Von Mises $(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2Y^2 \quad \dots\dots\dots(17)$

Tresca $\sigma_1 - \sigma_2 = 2k = Y \quad \dots\dots\dots(18)$

En consecuencia en el estirado de barra $\sigma_1 - \sigma_2 = Y_1$ así pues,

$$\sigma_x + \rho = Y \quad \dots\dots\dots(19)$$

Combinando esta condición de deformación permanente con la ecuación anterior, y escribiendo $B = \mu \operatorname{cot} \alpha$

$$\frac{d\sigma_x}{B\sigma_x - Y(1 - B)} = 2 \frac{dD}{D} \quad \dots\dots\dots(20)$$

Esta ecuación diferencial básica se puede integrar directamente si B e Y son constantes.

$$\frac{1}{B} \ln [B\sigma_x - Y(1 + B)] = 2 \ln D + \text{constante} \quad \dots\dots\dots(21)$$

$$B\sigma_x - Y(1 + B) = cD^{2B}$$

La constante de integración se calcula a partir de la suposición de que no existe tensión longitudinal a la entrada.

$$\sigma_x = \sigma_b = 0, D = D_b$$

$$c = -Y(1 + B) / D_b^{2B}$$



Capítulo II Métodos de determinación de fuerza para el trefilado

Así

$$\frac{\sigma_x}{Y} = \frac{1+B}{B} \left[1 - \left(\frac{D_a}{D_b} \right)^{2B} \right] \dots\dots\dots (22)$$

La tensión de estirado σ_{xa} viene dada por:

$$\sigma_{xa} \frac{\sigma_{xa}}{Y} = \frac{1+B}{B} \left[1 - \left(\frac{D_a}{D_b} \right)^{2B} \right] \dots\dots\dots (23)$$

Esta expresión se parece a la ecuación para el estirado de chapa o placa y el parecido es todavía mayor respecto a la reducción de sección.

$$r = \frac{\pi}{4} (Db^2 - Da^2) / \frac{\pi}{4} Db^2; R = 1 - \left(\frac{Da}{Db} \right)^2 \dots\dots\dots (24)$$

$$\frac{\sigma_{xa}}{Y} = \frac{1+B}{B} [1 - (1-r)^B]$$

2.3 Método de Siebel.

Este método como el anterior parte de la fuerza que se le aplica al proceso de trefilado donde

$$F = \sigma \times A_f$$

Siebel determina el esfuerzo aplicado como:

$$\sigma = \sigma \left\{ 1 + \frac{\mu}{\alpha} \ln \frac{A_o}{A_f} + \frac{2 \times \alpha}{3} \right\}$$

Donde

σ = Esfuerzo de deformación plastica

μ = Coeficiente de Friccion (26)

α = Ángulo en radianes

A_o = Área inicial

A_f = Área Final

σ = esfuerzo de trefilado



Capítulo II Métodos de determinación de fuerza para el trefilado

Donde se calculan las Área aparte de las siguientes ecuaciones:

$$A_o = \frac{\pi \times D_o^2}{4} \dots \dots \dots (27)$$

$$A_f = \frac{\pi \times D_f^2}{4} \dots \dots \dots (28)$$

Como en este método se involucra el coeficiente de fricción, la reducción de área y el ángulo del dado. Generalmente se considera al semiángulo debido a la simetría del mismo.

$$\sigma = \sigma \left\{ 1 + \frac{\mu}{\alpha} + \ln \frac{A_o}{A_f} + \frac{2 \times \alpha}{3} \right\}$$

Fricción del metal en el dado
ángulo del dado
Reducción de Área

2.4 Método de Whitton.

Otra ecuación del proceso de trefilado en donde se involucran el trabajo redundante y la fricción es la de Whitton.

$$\sigma = \sigma \left[1 + \frac{1}{\mu \text{Cot}(\alpha)} \right] \left\{ 1 - \left(\frac{A_f}{A_o} \right)^{\mu \text{Cot}(\alpha)} \right\} + \frac{2}{3} \times \alpha^2 \times \frac{1-r}{r} \dots \dots \dots (29)$$

Donde se puede sustituir el $\mu \text{Cot}(\alpha)$ por B .

$$\sigma = \sigma \left[1 + \frac{1}{B} \right] \left\{ 1 - \left(\frac{A_f}{A_o} \right)^B \right\} + \frac{2}{3} \times \alpha^2 \times \frac{1-r}{r}$$

Fricción
Reducción de área
Semiángulo del dado
Deformación



Capítulo II Métodos de determinación de fuerza para el trefilado

2.5 Método Industrial

Este método es el que se realiza en la industria HYTSA con finalidad de obtener un valor aproximado y tener una facilidad en el manejo de la maquinaria este método se le considera la fricción y la reducción del área, como la ecuación demuestra:

$$\sigma = \sigma_0 \times \beta \times r$$

$$\sigma = \text{Esfuerzo de deformación}$$

$$\beta = \mu \cot(\alpha) \dots\dots\dots(30)$$

$$r = \text{reducción de área}$$

$$r = \frac{A_0 - A_f}{A_0}$$

En el valor de β se considera la fricción y el ángulo del dado y r es la deformación (la reducción de área).

σ_0 = representa el esfuerzo mínimo que requiere el metal para empezar la deformación.

Capitulo

3

Programa global



Capítulo III Programa global

Modelo matemático.

Datos:

D_o = Diámetro inicial.

D_f = Diámetro Final.

V = Velocidad del trefilado.

σ = Resistencia del metal a la deformación.

α = Ángulo de trabajo

μ = Coeficiente de fricción.

Áreas.

$$A_f = \frac{\pi \times D_f^2}{4}$$

$$A_o = \frac{\pi \times D_o^2}{4}$$

$$r = 1 - \left(\frac{D_f}{D_o}\right)^2$$

Ángulos.

Ángulo de trabajo

$$\alpha_{rad} = \frac{\alpha^\circ \times \pi}{180}$$

$$B = \mu \cot \alpha$$

Ángulo óptimo

$$\alpha^* = \sqrt{\frac{\mu \times r}{1-r}}$$

$$B^* = \mu \cot \alpha^*$$

Formulas.

Bloque:

$$\frac{\sigma}{\sigma} = \frac{1+B}{B} \left[1 - \left(\frac{D_f}{D_o}\right)^{2B} \right]$$

$$\frac{\sigma}{\sigma} = \frac{1+B^*}{B^*} \left[1 - \left(\frac{D_f}{D_o}\right)^{2B^*} \right]$$

Industrial:

$$\sigma = \sigma \times B \times r$$

$$\sigma = \sigma \times B^* \times r$$

Siebel:

$$\sigma = \sigma \left\{ \left[1 + \frac{\mu}{\alpha} \right] \ln \frac{A_o}{A_f} + \frac{2\alpha}{3} \right\}$$

$$\sigma = \sigma \left\{ \left[1 + \frac{\mu}{\alpha^*} \right] \ln \frac{A_o}{A_f} + \frac{2\alpha^*}{3} \right\}$$

Whitton:

$$\sigma = \sigma \left[1 + \frac{1}{\mu \cot \alpha} \right] \left[1 - \left(\frac{A_f}{A_o}\right)^{\mu \cot \alpha} \right] + \frac{2\alpha^2}{3} \times \frac{1-r}{r}$$

$$\sigma = \sigma \left[1 + \frac{1}{\mu \cot \alpha^*} \right] \left[1 - \left(\frac{A_f}{A_o}\right)^{\mu \cot \alpha^*} \right] + \frac{2\alpha^{*2}}{3} \times \frac{1-r}{r}$$



Capítulo III Programa global

Algoritmo.

1. Inicio.
2. Declarar las variables: $D_o, D_f, V, \sigma, \alpha, \alpha^*, \mu, \sigma, F, \text{Potencia}, A_f, A_o, B, B^*, r$ de tipo double.
3. Declarar la constante $\pi = 3.14151692$.
4. Capturar las variables. $D_o, D_f, V, \sigma, \alpha, \mu$.
5. Calcular las áreas y r:

$$A_f = \frac{\pi \times D_f^2}{4}$$

$$A_o = \frac{\pi \times D_o^2}{4}$$

$$r = 1 - \left(\frac{D_f}{D_o}\right)^2$$

6. Convertir el ángulo de trabajo a radianes, calcular B, calcular ángulo óptimo, calcular B*.

Ángulo de trabajo

$$\alpha_{rad} = \frac{\alpha^\circ \times \pi}{180}$$

$$B = \mu \cot \alpha$$

Ángulo óptimo

$$\alpha^* = \sqrt{\frac{\mu \times r}{1-r}}$$

$$B^* = \mu \cot \alpha^*$$

7. Resolver cada método y almacenarlo en una variable.

$$\frac{\sigma}{\sigma} = \frac{1+B}{B} \left[1 - \left(\frac{D_f}{D_o}\right)^{2\alpha} \right]$$

$$\frac{\sigma}{\sigma} = \frac{1+B^*}{B^*} \left[1 - \left(\frac{D_f}{D_o}\right)^{2\alpha^*} \right]$$

$$\sigma = \sigma \times B \times r$$

$$\sigma = \sigma \times B^* \times r$$

$$\sigma = \sigma \left\{ \left[1 + \frac{\mu}{\alpha} \right] \ln \frac{A_o}{A_f} + \frac{2\alpha}{3} \right\}$$

$$\sigma = \sigma \left\{ \left[1 + \frac{\mu}{\alpha^*} \right] \ln \frac{A_o}{A_f} + \frac{2\alpha^*}{3} \right\}$$

$$\sigma = \sigma \left[1 + \frac{1}{\mu \cot \alpha} \right] \left\{ 1 - \left(\frac{A_f}{A_o}\right)^{\mu \cot \alpha} \right\} + \frac{2\alpha^2}{3} \times \frac{1-r}{r}$$

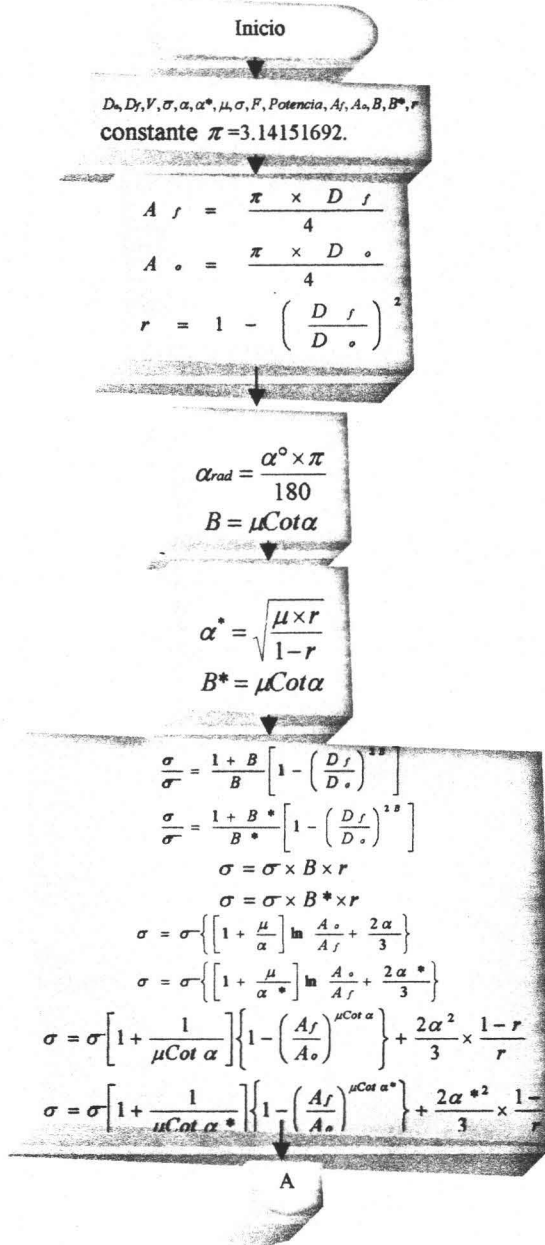
$$\sigma = \sigma \left[1 + \frac{1}{\mu \cot \alpha^*} \right] \left\{ 1 - \left(\frac{A_f}{A_o}\right)^{\mu \cot \alpha^*} \right\} + \frac{2\alpha^{*2}}{3} \times \frac{1-r}{r}$$

8. Calcular la fuerza de cada método y almacenarlo en una variable: $F = \sigma \times \frac{\pi \times D_f}{4}$.
9. Calcular la Potencia de cada método y almacenarlo en una variable: $Hp = F \times V$.
10. Imprimir en pantalla las variables que almacenan en el resultado de cada ecuación.
11. fin.



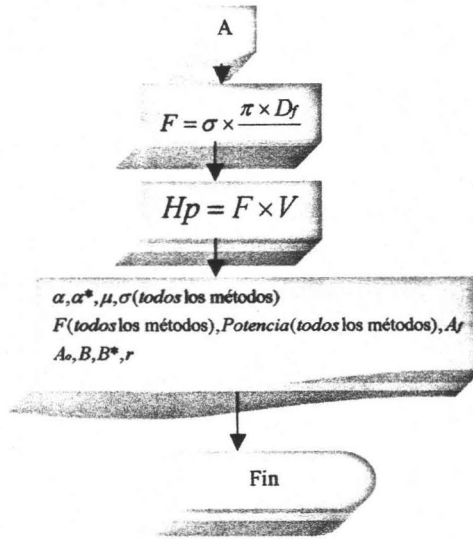
Capítulo III Programa global

Diagrama de flujo.





Capítulo III Programa global





Capítulo III Programa global

Controles.

En este apartado se muestran y explican los componentes de cada uno de los programas independientes que resuelve cada método. Como todos los métodos solicitan los mismos datos para poder ser resueltos, todas las pantallas son muy similares lo que las distingue entre sí es el color. Se asignó un color a cada pantalla, para su fácil ubicación pero todos sus controles son iguales entre sí.

A continuación se describen los componentes, funcionalidad de las pantallas de cada método.

Pantallas.

de trefilado

Área de datos

Título de Método

Calculo de la carga para Trefilado

Método de Siebel

Formula: $\sigma = \sigma_0 \times \left\{ \left[1 + \frac{\mu}{\alpha} \right] \ln \frac{A_0}{A_f} + \frac{2\alpha}{3} \right\}$

Área de datos

DATOS DE ENTRADA A TREFILAR

DIAMETRO DE ENTRADA A TREFILAR D_0 25 mm.

DIAMETRO DE SALIDA A TREFILAR D_f 2.0 mm.

VELOCIDAD DEL TREFILADO V 3 m/seg

RESISTENCIA DEL METAL A LA DEFORMACIÓN σ_0 100 N/mm²

ÁNGULO DE TRABAJO α 14 °

COEFICIENTE DE FRICIÓN μ 0.1

Datos secundarios

ÁNGULO ÓPTIMO α^* 13.6 ° 0.23717 rad

Área de datos secundarios

ÁNGULO DE TRABAJO α 14 ° 0.24435 rad

r 0.36 %r 36

A_0 4.91 mm² A_f

Área de resultados

Área de resultados con α (ángulo de trabajo)

Esfuerzo σ 79.18 N/mm²

Fuerza F 248.75 N

Potencia 746.25 Hp

Área de resultados con α^*

Esfuerzo σ 79.26 N/mm²

Fuerza F 249 N

Potencia 747 Hp

Área de datos Secundarios

Área de resultados

Resolver

Cerrar

Inicio

Panel matemático

Documento3 - Micro...

Calculo de la carga...

04:02 a.m.



Capítulo III Programa global

Área de datos.

En estas áreas se introducirá los datos ya sea seleccionándolo en un cuadro combinado o en un cuadro de texto .

Área de resultados.

En esta área se obtienen los resultados, al ya tener los datos solo se necesita presionar el botón Resolver , para borrar presionando en el botón Borrar , aquí también aparecen los resultados esfuerzo, fuerza, potencia.

Área de datos secundarios.

Después de que se presionó aparecerán todos los datos que se necesitan obtener para poder calcular el esfuerzo, fuerza, potencia.



INSTRUCTIVO

INTRODUCCIÓN.

El presente documento de Manual de Usuario contiene la descripción de cada uno de los pasos a seguir por el usuario como son:

- Manejo de opciones.
- Uso de interfaces.

El sistema ha sido desarrollado de tal forma que brinde la mejor interfaz posible para la interacción con el usuario de esta manera evitamos posibles inconvenientes a la hora de su manejo.

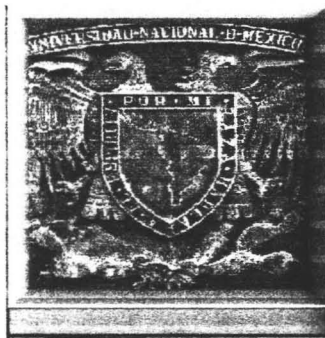
Propósito del Documento

El propósito del presente documento es dar a conocer los pasos que el usuario debe seguir para el correcto uso del programa.

Instrucciones.

A continuación se muestra cada una de las interfaces con las que contará el software cada una con sus respectivas explicaciones para su fácil manejo.

Ventana de Bienvenida



Esta ventana va dar la bienvenida a los usuarios del software después de 2 segundos ingresará a la ventana en donde se muestra la definición del proceso de trefilado. Para ingresar a la pantalla principal basta con presionar el botón entrar, para salir solo debe presionar el botón salir.



Capítulo III Programa global

Ventana principal.

Cálculo de la carga para trefilado

Área de datos

DIAMETRO DE ENTRADA A TREFILAR D_e mm.

DIAMETRO DE SALIDA A TREFILAR D_f mm.

VELOCIDAD DEL TREFILADO V m/seg

RESISTENCIA DEL METAL A LA DEFORMACIÓN $\bar{\sigma}$ N/mm²

ÁNGULO DE TRABAJO α °

COEFICIENTE DE FRICCIÓN μ

Porcentaje de diferencia

Bloque Vs Industrial	Siebel Vs Industrial
24.78 %	3.877 %
Bloque Vs Siebel	Whitton Vs Bloque
27.696 %	11.006 %
Whitton Vs Industrial	Siebel Vs Whitton
15.478 %	18.755 %

Material

COBRE

Calibre del Alambre

Programas Independientes

Método de Bloque

Ángulo Óptimo

Resultados

	Ángulo de trabajo α	Ángulo óptimo α^*
Bloque		
Esfuerzo σ	57.25 N/mm ²	57.6 N/mm ²
Fuerza F	179.86 N	180.96 N
Potencia Hp	539.58 Hp	542.88 Hp
Industrial		
Esfuerzo σ	76.11 N/mm ²	77.33 N/mm ²
Fuerza F	239.11 N	242.94 N
Potencia Hp	717.33 Hp	728.82 Hp
Siebel		
Esfuerzo σ	79.18 N/mm ²	79.26 N/mm ²
Fuerza F	248.75 N	249 N
Potencia Hp	746.25 Hp	747 Hp
Whitton		
Esfuerzo σ	64.33 N/mm ²	64.27 N/mm ²
Fuerza F	202.1 N	201.91 N
Potencia Hp	606.3 Hp	605.73 Hp

Inicio | Capítulo III - M... | Documento3 - M... | Cálculo de la car... | Dibujo - Paint | ES | 04:05 a.m.

Esta es la ventana principal del programa, la cual desglosaremos a continuación.

Área de datos.

Área de datos

DIAMETRO DE ENTRADA A TREFILAR D_e mm.

DIAMETRO DE SALIDA A TREFILAR D_f mm.

VELOCIDAD DEL TREFILADO V m/seg

RESISTENCIA DEL METAL A LA DEFORMACIÓN $\bar{\sigma}$ N/mm²

Ángulo de Trabajo α °



Capítulo III Programa global

En esta área se introducirán los datos los cuales son necesarios para calcular cualquiera de los métodos, solo es necesario insertar una sola vez los datos ya que todos los métodos ocupan los mismos datos.

En estas áreas se introducirá los datos ya sea seleccionándolo en un cuadro combinado o en un cuadro de texto .

Obtener los resultados.

Para poder obtener los resultados de los métodos solo se debe de situar en el área de resultados y presionar el botón Resolver , para borrar presionando en el botón Borrar y se mostrarán los resultados de cada método para un mejor manejo visual se le asignó un color a cada método.

Bloque

Industrial

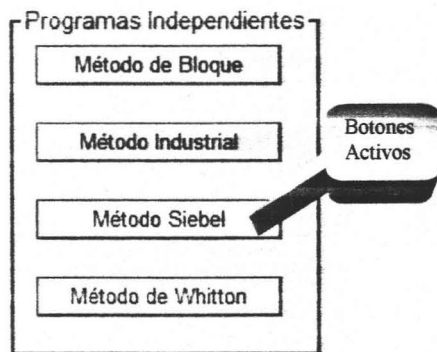
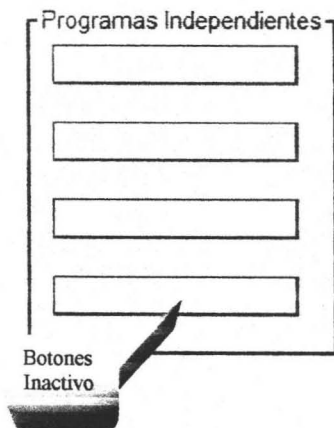
Siebel

Whitton

Mostrar ventanas de datos independientes de cada programa.

Para poder mostrar la ventana de datos o donde aparecen la mayoría de los datos de cada método es necesario que ya se haya resuelto, de lo contrario no podrá abrir la ventanas, por que los botones se encontraran inhabilitados.

Se tiene que situar en el área de programas independientes, dar clic en el botón correspondiente al método que desee ver los datos secundarios





Capítulo III Programa global

Al hacer clic en una de las opciones de programas independientes se mostrará una ventana la cual contiene los datos del método seleccionado, dependiendo del método se puede desplegar cualquiera de las ventanas. Cada ventana se distingue por el título, la ecuación y color.

Titulo.	Ecuación
Calculo de trefilado	
Calculo de la carga para Trefilado	
<p>Método de Whitton</p> <p>Área de datos</p> <p>DIAMETRO DE ENTRADA A TREFILAR D_o <input type="text" value="3.5"/> mm.</p> <p>DIAMETRO DE SALIDA A TREFILAR D_r <input type="text" value="3.0"/> mm.</p> <p>VELOCIDAD DEL TREFILADO V <input type="text" value="4"/> m/seg</p> <p>RESISTENCIA DEL METAL A LA DEFORMACIÓN $\bar{\sigma}$ <input type="text" value="100"/> N/mm²</p> <p>ÁNGULO DE TRABAJO α <input type="text" value="11"/> °</p> <p>COEFICIENTE DE FRICCIÓN μ <input type="text" value="0.1"/></p>	<p>Formula: $\sigma = \bar{\sigma} \times \left[1 + \frac{1}{B} \right] \left\{ 1 - \left(\frac{A_r}{A_o} \right)^{\mu \cot \alpha} + \frac{2}{3} \alpha^2 \times \frac{1-r}{r} \right\}$</p> <p>Datos secundarios</p> <p>ÁNGULO ÓPTIMO α^o <input type="text" value="10.9"/> ° <input type="text" value="0.19003"/> rad</p> <p>$B = \mu \cot \alpha^2$ <input type="text" value="0.51929"/></p> <p>ÁNGULO DE TRABAJO α <input type="text" value="14"/> ° <input type="text" value="0.24436"/> rad</p> <p>$B = \mu \cot \alpha$ <input type="text" value="0.40108"/></p> <p>r <input type="text" value="0.27"/> %r <input type="text" value="26.53"/></p> <p>A_o <input type="text" value="9.62"/> mm² A_r <input type="text" value="7.07"/> mm²</p>
<p>Área de resultados con α (ángulo de trabajo)</p> <p>Esfuerzo σ <input type="text" value="51.65"/> N/mm²</p> <p>Fuerza F <input type="text" value="365.09"/> N</p> <p>Potencia <input type="text" value="1460.36"/> Hp</p>	<p>Área de resultados con α^o (ángulo óptimo)</p> <p>Esfuerzo σ <input type="text" value="49.95"/> N/mm²</p> <p>Fuerza F <input type="text" value="353.08"/> N</p> <p>Potencia <input type="text" value="1412.32"/> Hp</p> <p>Calibre del Alambre <input type="text" value="8"/></p>
Resultado.	

Desde estas ventanas se pueden modificar los datos introducidos en el área de datos en la ventana principal del programa, también se puede resolver dando clic en el botón de Resolver, Borrar dando clic en el botón de borrar. Siendo que todos los cambios efectuados en cada ventana independiente también afectarán los resultados de la ventana Principal y de los demás métodos



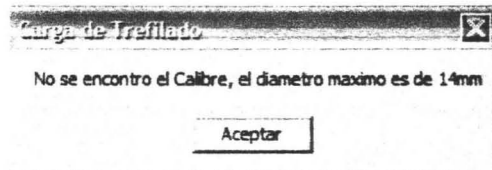
Capítulo III Programa global

Área de porcentaje de diferencia.


Porcentaje de diferencia	
Bloque Vs Industrial 24.78 %	Siebel Vs Industrial 3.877 %
Bloque Vs Siebel 27.696 %	Whitton Vs Bloque 11.006 %
Whitton Vs Industrial 15.478 %	Siebel Vs Whitton 18.755 %
<input type="button" value="Calcular"/>	

En esta área se muestra el porcentaje de error que tienen entre sí los programas comparando cada uno de los resultados y calculando el porcentaje de diferencia de la comparación de cada uno de ellos. El calibre del alambre también se calcula y se muestra en la misma ventana, se deja un cuadro de texto en el área para que ponga el nombre del material del cual se está haciendo los cálculos.

Si los diámetros introducidos en las ventanas de los distintos métodos son diferentes o son mayores a 14mm aparecerá un mensaje de error advirtiéndonos de este error.




Cerrar ventanas

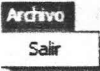
Para cerrar estas ventanas independientes hay dos opciones como en casi todas las aplicaciones que trabajan mediante ambiente gráfico o de ventanas, dando clic en la "x" situada en la parte superior derecha de la ventana  o bien dando un clic en el botón Cerrar con el que cuentan las tres ventanas independientes del programa de cualquiera de las dos formas nos llevará a la ventana principal del programa.

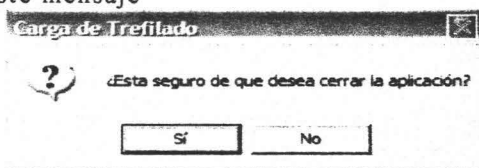


Capítulo III Programa global

Para Cerrar la aplicación en su totalidad (Cerrar el programa para el cálculo de la carga de trefilado) hay dos formas.

- Dando clic con el Mouse en la "x"  que se encuentra en la parte superior derecha de la aplicación esto en la ventana principal.

- Dando Clic en el menú Archivo después en salir  aparecerá este mensaje



Que nos pregunta ¿Esta seguro de que desea cerrar la aplicación?, dando la opción de responder si o no si damos en Si, se cerrará la aplicación, si damos en No, podremos seguir ocupándola todo esto estando en la ventana principal del programa.

Cálculo de la carga para trefilado

Area de datos

DIAMETRO DE ENTRADA A TREFILAR D_1 mm.

DIAMETRO DE SALIDA A TREFILAR D_2 mm.

VELOCIDAD DEL TREFILADO V m/seg

RESISTENCIA DEL METAL A LA DEFORMACIÓN σ N/mm²

ÁNGULO DE TRABAJO α °

COEFICIENTE DE FRICCIÓN μ

Material

Calibre del Alambre

Programas Independientes

Ángulo Óptimo

Resultados

		Ángulo de trabajo α	Ángulo óptimo α
Bloque			
Esfuerzo σ		43.18 N/mm ²	43.28 N/mm ²
Fuerza F		305.22 N	305.93 N
Potencia Hp		2441.76 Hp	2447.44 Hp
Industrial			
Esfuerzo σ		77.96 N/mm ²	78.46 N/mm ²
Fuerza F		551.21 N	554.6 N
Potencia Hp		4409.68 Hp	4436.8 Hp
Siebel			
Esfuerzo σ		59.69 N/mm ²	59.72 N/mm ²
Fuerza F		421.92 N	422.14 N
Potencia Hp		3375.36 Hp	3377.12 Hp
Whitton			
Esfuerzo σ		49.98 N/mm ²	49.95 N/mm ²
Fuerza F		353.29 N	353.08 N
Potencia Hp		2826.32 Hp	2824.64 Hp

Porcentaje de diferencia

Bloque Vs Industrial	Siebel Vs Industrial
44.627 %	23.455 %
Bloque Vs Siebel	Whitton Vs Bloque
27.66 %	13.605 %
Whitton Vs Industrial	Siebel Vs Whitton
35.907 %	16.267 %

ESTA TESIS NO SALI
DE LA BIBLIOTECA



Capítulo III Programa global

Cálculo de la carga para trefilado

Material: **COBRE** (Trefilado, Bloque, Sabel, Industrial, Whitton)

Calibre del Alambre: **Programas Independientes**

Ángulo Óptimo: **Programas Independientes**

Área de datos:

- DIAMETRO DE ENTRADA A TREFILAR D_0 mm.
- DIAMETRO DE SALIDA A TREFILAR D_f mm.
- VELOCIDAD DEL TREFILADO V m/sag
- RESISTENCIA DEL METAL A LA DEFORMACIÓN σ N/mm²
- ÁNGULO DE TRABAJO α °
- COEFICIENTE DE FRICIÓN μ

Resultados:

Ángulo de trabajo α		Ángulo óptimo α		
Bloque	Esfuerzo σ	N/mm ²	Esfuerzo σ	N/mm ²
Fuerza F	N	Fuerza F	N	
Potencia Hp	Hp	Potencia Hp	Hp	
Industrial	Esfuerzo σ	N/mm ²	Esfuerzo σ	N/mm ²
Fuerza F	N	Fuerza F	N	
Potencia Hp	Hp	Potencia Hp	Hp	
Sabel	Esfuerzo σ	N/mm ²	Esfuerzo σ	N/mm ²
Fuerza F	N	Fuerza F	N	
Potencia Hp	Hp	Potencia Hp	Hp	
Whitton	Esfuerzo σ	N/mm ²	Esfuerzo σ	N/mm ²
Fuerza F	N	Fuerza F	N	
Potencia Hp	Hp	Potencia Hp	Hp	

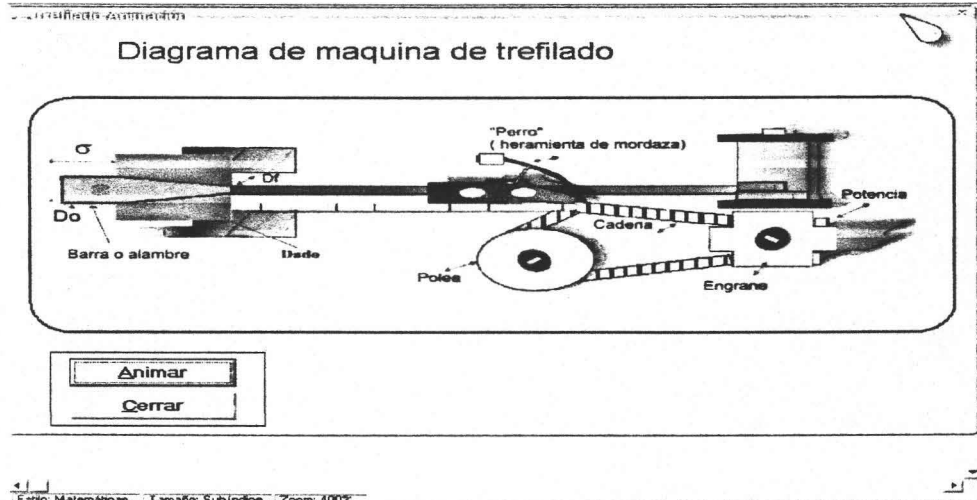
Porcentaje de diferencia:

- Bloque Vs Industrial
- Sabel Vs Industrial
- Bloque Vs Sabel
- Whitton Vs Bloque
- Whitton Vs Industrial
- Sabel Vs Whitton

Botón: **Borrar**

Botones: **Animar**, **Cerrar**

Animación: al dar clic en el botón de animación aparecerá una ventana en la cual se representa de forma grafica la máquina de trefilado, al clic en el botón Animar se simulará el proceso de el trefilado. Para cerrar esta ventana solo hay que dar en el botón cerrar o en el tache.



REQUERIMIENTOS PARA EL ÓPTIMO MANEJO DE LA APLICACIÓN.
MEMORIA RAM: 128MB.
DISCO DURO: 10 GB.
PROCESADOR: PENTIUM III O POSTERIOR
SISTEMA OPERATIVO: WINDOWS MILENIO, XP, POSTERIOR.
MONITOR: SUPER VGA.

Capítulo

4

*Validación del programa y
discusión de resultados*



Capítulo IV Validación del programa y discusión de resultados

4.1 Validación del programa global con una prueba realizada en una industria.

Industria:

HYTSA División Alambres y Derivados S.A. de C. V.

Km. 32.5 Autopista México Querétaro Lechería Municipio de Tultitlan. Estado de México

MATERIALES UTILIZADOS:

- 1) Máquina trefilado óleo hidráulica de doble efecto, marca "Office Technique de Trefiles".
- 2) Hiladas de trefilado, (cuatro pasadas).
- 3) Probetas de cobre (reducción de 3.5mm hasta 1.5mm)
- 4) 1 calibrador y un flexometro.

PROCEDIMIENTO:

1. Para su realización de la prueba de trefilado, se determinó cuatro Hiladas, y dados con ángulos de diametro ya determinado de 6° y 8° puesto que solo se cuentan con estas medidas como lo muestra la tabla 2.

Tabla 2 Datos de los ángulos y diametros de entrada y salida utilizados.

<u>Hilada</u>	<u>α</u>	<u>Diámetro de entrada (mm)</u>	<u>Diámetro de salida (mm)</u>
1	6°	3.5	3.0
2	6°	3.0	2.5
3	8°	2.5	2.0
4	8°	2.0	1.5

2. A pesar de que el diámetro de salida se encuentra dado, se midió el diámetro de cada probeta antes y después de trefilarle.
3. Para determinar la fuerza aplicada para el trefilado se cálculo a partir de la ecuación del método industrial o práctico que el programa lo continúe, este cálculo se hizo en calculadora como se sigue haciendo tradicionalmente en la industria. Se utilizaron las siguientes ecuaciones y los resultados se reportan en la tabla 2.

$$\sigma = \bar{\sigma} \times \beta \times r$$

4. La velocidad de salida de trefilado es de 8 m /seg.
5. Coeficiente de fricción es de 0.01 por que se trabajó con lubricante limpio (nuevo), jabón en polvo soluble en agua.
6. Se utilizó un solo alambre se empezó 3.5mm de diametro en 4 pasadas o hiladas
7. Se midió la entrada y la salida de cada hilada para verificar que el trefilado este trabajando bien y que los dados no se estén desgastados. (se utilizó el calimetro).



Capítulo IV Validación del programa y discusión de resultados

RESULTADOS OBTENIDOS

Las mediciones realizadas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3 Resultados de la fuerzas.

COBRE			
Hilera	Diámetro de entrada	Diámetro de salida	Fuerza N
1	3.5	3.0	237.86
2	3.0	2.5	184.91
3	2.5	2.0	135.47
4	2.0	1.5	89.88

Se realiza una comparación entre los resultados obtenidos como datos experimentales con los valores teóricos que resuelven el programa global a continuación se encuentran los resultados del ejecutable que se confortan con los valores de la tabla 2 que se encuentran en la columna de la fuerza.

1.- Comprobación de los valores obtenidos con el programa global, estos datos son los de la primera hilera para un cobre (diámetro entrada 3.5 diámetro salida 3.0).

Cálculo de la carga para trefilado

Material: **COBRE**

Calibre del Alambre: **8**

Ángulo Óptimo: **3.4**

Programas Independientes: **Método de Bloque**, **Método Industrial**

Método Siebel, Método de Whitton

Resultados

Ángulo de trabajo α'		Ángulo óptimo α''	
Bloque	Esfuerzo σ 33.27 N/mm ²	Esfuerzo σ 35.1 N/mm ²	
Fuerza F	235.17 N	Fuerza F	248.11 N
Potencia Hp	1881.36 Hp	Potencia Hp	1984.86 Hp
Industrial	Esfuerzo σ 36.04 N/mm ²	Esfuerzo σ 43.36 N/mm ²	
Fuerza F	254.76 N	Fuerza F	306.49 N
Potencia Hp	2038 Hp	Potencia Hp	2451.92 Hp
Siebel	Esfuerzo σ 40.76 N/mm ²	Esfuerzo σ 39.97 N/mm ²	
Fuerza F	288.12 N	Fuerza F	282.53 N
Potencia Hp	2304.96 Hp	Potencia Hp	2260.24 Hp
Whitton	Esfuerzo σ 35.3 N/mm ²	Esfuerzo σ 35.77 N/mm ²	
Fuerza F	249.52 N	Fuerza F	252.84 N
Potencia Hp	1996.16 Hp	Potencia Hp	2022.72 Hp

Porcentaje de error:

Bloque Vs Industrial	7.686 %	Siebel Vs Industrial	11.58 %
Bloque Vs Siebel	18.376 %	Whitton Vs Bloque	5.751 %
Whitton Vs Industrial	2.853 %	Siebel Vs Whitton	13.395 %

Botones: Resolver, Borrar, Calcular



Capítulo IV Validación del programa y discusión de resultados

2.- Comprobación de los valores obtenidos con el programa global, estos datos son los de la primera hilera para un cobre (diámetro entrada 3.0 diámetro salida 2.5).

Cálculo de la carga para trefilado

Material: **COBRE**

Calibre del Alambre: **10**

Ángulo Óptimo: **3.8**

Programas Independientes: Método de Bloque, Método Industrial, Método Siebel, Método de Whitton

Área de datos:

- DIAMETRO DE ENTRADA A TREFILAR D_1 : 3.0 mm.
- DIAMETRO DE SALIDA A TREFILAR D_2 : 2.5 mm.
- VELOCIDAD DEL TREFILADO V : 8 m/seg
- RESISTENCIA DEL METAL A LA DEFORMACIÓN σ : 100 N/mm²
- ÁNGULO DE TRABAJO α : 8 °
- COEFICIENTE DE FRICCIÓN μ : 0.01

Resolver | Borrar

Porcentaje de error:

Bloque Vs Industrial	Siebel Vs Industrial
2.308 %	22.153 %
Bloque Vs Siebel	Whitton Vs Bloque
20.314 %	7.107 %
Whitton Vs Industrial	Siebel Vs Whitton
9.251 %	14.218 %

Calcular

Resultados:

Ángulo de trabajo α		Ángulo óptimo α	
Bloque	Esfuerzo σ	36.86 N/mm ²	40.82 N/mm ²
	Fuerza F	189.26 N	200.37 N
	Potencia Hp	1514.24 Hp	1602.96 Hp
Industrial	Esfuerzo σ	37.67 N/mm ²	45.61 N/mm ²
	Fuerza F	184.91 N	223.89 N
	Potencia Hp	1479.28 Hp	1781.12 Hp
Siebel	Esfuerzo σ	48.39 N/mm ²	46.38 N/mm ²
	Fuerza F	237.53 N	227.67 N
	Potencia Hp	1900.24 Hp	1821.36 Hp
Whitton	Esfuerzo σ	41.51 N/mm ²	41.49 N/mm ²
	Fuerza F	203.76 N	203.66 N
	Potencia Hp	1630.08 Hp	1629.28 Hp

Inicio | Modelo matemático... | Treñado (02) | Cálculo de la carga p... | 09:55 p.m.

3.- Comprobación de los valores obtenidos con el programa global, estos datos son los de la primera hilera para un cobre (diámetro entrada 2.5 diámetro salida 2.0).

Cálculo de la carga para trefilado

Material: **COBRE**

Calibre del Alambre: **12**

Ángulo Óptimo: **4.3**

Programas Independientes: Método de Bloque, Método Industrial, Método Siebel, Método de Whitton

Área de datos:

- DIAMETRO DE ENTRADA A TREFILAR D_1 : 2.5 mm
- DIAMETRO DE SALIDA A TREFILAR D_2 : 2.0 mm.
- VELOCIDAD DEL TREFILADO V : 8 m/seg
- RESISTENCIA DEL METAL A LA DEFORMACIÓN σ : 100 N/mm²
- ÁNGULO DE TRABAJO α : 8 °
- COEFICIENTE DE FRICCIÓN μ : 0.01

Resolver | Borrar

Porcentaje de error:

Bloque Vs Industrial	Siebel Vs Industrial
8.353 %	24.523 %
Bloque Vs Siebel	Whitton Vs Bloque
17.644 %	4.68 %
Whitton Vs Industrial	Siebel Vs Whitton
12.642 %	13.601 %

Calcular

Resultados:

Ángulo de trabajo α		Ángulo óptimo α	
Bloque	Esfuerzo σ	47.05 N/mm ²	49.09 N/mm ²
	Fuerza F	147.81 N	154.22 N
	Potencia Hp	1182.48 Hp	1233.76 Hp
Industrial	Esfuerzo σ	43.12 N/mm ²	49.3 N/mm ²
	Fuerza F	135.47 N	154.88 N
	Potencia Hp	1083.76 Hp	1239.04 Hp
Siebel	Esfuerzo σ	57.13 N/mm ²	55.58 N/mm ²
	Fuerza F	179.48 N	174.61 N
	Potencia Hp	1435.84 Hp	1396.88 Hp
Whitton	Esfuerzo σ	49.36 N/mm ²	49.76 N/mm ²
	Fuerza F	155.07 N	158.33 N
	Potencia Hp	1240.56 Hp	1250.64 Hp

Inicio | Modelo matemático... | Treñado (D...) | Cálculo de la carga p... | 09:57 p.m.



Capítulo IV Validación del programa y discusión de resultados

4.- Comprobación de los valores obtenidos con el programa global, estos datos son los de la primera hilera para un cobre (diámetro entrada 2.0 diámetro salida 1.5).

Calculo de la carga para trefilado

Material: **COBRE**

Calibre del Alambre: **14**

Ángulo Óptimo: **5.1**

Programas Independientes: **Método de Bloque**, **Método Industrial**, **Método Siebel**, **Método de Whitton**

Ángulo de trabajo α : **5.1**

Resultados:

Ángulo de trabajo α		Ángulo óptimo α			
Bloque	Esfuerzo σ	50.39 N/mm ²	Esfuerzo σ	51.96 N/mm ²	
	Fuerza F	106.72 N		Fuerza F	109.49 N
	Potencia Hp	853.76 Hp		Potencia Hp	875.92 Hp
Industrial	Esfuerzo σ	50.86 N/mm ²		Esfuerzo σ	54.96 N/mm ²
	Fuerza F	89.88 N		Fuerza F	97.12 N
	Potencia Hp	719.04 Hp		Potencia Hp	776.96 Hp
Siebel	Esfuerzo σ	70.97 N/mm ²		Esfuerzo σ	69.94 N/mm ²
	Fuerza F	125.41 N		Fuerza F	123.59 N
	Potencia Hp	1003.28 Hp		Potencia Hp	988.72 Hp
Whitton	Esfuerzo σ	62.06 N/mm ²		Esfuerzo σ	62.63 N/mm ²
	Fuerza F	109.67 N		Fuerza F	110.68 N
	Potencia Hp	877.36 Hp		Potencia Hp	885.44 Hp

Porcentaje de error:

Bloque Vs Industrial	15.781 %	Siebel Vs Industrial	28.336 %
Bloque Vs Siebel	14.908 %	Whitton Vs Bloque	2.691 %
Whitton Vs Industrial	18.047 %	Siebel Vs Whitton	12.555 %

Botones: Resolver, Borrar, Calcular

Barra de estado: Inicio, Modulo mensionado, trefilado, Calculo de la carga p..., 6:59 p.m.



Capítulo IV Validación del programa y discusión de resultados

4.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Al realizar una comparación de los tres métodos o ecuaciones para determinar la fuerza requerida para el trefilado se observa una semejanza entre los tres valores, siendo el mayor el obtenido con el Método de Siebel, Ec. (1), en el cual se considera individualmente la influencia del coeficiente de fricción y del ángulo del dado.

$$\sigma = \bar{\sigma} \left\{ 1 + \frac{\mu}{\alpha} \ln \frac{A_o}{A_f} + \frac{2 \times \alpha}{3} \right\} \quad \text{Ec. de Siebel.....(1)}$$

En los otros dos métodos, de Whitton y de Bloque, Ecs. (2) y (3), se incluye un valor combinado en el factor B ($\mu \cot \alpha$) que resulta un parámetro mas veraz indicando la influencia del trabajo redundante, que el considerado en Siebel (μ/α).

En las figuras 10, 11. Se observa que a bajos ángulos ambas ecuaciones dan el mismo valor de esfuerzo de trefilado pero al aumentar el ángulo y/o la reducción la Ec. de Whitton da valores superiores. Esto es debido al último producto de la Ec. que considera la reducción y el ángulo del dado elevado al cuadrado.

$$\sigma = \bar{\sigma} \left[1 + \frac{1}{\mu \cot(\alpha)} \right] \left\{ 1 - \left(\frac{A_f}{A_o} \right)^{\mu \cot(\alpha)} \right\} + \frac{2}{3} \times \alpha^2 \times \frac{1-r}{r} \quad \text{Ec. de Whitton.....(2)}$$

$$\frac{\sigma}{Y} = \frac{1+B}{B} \left[1 - \left(\frac{D_a}{D_b} \right)^{2B} \right] \quad \text{Ec. de Bloque.....(3)}$$

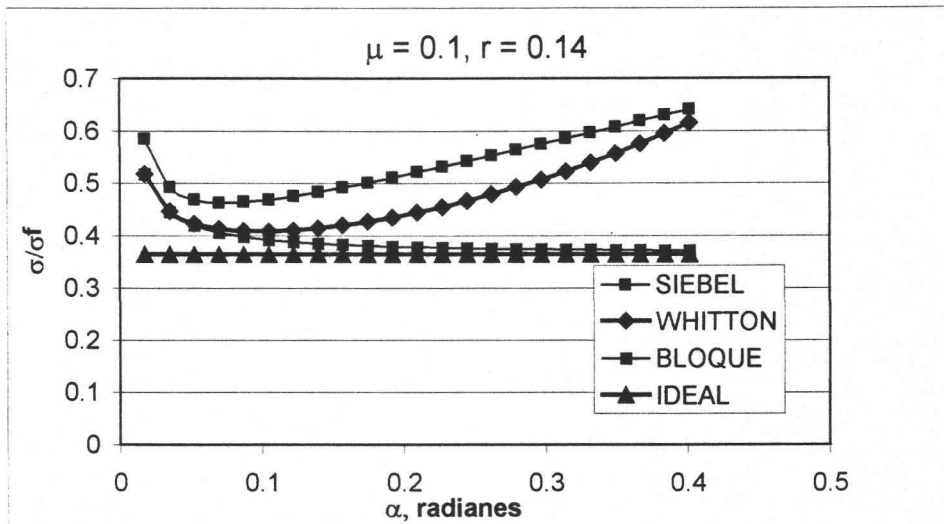


Figura 10 Esfuerzo de trefiladoentre esfuerzo de fluencia del material VS ángulo con un una reducción de 14 % y un coeficiente de fricción de fricción de 0.1



Capítulo IV Validación del programa y discusión de resultados

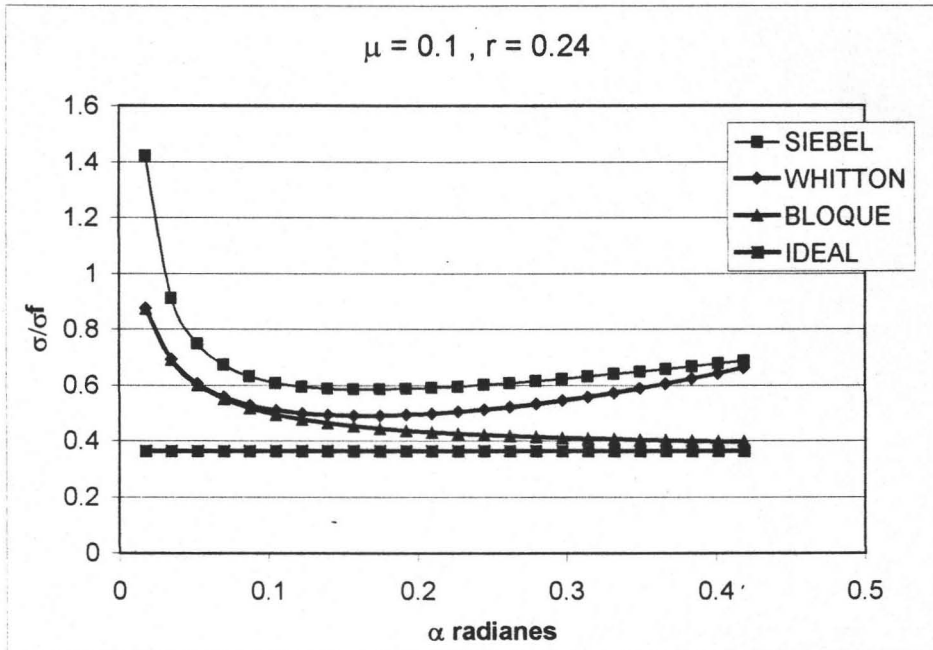


Figura 11. Esfuerzo de trefilado entre esfuerzo de fluencia del material VS ángulo con un una reducción de 24 % y un coeficiente de fricción de fricción de 0.1

Nótese la diferencia entre el valor obtenido experimentalmente y el determinado con los diferentes métodos en la validación.

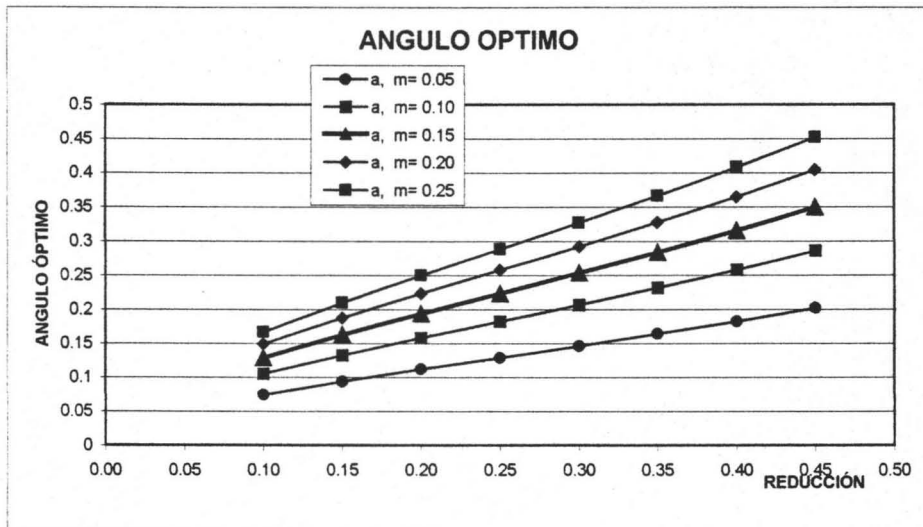
El ángulo óptimo varía de acuerdo con la reducción y el coeficiente de fricción, como se indica en la figuras 10 y 11. Nótese que al aumentar la reducción y la fricción se incrementa el ángulo óptimo. No obstante, en el libro *Steel Wire Handbook*. The Wire Association Inc. Stamford Conn. Vol. II, Diciembre 1968 pag. 75 se recomiendan valores de ángulos en función del material.

En el ejemplo mostrado en la tesis el ángulo óptimo del dado es 12° y la validación experimental se hizo con un ángulo de 6° Debido a que era con el que se contaba.

Si en la Figura 11. Se trazan tangentes a la zona vertical y a la casi horizontal de cada gráfica y se considera la intersección como el ángulo óptimo, entonces se observa que ese ángulo no es el mismo que el determinado con la grafica. Por lo que en algunos de los ejercicios que se pueden hacer con el programa el valor del esfuerzo obtenido con el ángulo óptimo es ligeramente mayor que el obtenido con el ángulo del dado disponible.



Capítulo IV Validación del programa y discusión de resultados



El valor del método industrial es un valor bajo con respecto a los otros métodos debido a que solo considera la fuerza necesaria para salir de la zona elástica del material y sin considerar el endurecimiento por deformación del material, la fricción que entre el metal con el dado y el trabajo redundante.

Solo se trabaja con un solo dado de angulo de 6° por que el unico material que se trabaja es el cobre y un solo calibre final de 8

Considerando que el metodo de Bloque es considerado el valor teórico ideal, y cuando se hace la comparación con el metodo de Whitton hay una diferencia de 2.691 % quiere decir que nuestros calculos son correctos para el trabajo.



Conclusiones

CONCLUSIONES:

1. Con este programa global podemos obtener valores sin necesidad de estar calculando la fuerza cada que cambiemos el dado o el metal en las máquinas.
2. Podemos facilitar el trabajo en la industria por que un operador podrá calcular el valor de la fuerza sin necesidad de que un ingeniero tenga que calcularlo.
3. Nos proporciona un porcentaje de diferencia entre los métodos para tener una confianza de que el valor es el correcto.
4. Nos proporciona el calibre del alambre con solo darle los datos del diámetro de salida.
5. Es capaz de resolver la fuerza por un solo un método trabajando individualmente.
6. Es un programa ejecutable, donde no se necesita de un programa con solo que tenga un sistema operativo ahí se puede trabajar.
7. Es programa también nos proporciona la potencia en la cual trabaja la máquina.
8. Este programa puede tener uso didáctico.
9. Con este programa global se calcula la fuerza rápidamente cada vez que cambiemos el dado o metal en las máquinas.

BIBLIOGRAFÍA.

- "Wire drawing- Science and Art" Stanley L. Stalson. Tooling and Production Magazine. Marzo, 1971.
- "Pickling of Iron and Steel" ASM Comitee on Picking Iron and Steel. Metal Handbook Vol. 2 HeatTreating, Cleaning and Finishing. Agosto, 1971.
- Steel Wire Handbook. The Wire Association Inc. Stamford Conn. Vol. I, Julio 1965 y Vol. II, Diciembre 1968.
- Phosphate Coating of Wire. "Trouble Shooting Check List" James F. Richards Conferencia presentada en la reunion de la Wire Association Regional en New Haven Connecticut. Abril 10.
- "Inmersión Copper Coating of Steel Wire" James F. Richards Wire Journal. Junio 1968.
- "Use Of Lubricants and Coatings in Steel Wire Processing" James F. Richards .. Wire Industry. Agosto 1972.
- Molera Sola, Pere. CONFORMACIÓN METÁLICA Barcelona, Marcombo, 1991.
- Higgins, Raymond A. INGENIERÍA METÁLICA (TOMO 2). Londres, CECSCA, 1976.
- Worked Examples in Metalworking Autor G. J. Richardson D. N.Hawkins C.M. Sellars El Instituto de Metalurgia.
- Morral, F.R; Jimeno E; Molera,P. METALURGIA GENERAL TOMO II. España, Reverte,1989.