

4  
2el.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

**"CAMPUS ARAGON"**

**"OPTIMIZACION DEL PROCESO DE  
TREFILADO DE ACEROS BAJO Y MEDIO  
CARBONO (1007, 1035,1050) "**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :  
INGENIERO MECANICO ELECTRICO  
(AREA MECANICA)

**P R E S E N T A N**

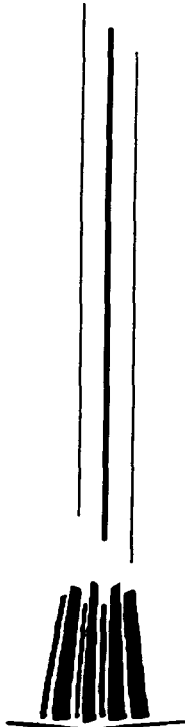
**ROBERTO ALONSO LUNA  
GABRIEL ANGEL LARA RODRIGUEZ**

DIRECTOR DE TESIS: M. EN C. DANIEL ALDAMA AVALOS

MEXICO

1997

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## *Dedicada a:*

*A mis padres:*

*Julia Luna y Roberto Alonso  
por que son todo para mi y de  
ellos he aprendido lo que es la  
dedicación y el esfuerzo que son  
la base para lograr lo deseado.  
les agradezco también por  
haberme dado algo que es  
invaluable para mi una familia  
como la que formamos.*

*Gracias*

*A mis hermanos:*

*Andrés, Cristina, Pablo,  
Eduardo, Julia, Ángel, Leticia,  
Claudia y Juan, que en mi  
formación como persona son parte  
importante ya que al convivir con  
ellos asimilo lo positivo de cada  
uno, que en la mayoría de cada  
uno es mucho, en ellos se tiene  
diversidad de caracteres y  
pensamientos que los hacen únicos  
para mi.*

*Gracias*

*Ángel:*

*Con todo el respeto y admiración  
por lo que es como persona, amigo  
y hermano y siento que esto que  
estoy logrando es tan suyo como  
mío.*

*Gracias*

*Laura Anguiano:*

*Por que en los momentos en que lo  
necesitaba estubo siempre presente  
para motivarme y estimularme a  
seguir y terminar algo que inicié  
y que hoy me permite sentir que  
se puede lograr cada vez mas si  
uno lo desea y se lo propone.*

*Te Quiero Mucho*

## *Dedicada a:*

*A mis padres:*

*Ascención Rodríguez Cruz y  
Ángel Lara García, por creer en  
mí y por que gracias a su apoyo  
incondicional, cariño y  
comprensión he logrado completar  
mi carrera profesional la cual es  
para mí la herencia que me han  
regalado hoy en vida; la que en  
realidad Ustedes deben disfrutar  
a mi lado, por que gracias a  
Ustedes he logrado hasta hoy  
todas mis metas y me motivan a  
continuar superandome  
demostrandome así el camino que  
debo de seguir en la vida.  
Por que este trabajo es de  
Ustedes el único motivo real por  
el cual vale la pena vivir.*

*GRACIAS*

*Los quiero mucho*

*A mis hermanos:*

*Raymundo, Osvaldo, Rocío y  
Nelly; por todo el apoyo que me  
brindaron por que a diario  
aprendo algo de Ustedes:  
enseñandome todo lo que podemos  
dar.*

*Con Cariño*

*A mi Familia:*

*Por el gran apoyo que me  
brindaron cuando mas lo necesite.*

*Gracias*

*A mis amigos:*

*Alberto Maya C. : por que siempre me has demostrado tu amistad y por todos los momentos que hemos pasado hasta hoy.*

*A Claudia Angelica Belmonte: quien es para mi una persona muy especial con quien he vivido momentos muy agradables y dificiles pero que siempre nos han dejado a los dos grandes experiencias personales y gracias por tus palabras de comprensión y cariño que me motivaron a alcanzar esta meta y me motivas a alcanzar otras; al estar siempre conmigo desde un principio.*

*Te Quiero Mucho*

*Roberto Alonso Luna: por que siempre me demostraste ser un amigo con tu sinceridad y honestidad y sobre todo por la gran confianza que depositaste en mi y por todos los momentos que vivimos como Universitarios y que no encuentro, como agradecerte.*

*Sinceramente Gracias.*

*A todos mis amigos:  
Que de una o de otra manera contribuyeron con su apoyo a la realización del presente y que siempre los tengo presentes.*

*Gracias*

*Agradecemos A:*

*La Universidad Nacional Autónoma de México y nuestros maestros, por darnos las herramientas y conocimientos necesarios para lograr nuestras metas como universitarios y por que es un gran orgullo pertenecer a esta gran institución.*

*La Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (E.S.I.Q.I.E). del Instituto Politécnico Nacional, por el apoyo brindado en la realización de este proyecto*

## *Reconocimiento :*

*A el Maestro en ciencias .  
Daniel Aldama Avalos . como  
director de tesis . por sus  
valiosas observaciones y  
propuestas del presente trabajo*

*Gracias*

*A el Dr. Jorge Esteban  
Araujo . quien es el responsable  
directo de que se realizara este  
proyecto . Ya que al aceptarnos  
participar en el . confiando y  
depositando en nosotros sus  
conocimientos . siendo estos base  
fundamental en la elaboracion de  
nuestro trabajo de tesis .*

*Con respeto y admiración a un  
gran Amigo . por lo que es como  
persona y por su dedicación a la  
docencia .*

*Gracias M. C. G*

## *Agradecemos :*

*A quienes con nosotros hicieron posible un buen equipo de trabajo para llevar a cabo este proyecto: Alberto, Cayetano, Prof. Luis Rosas, Prof. Jorge Araujo, Dr. Lucía Vázquez*

*A maestros y compañeros de generación que compartieron nuestra formación como universitarios*



# ÍNDICE GENERAL

	Pag.
INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPITULO UNO</b>	
<b>EQUIPO PARA TREFILADO</b>	
1.1 EQUIPO PARA TREFILADO DE ALAMBRE.....	7
1.1.1 Equipo para trefilado de alambre.....	7
1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS DADOS DE TREFILADO.....	9
1.2.1 Materiales empleados en la fabricación de un dado.....	9
1.2.2 Propiedades y características de los dados de carburo cementado.....	10
1.2.3 Zonas principales de un dado de trefilado.....	12
<b>CAPITULO DOS</b>	
<b>LUBRICACIÓN,FRICCIÓN Y DEFORMACIÓN</b>	
2.1 MECANISMOS DE LUBRICACIÓN.....	18
2.1.1 Principios elementales del mecanismo de lubricación.....	18
2.1.2 Lubricación hidrodinámica y de película gruesa.....	20
2.1.3 Lubricación de capa límite y de presión extrema.....	21
2.1.4 Lubricación mixta y nula.....	22
2.1.5 Comportamiento físico de los lubricantes bajo condiciones de estirado.....	23
2.1.6 Lubricantes generales para el trefilado.....	24
2.2 MECANISMOS DE FRICCIÓN.....	25
2.2.1 Influencia de la fricción en el proceso de conformado de metales.....	25
2.2.2 Heterogeneidad de la deformación producida por la fricción.....	26
2.2.3 Transferencia de metal.....	26
2.2.4 Medidas del coeficiente de fricción.....	28
2.2.5 Elementos de la teoría de fricción.....	31
2.3 EFECTO DE LA DEFORMACIÓN EN FRÍO	
<b>SOBRE LA MICROESTRUCTURA.....</b>	<b>35</b>
2.3.1 Influencia de los constituyentes metalográficos en el acero.....	35
2.3.2 Efecto general de inclusiones.....	38

**CAPITULO TRES  
PROCESO DEL FOSFATADO DE ALAMBRE**

<b>3.1 PROCESO DEL FOSFATADO DE ALAMBRE.....</b>	<b>40</b>
3.1.1 Proceso de recubrimiento por fosfatos cristalinos.....	40
3.1.2 Recubrimientos por fosfatos cristalinos.....	40
3.1.3 Propiedades generales y métodos de aplicación de los fosfatos.....	42
3.1.4 Preparación del material para el proceso de fosfatado.....	43

**CAPITULO CUATRO  
DESARROLLO EXPERIMENTAL**

4.1 Desarrollo experimental.....	49
----------------------------------	----

**CAPITULO CINCO  
MECANISMOS DE TREFILADO**

5.1 ESFUERZO DE TREFILADO (LIMITE SUPERIOR).....	57
5.2 ÁNGULO OPTIMO PARA EL TREFILADO.....	62
5.3 ESFUERZO REDUNDANTE.....	66
5.3.1 Esfuerzo de estiramiento.....	66
5.3.2 Esfuerzo de estiramiento involucrando fricción y trabajo redundante.....	67
5.4 ENDURECIMIENTO POR TRABAJO.....	70
5.4.1. Normas ASTM. Para determinación del factor "n" de endurecimiento por deformación en materiales laminados.....	73
5.5 Método de Heyn.....	83

**CAPITULO SEIS  
DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES**

A) Esfuerzo de trefilado.....	86
B) Lubricante y Ángulo optimo.....	88
C) Coeficiente de endurecimiento por deformación.....	91
D) Método de Heyn.....	97

**APÉNDICES**

<b>APÉNDICE A</b>	
<b>TABLAS Y GRÁFICAS DE ESFUERZO DE TREFILADO.....</b>	<b>99</b>
<b>APÉNDICE B</b>	
<b>TABLAS Y GRÁFICAS DE ENDURECIMIENTO POR TRABAJO.....</b>	<b>152</b>
<b>TABLAS MÉTODO DE HEYN.....</b>	<b>161</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>167</b>

## INTRODUCCIÓN

A pesar de ser considerado un proceso antiguo y de relativa simplicidad, el trefilado en realidad, es uno de los procesos menos comprendidos en su totalidad y más difíciles de analizar.

El problema actual que se tiene en el proceso de trefilado es la carencia de información fundamentada, suficiente para permitir el diseño de secuencias de trefilado en aceros, y que permitan obtener productos con la máxima resistencia, pero a la vez con microestructuras con alto grado de homogeneidad. "Tradicionalmente" se ha establecido que el ángulo de trefilado para acero oscila entre 6 y 7°.(15) Sin embargo no existe fundamento analítico que soporte este valor, siendo su uso a nivel industrial casi dogmático. El empleo de lubricantes sólidos puros es casi incosteable a nivel industrial.

En el presente trabajo se investigara el comportamiento mecánico de tres aceros bajo y medio carbono (AISI 1007, 1035 y 1050) trefilado en frío. Para llevar a cabo ésto se realizará el trefilado de alambre bajo diferentes condiciones de deformación tomando en cuenta las siguientes variables:

Juegos o secuencias de dados de trefilado maquinados con diferentes ángulos: 5, 6.5 y 10°.

Tres lubricantes, dos sólidos : estearato de sodio puro, jabón sódico y un tercer lubricante líquido: jabón sopa lubricante.

Una secuencia de reducción en diámetro diferentes: para decrementos de 0.4 mm por paso (considerando secuencias entre 10 y 12 pasos).

Una vez deformado el alambre se efectuarán ensayos de tracción de donde se medirán:

- Resistencia tensil del alambre en cada paso.
- Esfuerzo de cedencia.
- Curvas de esfuerzo-deformación para cada paso.
- Determinación del esfuerzo de trefilado por el método del limite superior.

Con esta consideración se determinará el ángulo óptimo de trefilado para cada acero empleado.

- Analisis metalográfico de muestras trefiladas

El estiraje ("drawing") es un proceso de conformado de gran importancia en la actualidad debido, entre muchos factores, a que es un proceso económico, de gran productividad y permite obtener tolerancias dimensionales estrechas. Mediante este proceso se fabrica una infinidad de productos, tanto acabados como semi-terminados, donde destacan, debido a su importancia; los conductores eléctricos de: cobre, aluminio, cobre-aluminio, aluminio-acero, etc.; el grupo de productos de aceros, tales como barras, alambón y alambre, indispensables para fabricación desde simples agujas, hasta barras para pre-esfuerzo de concreto, pasando por el alambón para todo tipo de resortes; para colchones, automotrices, industriales, etc.; el alambre para cercas, tensores, mecanismos, en fin toda una variedad de productos, de muy diversos materiales y aplicaciones.

Aunque no existe regla establecida podemos clasificarlos en productos de sección circular como:

Alambre    Diámetro menor a 5 mm.

Alambón    Diámetro entre 5 y 10 mm.

Barra        Diámetro superior a 10 mm.

Los productos de sección cuadrangular se conocen como estiraje de placa. También existe el estiraje de tubo.

## **A) PROCESO.**

Consiste en forzar el paso de un material de geometría; cilíndrica o cuadrangular, a través de un dado de geometría apropiada, de manera tal que se reduzca su sección transversal.

La manera de efectuar el estirado puede ser de las siguientes formas básicas:

Estirado en bancos. El alambre es "jalado" por algún dispositivo de carga a través del dado, que esta montado en una caja con su respectivo sistema de enfriamiento.

Estirado con bobina. Aquí el alambre es estirado por medio de un mecanismo que, al mismo tiempo que estira, enrolla el producto.

En ambos casos es posible realizar el proceso de una manera secuencial. En el primero; el estiraje se efectúa a través de una serie de dados montados adecuadamente, en el segundo se fabrica una bobina con diferentes diámetros, de manera tal, que se compensan las diferentes

velocidades de trefilado (producidas por la disminución secuencial en la sección transversal del alambre).

El dado es la herramienta fundamental para efectuar el proceso de una manera adecuada. Generalmente esta constituido por un inserto de carburo de tungsteno montado en un soporte de acero. El inserto es la parte del dado de trefilado que realiza el trabajo de reducción, básicamente presenta las siguientes características geométricas:

**A.1) Campana:** Realiza el trabajo de recibir el material, generalmente es de forma cónica y muy redonda.

**A.2) Ángulo de aproximación:** También conocido como ángulo de trefilado. Es una sección cónica que se reduce de manera recta. Posee dos funciones: por una parte, iniciar la reducción en el diámetro del alambre; por la otra, realizar, en conjunto con la campana, la importante función de "arrastrar" al lubricante (por lo general sólido) dentro de la zona de deformación asegurando que se forme una película del mismo entre el alambre y el dado.

**A.3) Tabla o cuello:** Es la parte "plana" del dado, tiene una forma cilíndrica y es responsable de asegurar que el diámetro del producto sea homogéneo y, sobre todo, sea el que se pretende obtener.

**A.4) Ángulo de salida:** Es una sección redondeada con una conicidad que se abre hacia el exterior. Tiene como función permitir la recuperación elástica del alambre a la salida del dado sin provocar el riesgo de fractura.

## **B) PARÁMETROS DE TREFILADO.**

A pesar de ser considerado un proceso antiguo y de "relativa" simplicidad, el trefilado en realidad, es uno de los procesos más difíciles de analizar. Los parámetros generales que permiten caracterizar al proceso de una manera elemental son:

- El ángulo de trefilado.
- La reducción en diámetro.

Al igual que otras operaciones de conformado, el desarrollo del proceso se evalúa mediante la carga requerida para efectuarlo. La carga de trefilado esta constituida -por tres contribuciones principales:

- La carga necesaria para deformar el material de manera homogénea ó ideal. Esta dada por la relación  $P = \sigma A \ln r$ , donde  $r$  es la reducción en área,  $\sigma$  es el esfuerzo de cedencia,  $A$  es el área de la sección transversal, considerada de manera apropiada, sobre la cual se aplica la carga. Esta carga "ideal" es independiente del ángulo de trefilado .
- La carga necesaria para vencer las fuerzas de fricción externa. A su vez el valor de esta componente resulta de la combinación de la presión entre la herramienta y el metal sometido a deformación; el coeficiente de fricción entre metal y herramienta, y el área de la superficie de contacto disminuye al incrementar el ángulo de trefilado.
- La carga necesaria para efectuar el trabajo no homogéneo o trabajo redundante. El trabajo redundante es el trabajo extra o trabajo de "desperdicio" que se debe efectuarse para flexionar las fibras metálicas. En trefilado la carga de trabajo redundante se incrementa con el semi-ángulo.

### C) **ÁNGULO ÓPTIMO DE TREFILADO.**

Desde el punto de vista de la energía empleada en efectuar el proceso, los elementos que contribuyen, en menor medida, al trabajo desarrollado son: la fricción y el trabajo redundante. En muchos casos el trabajo necesario para efectuarlos, excede al trabajo teórico necesario para efectuar la deformación homogénea.

Existen un ángulo de trefilado óptimo, que minimiza el efecto de ambas contribuciones sobre el trabajo total a desarrollar durante el proceso.

Por regla general el ángulo óptimo disminuye conforme se incrementa la dureza del material (Tabla I):

**TABLA I. ÁNGULO ÓPTIMO DE TREFILADO.**

<b>Metal</b>	<b>Ángulo Óptimo</b>
<b>aluminio</b>	<b>24°</b>
<b>cobre</b>	<b>12°</b>
<b>acero</b>	<b>6°</b>

#### **D) REDUCCIÓN MÁXIMA POSIBLE EN UN SOLO PASO.**

La reducción en cada paso se expresa, por lo común mediante la reducción en área por paso. Despreciando los efectos de la fricción y del trabajo redundante es posible demostrar que la reducción máxima es del orden del 63%, considerando ambos factores la reducción máxima posible es del orden de 50%. En la práctica se considera que este valor puede llegar a un máximo de entre 30 y 35%. Lo anterior implica que, después de un cierto número de reducciones, se deba efectuar un recocido de ablandamiento.

#### **E) OBJETIVOS QUE SE PRETENDEN ALCANZAR EN EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DEL PROCESO DE TREFILADO.**

##### **OBJETIVOS:**

E.1) Obtener el ángulo óptimo de trefilado para el estirado de tres alambres de acero bajo y medio carbono (AISI 1007, 1035 y 1050).

E.2) Determinar el esfuerzo de trefilado para el estirado de tres alambres de acero bajo y medio carbono (AISI 1007, 1035 y 1050)

E.3) Determinar el lubricante más adecuado en el proceso de trefilado de tres aceros bajo y medio carbono (AISI 1007, 1035 y 1050).

E.4) Determinar el coeficiente de endurecimiento por trabajo de los materiales trefilados con los ángulos empleados en el proceso ( 5°, 6.5°, 10° )



# **CAPITULO UNO**

## **EQUIPO PARA TREFILADO**

## **1.1.-EQUIPO PARA EL TREFILADO DE ALAMBRE.**

### **1.1.1.- Proceso de trefilado.**

En éste, el diámetro de una pieza de metal cilíndrica es reducida jalándola a través de un agujero cónico que es el perfil interno de un dado de estirado. El metal cilíndrico alimentado es inicialmente ahusado de manera que salga a través del orificio del dado y pueda ser sujetado para el estirado. El equipo necesario puede encontrarse desde un simple banco de estirado para trabajo intermitente, hasta bloques múltiples para operación continua. El bloque de estirado consiste de tres partes, 1.- Sujetador o cabrestante para sujetar el arrollamiento de alambres listo para estirarse, 2.-El dado que es el que ejecuta realmente la reducción ,3.- Bloque de estirado que suministra la carga y energía para la reducción; éste también enrrolla y acumula el alambre ya estirado. Existe equipo que solamente cuenta con 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 continua, de tal manera que se pasa a través de varios dados simultáneamente, como se muestra en la figura No (1.1). Debe haber, sin embargo, un bloque de estirado para cada dado. Una máquina continua que tenga cinco dados, también tendrá cinco bloques de estirado. Puesto que el diámetro del alambre disminuye desde el dado 1 al dado 5, la velocidad y longitud aumentará proporcionalmente. Por estas razones 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. Tienen la desventaja de que son grandes y costosas 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. No es posible lograr una relación precisa entre los diámetros del dado y del bloque que es esencial

en este patrón, pero el estirado puede llevarse a cabo satisfactoriamente si la discrepancia no es muy grande. 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 sumergiendo el arreglo completo de conos escalonados en un baño de aceite. Por esta razón se denominan máquinas de inmersión o de deslizamiento, mientras que el primer tipo es descrito como máquina sin deslizamiento.

Los alambres se pueden reducir un 90% en pasadas sucesivas, partiendo del metal en estado recocido y antes de que se vuelvan a recocer. Algunos alambres, que pueden terminar con diámetros de 0.001 in (0.025 mm) o aún menores, se estiran a través de un gran número de dados antes de alcanzar el tamaño final y se pueden recocer varias veces durante el proceso de estirado.

El recocido discontinuo de rollos puede exigir de 1 a 2 horas; y el recocido continuo, en el cual varios alambres se pasan individualmente a través de un horno largo, normalmente se trabaja a una velocidad de varios centímetros por minuto.

Muchos bancos de estirado modernos se accionan hidráulicamente. A medida que el diámetro se reduce, resulta antieconómico manejar longitudes cortas, y para diámetros de 1/2 in( 12.7 mm) es preferible usar un bloque de estirar en lugar de un banco recto, de manera que se pueden producir largas bobinas ininterrumpidas de alambre, como se muestra en la figura No (1.2).

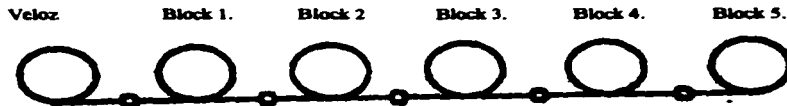


Figura No.- (1.1) . Estirado en baño.  
(Tomado :Mechanical working of metal. 1983)

en este patrón, pero el estirado puede llevarse a cabo satisfactoriamente si la discrepancia no es muy grande. 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 sumergiendo el arreglo completo de conos escalonados en un baño de aceite. Por esta razón se denominan máquinas de inmersión o de deslizamiento, mientras que el primer tipo es descrito como máquina sin deslizamiento.

Los alambres se pueden reducir un 90% en pasadas sucesivas, partiendo del metal en estado recocido y antes de que se vuelvan a recocer. Algunos alambres, que pueden terminar con diámetros de 0.001 in (0.025 mm) o aún menores, se estiran a través de un gran número de dados antes de alcanzar el tamaño final y se pueden recocer varias veces durante el proceso de estirado.

El recocido discontinuo de rollos puede exigir de 1 a 2 horas; y el recocido continuo, en el cual varios alambres se pasan individualmente a través de un horno largo, normalmente se trabaja a una velocidad de varios centímetros por minuto.

Muchos bancos de estirado modernos se accionan hidráulicamente. A medida que el diámetro se reduce, resulta antieconómico manejar longitudes cortas, y para diámetros de 1/2 in (12.7 mm) es preferible usar un bloque de estirar en lugar de un banco recto, de manera que se pueden producir largas bobinas ininterrumpidas de alambre, como se muestra en la figura No (1.2).

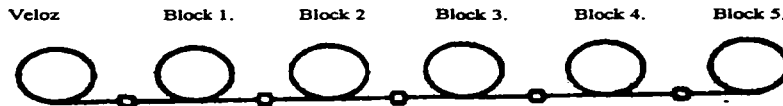


Figura No.- (1.1) . Estirado en banco.  
(Tomada :Mechanical working of metal. 1983)

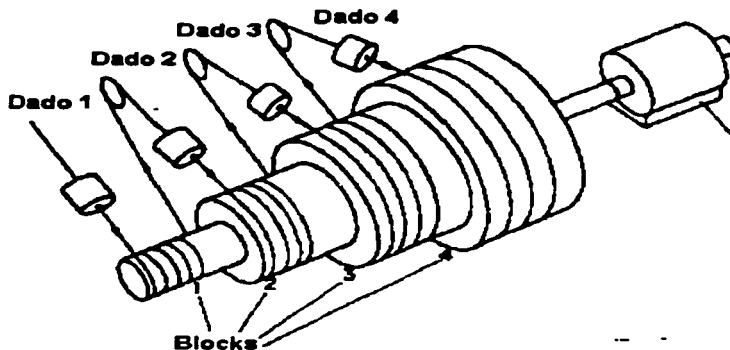


Figura No.- (1.2). Estirado en bobina.  
Tomada: Mechanical working of metal.1983)

## **1.2.-CARACTERÍSTICAS DE LOS DADOS DE TREFILADO.**

### **1.2.1.- Materiales empleados en la fabricación de un dado.**

Antiguamente se utilizaban en la fabricación de los dados, aceros aleados con elevados contenido de cromo, y en ocasiones se agregaron también otros elementos como tungsteno y vanadio. Posteriormente estos materiales fueron substituidos por carburo de tungsteno y diamante. El primero de éstos, substituyó a los materiales anteriormente utilizados, exceptuando el diamante que se emplea en reducciones muy finas y para el trefilado de acero de alto carbono.

Los carburos cementados están compuestos de partículas extremadamente duras que se mantienen unidas con un aglutinante, usualmente cobalto. Estas partículas duras son carburo de tungsteno (los carburos de tantalio y titanio pueden adicionarse en proporciones pequeñas para propósitos especiales). Estas partículas de carburo son tan pequeñas que no pueden distinguirse sin que se examinen bajo un microscopio.

El diamante ofrece las características óptimas para el proceso de trefilado: la mayor dureza de todos los materiales conocidos, bajo coeficiente de dilatación lineal y buena conductividad térmica. Los diamantes utilizados para trefilado deben ser de máxima pureza y no tener grietas ni siquiera microscópicas. Los más empleados son aquellos que tienen un color amarillo característico.

El factor principal en favor del carburo de tungsteno comparado con el diamante, es su bajo precio y su bajo coeficiente de fricción ( $\mu$ ). De acuerdo a experimentos realizados por Abril (15), el valor de este coeficiente es de 0.065.

### **1.2.2.- Propiedades de los dados de carburo cementados.**

#### **Dureza:**

Los carburos cementados tienen valores de dureza que son más amplios que aquellos de los del acero más duro. El método usual de medición de la dureza de carburos es con el equipo de prueba Rockwell la escala "A" (60 kg de carga).

La dureza de cada grado de carburo cementado se controla dentro de límites muy estrechos. Los grados diferentes de durezas se obtienen variando la cantidad de material aglutinante y con control del proceso.

#### **Dureza en caliente:**

La elevada preferencia al uso de los dados de carburo se debe, en parte, a la capacidad de este material de retener la mayoría de su dureza a pesar de temperaturas de 1000 °F o más.

#### **Coefficiente de expansión térmica:**

Los carburos cementados poseen un coeficiente de expansión térmica que es aproximadamente la mitad del que tiene el acero. Mientras que ésta es una ventaja sobresaliente en muchas aplicaciones, puede presentar problemas al diseñador.

#### Densidad:

El carburo cementado tiene alta densidad. El rango es aproximadamente de 12.0 a 15 gr/cm<sup>3</sup> para el mayor grado en dado, aproximadamente de 1.5 a 2.0 veces la densidad del acero.

#### Módulo de elasticidad o de Young:

Bajo un esfuerzo simple dentro del rango de proporcionalidad, la razón entre el esfuerzo y la deformación correspondiente se denomina módulo de elasticidad (E)

Este término es un tanto equivoco, ya que se refiere a la rigidez dentro del rango elástico más bien que a la elasticidad. Correspondiendo a los tres tipos fundamentales de esfuerzo, existen tres módulos de elasticidad, módulo en tensión, compresión y cortante. Bajo el esfuerzo de tensión, esta medida de rigidez es, frecuentemente, llamada módulo de young. Bajo corte simple la rigidez se denomina módulo de rigidez. En términos del diagrama esfuerzo deformación, el módulo de elasticidad es la pendiente del diagrama esfuerzo deformación en el rango de la proporcionalidad del esfuerzo y de la deformación.

El módulo de elasticidad de los materiales ordinariamente se determina en forma directa por ensayos que involucran la medición del esfuerzo y de la deformación de probetas sometidas a esfuerzos simples. El módulo de elasticidad se expresa en unidades de fuerza por área unitaria, siendo para los aceros de  $2109244.2 \text{ Kg / cm}^2$

#### Limite a la compresión:

El carburo cementado tiene una resistencia a la compresión más alta que los aceros endurecidos. El carburo cementado absorberá, con un mínimo de deformación, cargas compresivas altas comparado con otros materiales en ingeniería. Esta propiedad hace a los

carburos adecuados para el trefilado en dado y algunas otras aplicaciones en la industria del alambre.

**Módulo de elasticidad de Young:**

Una de las propiedades sobresalientes del carburo cementado es el alto módulo de elasticidad de Young esto es una medida de rigidez del metal o una relación entre el esfuerzo y la deformación. Los carburos cementados tienen un modulo de  $2 \frac{1}{4}$  a  $3 \frac{1}{2}$  veces mayor que el acero, que es de:  $2109244.2 \text{ Kg} / \text{cm}^2$

**Resistencia al desgaste:**

La alta resistencia al desgaste de los carburos cementados se debe a la combinación de propiedades como resultado de ello , éstos carburos duran más que los dados de acero. Las propiedades que hacen posible ésto son:

- 1.- Los valores de alta dureza.
- 2.- El bajo coeficiente de fricción.
- 3.- La capacidad de recibir y mantener una superficie con buen acabado.
- 4.- La capacidad de resistencia a la deformación bajo carga (alto módulo de Young).

**Resistencia a la abrasión:**

Una de las principales formas de desgaste es la abrasión, y los carburos cementados tienen excelente resistencia a la abrasión.

### **1.2.3.- Zonas principales de un dado de trefilado.**

Los dados de estiraje se componen principalmente de las zonas siguientes:

- Campana y cono de entrada ( $\alpha$ ).- En esta zona del dado no cambian en absoluto las dimensiones del alambre, el ángulo de esta zona varía entre  $60^\circ$  y  $90^\circ$ , siendo el más frecuente de  $70^\circ$ . Su altura es generalmente  $\frac{1}{3}$  del diámetro para dados de pequeñas dimensiones, y hasta de  $\frac{1}{6}$  del diámetro para dados de grandes dimensiones.

La forma de la campana está diseñada de tal manera que el alambre al viajar en el dado arrastra lubricante con él, ocasiona que la presión hidrostática aumente y permite el flujo de



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. Figura No.(1.3).

- **Ángulo de acceso o cono de reducción ( $\beta$ ).**- Esta es la zona donde se lleva a cabo la mayor parte de la reducción. También se le llama cojinete del dado y constituye el mecanismo de reducción.

- **Zona cilíndrica o de apoyo ( $\gamma$ ).**- La magnitud de esta zona es de carácter crítico. Si es demasiado larga, la fuerza necesaria para el estirado aumenta y el dado conserva mayor tiempo sus dimensiones; en el caso contrario la fuerza para el estirado disminuye, pero el dado pierde sus dimensiones con mayor rapidez.

Como el perfil del dado se desgasta gradualmente conforme el alambre es estirado, la duración del dado aumenta alargando la longitud del cojinete. Mientras mayor sea la longitud del cojinete 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 diseño óptimo usado es aquel en el cual la longitud del cojinete es dos tercios el diámetro o barreno (3).

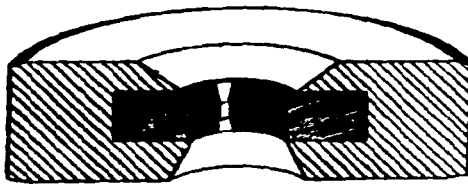
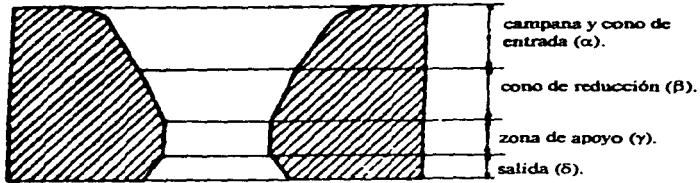
- **Zona de alivio o de salida ( $\delta$ ).**- Su altura se recomienda entre 1/3 y 1/5 del núcleo del diamante. Su ángulo oscila entre 90° y 60°. Permite que el metal resorte o se expanda conforme el alambre sale del dado. Si el perfil de la salida no es correcto, puede presentarse erosión en el alambre en este punto.

El ángulo del dado es un parámetro importante en el estirado de alambre. Éste es el ángulo que el acercamiento forma con la línea de centro del dado, se muestra como  $\alpha$  en la figura No3., (específicamente  $\alpha$  es el semiángulo). El ángulo del dado controla en alto grado la carga de estirado (es decir, la carga que debe aplicarse al alambre que va introduciéndose en el dado para jalar el restante a través del dado).

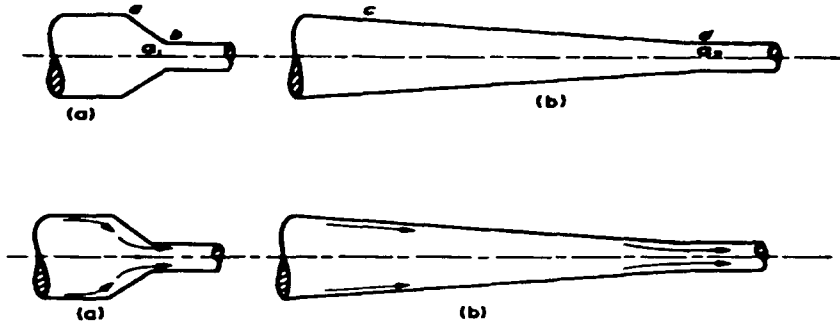
Para cada metal existe una carga de estirado para una reducción dada. Lo anterior puede deducirse cualitativamente como sigue: en cualquier proceso de deformación, la carga total

está formada de tres componentes -la requerida para deformar el metal ideal u homogéneamente-. Ésto está dado por  $L = \sigma_0 A \ln r$ , donde  $\sigma_0$  es el esfuerzo de cedencia,  $A$  la sección transversal apropiada del metal en que la carga se aplica y  $r$  la reducción lograda. Esta carga ideal es independiente del método de trabajo y cuando se aplica al estirado de alambre es independiente de  $\alpha$ . El segundo componente de la carga de deformación es aquel elemento requerido para vencer la fricción extrema. Ésto, en su caso, depende de una combinación de la presión entre el metal que se está deformando y la herramienta; el coeficiente de fricción entre metal y herramienta, y el área de la superficie de contacto entre el metal y la herramienta. En el trefilado de alambre el área de contacto disminuye conforme el ángulo del dado se aumenta.

Con el dado de ángulo grande  $\alpha_1$ , el área de contacto es una corona circular basada en  $ab$  (figura No.1.4 (a).), mientras que con un dado de ángulo pequeño  $\alpha_2$ , aún para la misma reducción, el área de contacto se aumenta al tronco de cono del dado  $cd$  (figura No.14 (b).). El tercer elemento es la carga para vencer el trabajo redundante. En el trefilado de alambre la carga por trabajo redundante se aumenta con el ángulo. 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 del flujo. Es obvio que se requiere más energía para lograr ésto en el caso de un dado de ángulo grande (figura No.1.5 (a)). que el caso de un dado de ángulo pequeño (figura No.1.5 (b)). La carga total de estirado involucrando estas tres componentes, aparece en la (figura No.1.6) cuando se considera relacionada con ángulos de dados variables.



La figura No .1.3 muestra el corte transversal de un dado para estirar alambre sus zonas principales que lo componen y la colocación de la pastilla de carburo de tungsteno. (Tomada: The Making Shaping and treating of steel.)



Figuras No ( 1.4 y 1.5). (a) y (b) Muestran la relación que existen entre el ángulo de trefilado y el área de contacto del dado. (Tomado de: Mechanical working of metal)

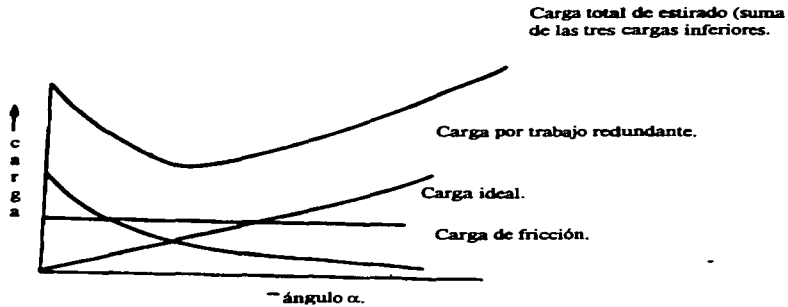


Figura No(1.6). Muestra la carga total de estirado relacionada con ángulos de trefilado variable.(Tomada de: Mechanical working of metal)

## **CAPITULO DOS**

# **LUBRICACIÓN, FRICCIÓN Y** **DEFORMACIÓN**

## **2.1.-MECANISMOS DE LUBRICACIÓN**

### **2.1.1.-Principios elementales de la lubricación.**

Anteriormente se consideraba que la fricción se debía únicamente a rugosidad y defectos en la superficie del metal; ahora se sabe que también es necesario tomar en cuenta el efecto del campo de fuerzas resultantes debido a las fuerzas de atracción entre metal y metal. Esta situación debe analizarse en base a aspectos químicos sin descartar los físicos, debiendo lograr una afinidad química entre las superficies metálicas y la capa de lubricante.

Es fácil detectar cuando la lubricación se realiza incorrectamente, ya que se ve aumentada la generación de calor, la pérdida de potencia y el desgaste de la superficie del dado y la del alambre, (en esta última se forman surcos longitudinales).

El espesor de la capa de lubricante depende del coeficiente de fricción que se desee obtener. Coelho y Magnavacca (16), mencionan tres tipos de lubricación en el trefilado de alambre: hidrodinámica, mixta y nula.

Aunque las distinciones no son siempre claras, es normal considerar la lubricación bajo aspectos diferentes: hidrodinámica, de contorno, de presión extrema y de película sólida, las cuales se detallan más adelante en los puntos (2.1.2 al 2.1.4). La función principal de un lubricante en el conformado de metales es evitar la adherencia de material. Es también conveniente que un lubricante reduzca el desgaste y el rozamiento, pero esto último es normalmente lo menos importante. Siempre que sea posible, la película de lubricante se debe mantener lo suficientemente gruesa como para separar completamente las superficies. No existe ninguna ventaja en exceder este espesor. En presencia de una película muy delgada de lubricante, cada cristal del metal se deforma libremente, de acuerdo con su orientación cristalográfica, produciendo un aspecto mate. Esto no altera las propiedades mecánicas o metalúrgicas del producto final, pero dificulta la inspección visual de los defectos y normalmente se considera como perjudicial. Por otro lado, el aspecto altamente pulido, con frecuencia muy apreciado en el conformado de metales, se puede obtener a riesgo de adelgazar la película del lubricante hasta un nivel próximo al de rotura.

El lubricante debe adherirse perfectamente a la superficie del metal, ésto depende específicamente de dos factores: 1.- Reactividad (Función química).- Consiste en la absorción superficial del lubricante en todo el alambre y dado, formando una capa protectora de lubricante químicamente reactiva.

2.- Polaridad (Función Física).- Atracción de tipo electrostático entre moléculas debido a su simetría molecular o a radicales activos entre lubricantes y superficies metálicas. Complementa la adsorción que se haya realizado por efecto de reactividad. Los grupos más utilizados son los radicales alcohólicos y carboxílicos.

Por lo tanto, el lubricante ideal es aquel que forma al mismo tiempo una capa químicamente reactiva y otra de atracción electrostática Figura No.2.1

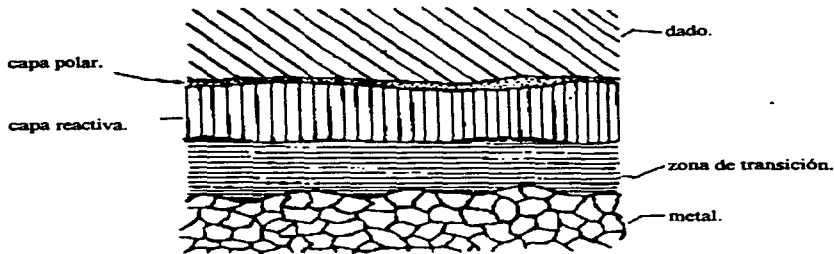


Figura No 2.1.- Disposición de la capa de lubricante sobre las superficies del alambre y dado (tomado de: Siderurgia Latinoamericana. Coelbo y Magnavacca No. 192., Chile 1976).

### 2.1.2.-Lubricación hidrodinámica y de película gruesa.

Bajo ciertas condiciones, se pueden formar películas gruesas de lubricante mediante fuerzas viscosas que actúan sobre el fluido. Este fenómeno se favorece con un ángulo pequeño entre la herramienta y la pieza de trabajo y mediante una gran velocidad relativa.

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

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

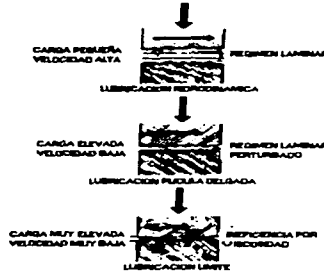


Fig.N 2.2 Lubricación hidrodinámica  
(Tomada de:Friction Lubricación and Wear (28))



### **2.1.3.-Lubricación de capa límite y de presión extrema.**

Algunos lubricantes son muy eficaces en forma de películas muy delgadas. Numerosos experimentos con pequeños deslizadores bajo cargas ligeras han demostrado que aun capas monomoleculares de algunos compuestos proporcionan rozamiento pequeño, aunque por supuesto estas películas se gastan rápidamente. Estos compuestos se conocen como lubricante de capa límite. Son particularmente eficaces los ácidos grasos líquidos y sólidos, pero la razón de su eficacia es que reaccionan con una superficie metálica para formar un jabón metálico sólido. Cuando se usan sobre un metal no reactivo, los ácidos grasos no son mejores que las parafinas de igual peso molecular. Los compuestos orgánicos de cadenas largas que son sólidos tienen buenas propiedades lubricantes, pero se unen con menos fuerza a las superficies metálicas que los productos reactivos. En el conformado de metales se crean superficies nuevas a medida que las piezas se deforman, y un criterio importante de la lubricación es que las superficies nuevas, altamente reactivas, deben ser protegidas por una película de lubricante o de un producto reactivo, antes de que pueda ponerse en contacto con el metal de la herramienta. Algunos materiales, incluyendo el acero inoxidable y las aleaciones de titanio, no reaccionan fácilmente con los lubricantes de capa límite, y se ha visto que estos materiales son muy propensos a la adherencia.

Una desventaja de los lubricantes de capa límite es que normalmente son compuestos orgánicos que se descomponen a temperaturas próximas a 250°C o menores. Para la protección a temperaturas más elevadas, se utilizan compuestos orgánicos clorados. Estos compuestos reaccionan para formar cloruros sólidos, tales como  $\text{FeCl}_2$ , que se descompone a unos 350°C. Estos compuestos se crearon, primeramente, para su utilización en engranajes sometidos a altas presiones y se conocen como aditivos de presión extrema o E.P., aunque su acción depende principalmente de la temperatura. Son particularmente convenientes para esta aplicación, puesto que cualquier zona local de un diente de engrane que se calienta está expuesta al fluido durante largo tiempo entre los contactos sucesivos. Así las películas químicas se pueden formar con bastante facilidad. Muchos procesos de conformado de metales suponen solamente una pasada de corta duración, por ejemplo, de unos 20 milisegundos en el estirado de redondo a 100 ft/min ( 50 cm/s). Cualquier reacción que ocurra después de que la pieza abandone la herramienta es corrosión, que no tiene ninguna

finalidad útil. El rozamiento de una película de cloruro es normalmente mayor que el de una verdadera película de capa límite; así, los lubricantes de capa límite y de presión extrema con frecuencia se mezclan para proporcionar una fricción pequeña en un intervalo de temperatura tan grande como sea posible.

También se utilizan compuestos sulfurados, que forman sulfuros, tales como el SFe que se descompone a unos 700°C. Estos compuestos son eficaces hasta temperaturas más elevadas, pero el rozamiento es algo mayor.

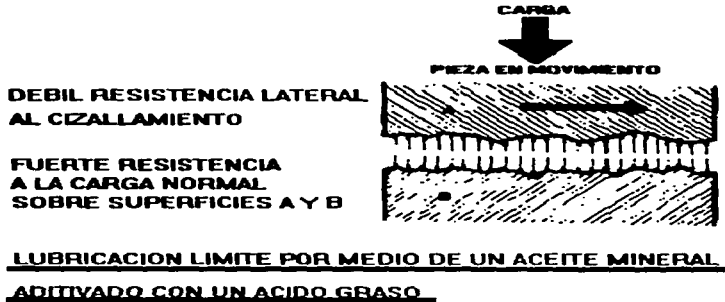


Fig.2.3 Lubricación por capa límite  
(Tomada de:Friction Lubrication and wear .(28))

#### 2.1.4.-Lubricación Mixta y nula.

La lubricación mixta es la creación de una capa de lubricante que permite contacto de algunos puntos entre ambas superficies. Hay un notable aumento en el coeficiente de fricción y pérdida de la potencia de trefilado.

La lubricación nula es un contacto total entre ambas superficies con las siguientes desventajas ya mencionadas.

### **2.1.5.-Comportamiento físico de lubricantes bajo condiciones de estirado.**

Cuando el alambre pasa a través de un lubricante en polvo en una caja de dado, una cantidad relativamente pequeña de jabón se adhiere a la superficie y es acarreada dentro del dado con el alambre. El calentamiento y la presión de la operación de estirado son factores que contribuyen a transformar el lubricante y a transportarlo como una película plástica, la cual sirve en gran medida para reducir la fricción de trabajo en frío y minimizar el contacto metal-metal. Además de que evita entre otras cosas el rayado del producto y el desgaste del dado.

Un lubricante debe reunir las siguientes características:

1.- Contenido de ácido graso.- En el lubricante el ácido graso puede encontrarse: libre, parcialmente combinado o todo combinado. La cantidad libre de ácido graso determina la calidad del lubricante, con mayor cantidad de ácido graso, la eficiencia del lubricante aumenta. Robert.W Miller(18).

2.- Tamaño de grano.- Es una característica que debe tomarse en consideración, ya que del tamaño de la partícula en polvo depende su aplicación específica. Un tamaño de grano fino (40#), se aplica a calibres gruesos de alambres, y un grano grueso (> 10#), a calibres más finos.

3.- Humedad.- Un exceso de humedad en el lubricante provoca una película pobre de éste en el alambre; además de que puede apelmazarse en la caja donde esté contenido.

Es necesario hacer notar que la velocidad de trefilado y la composición química del alambre influyen también en la capacidad de funcionamiento del lubricante. Una velocidad elevada de trefilado da como resultado una capa delgada de lubricante con el consiguiente aumento de la fricción. El aumento en carbono del acero trae consigo mayor dureza del material y, consecuentemente, mayor presión y desgaste de la capa de lubricante que se haya formado.

### **2.1.6.-Lubricantes para el trefilado.**

En el trefilado de acero hay tres métodos principales mediante los cuales el alambre puede ser estirado, estos consisten en:

- a) Estirado en seco usando un jabón en polvo.
- b) Estirado húmedo empleando una solución acuosa de jabón, emulsiones y fluido de lubricantes no acuosos.
- c) Estirado en grasas usando grasas a base de petróleo y pasta a base de jabón.

Los lubricantes son, por lo general, mezclas de ácidos grasos con complemento de cal, bórax y otros aditivos.

Se obtienen a partir de dos grupos principales:

- Sales de metales alcalinos, (sodio principalmente),
- Sales de otros metales.

Las primeras se forma a partir de la reacción de ácidos grasos con sosa cáustica (hidróxido de sodio). Son perfectamente solubles en agua.

Las sales metálicas incluyen sales de metales (generalmente alcalinoterreos) de varios ácidos grasos. Los más usuales son: oleatos, estearatos, lauratos y palmitatos.

Los estearato de calcio han demostrado ser un buen lubricante para trefilado por su dureza y alto punto de fusión.

Los jabones para el trefilado se clasifican en dos grupos:

- a) Sodio.
- b) De otros metales.

Los jabones de sodio, son solubles en agua, son preparados por la reacción de sosa cáustica con grasas o ácidos grasos, frecuentemente en combinación de cenizas de sosa y metasilicato de sodio.

Los jabones metálicos son insolubles en agua, incluye el calcio, aluminio, zinc y sales de plomo y varios ácidos grasos. Los jabones de calcio, comúnmente llamados "jabones de cal", son los jabones metálicos más comunes como lubricantes en el trefilado, aunque el aluminio, zinc y bario pueden ser usados. El hidróxido de calcio o cal es probablemente el ingrediente o lubricante más frecuente en el trefilado en seco.

Cualquier material cuya resistencia a los esfuerzos cortantes sea más baja que la del metal puede, en principio, utilizarse como lubricante sólido en el conformado de metales. Son útiles los polímeros y las ceras, empleándose mucho los jabones sólidos, tales como los estearatos de sodio o calcio, en el conformado de metales en frío, con muy buenos resultados. Ciertos sólidos cristalinos, particularmente el grafito y el disulfuro de molibdeno, ofrecen poco rozamiento hasta temperaturas elevadas. El grafito disperso en grasa o breca se utiliza en el conformado en caliente de los aceros. También se suele añadir a los lubricantes sólidos, cal finamente dispersa u otros materiales sólidos destinados a incrementar su viscosidad y a proporcionar una protección mecánica a las superficies.

## **2.2.- MECANISMO DE FRICCIÓN.**

### **2.2.1.- Influencia de la fricción en los procesos de conformado de metales.**

La consecuencia más evidente de la fricción en la experiencia general, es que hay que emplear un trabajo que de otro modo no sería necesario. Esto es cierto en todos los procesos de conformado de metales. Cuanto mayor es la fricción, mayor es la carga requerida para producir una deformación determinada. En consecuencia, se ha dado mucha importancia al problema de conseguir valores bajos de los coeficientes de fricción. Sin embargo, este problema no es el más importante, en la elección del lubricante para el conformado de metales tiene mayor importancia eliminar todas posibilidades de deterioro causado por la transferencia de metal desde la pieza a las herramientas. La vida de la herramienta se puede prolongar bien reduciendo la fricción, o bien evitando el contacto metálico con las piezas. Sin embargo, si la película de lubricante es demasiado gruesa, puede producirse una superficie rugosa. Para producir una superficie brillante puede ser necesario sacrificar en parte la eficiencia de la lubricación. Existen operaciones que requieren una cierta fricción mínima.

Aparte del incremento de las fuerzas externas, la tensión de fricción tiene una influencia importante sobre la fluencia del metal y puede ocasionar graves heterogeneidades en el producto conformado, así como grietas superficiales y otros defectos. Por lo tanto la

Cualquier material cuya resistencia a los esfuerzos cortantes sea más baja que la del metal puede, en principio, utilizarse como lubricante sólido en el conformado de metales. Son útiles los polímeros y las ceras, empleándose mucho los jabones sólidos, tales como los estearatos de sodio o calcio, en el conformado de metales en frío, con muy buenos resultados. Ciertos sólidos cristalinos, particularmente el grafito y el disulfuro de molibdeno, ofrecen poco rozamiento hasta temperaturas elevadas. El grafito disperso en grasa o breá se utiliza en el conformado en caliente de los aceros. También se suele añadir a los lubricantes sólidos, cal finamente dispersa u otros materiales sólidos destinados a incrementar su viscosidad y a proporcionar una protección mecánica a las superficies.

## **2.2.- MECANISMO DE FRICCIÓN.**

### **2.2.1.- Influencia de la fricción en los procesos de conformado de metales.**

La consecuencia más evidente de la fricción en la experiencia general, es que hay que emplear un trabajo que de otro modo no sería necesario. Esto es cierto en todos los procesos de conformado de metales. Cuanto mayor es la fricción, mayor es la carga requerida para producir una deformación determinada. En consecuencia, se ha dado mucha importancia al problema de conseguir valores bajos de los coeficientes de fricción. Sin embargo, este problema no es el más importante, en la elección del lubricante para el conformado de metales tiene mayor importancia eliminar todas posibilidades de deterioro causado por la transferencia de metal desde la pieza a las herramientas. La vida de la herramienta se puede prolongar bien reduciendo la fricción, o bien evitando el contacto metálico con las piezas. Sin embargo, si la película de lubricante es demasiado gruesa, puede producirse una superficie rugosa. Para producir una superficie brillante puede ser necesario sacrificar en parte la eficiencia de la lubricación. Existen operaciones que requieren una cierta fricción mínimo.

Aparte del incremento de las fuerzas externas, la tensión de fricción tiene una influencia importante sobre la fluencia del metal y puede ocasionar graves heterogeneidades en el producto conformado, así como grietas superficiales y otros defectos. Por lo tanto la

lubricación es una parte importante del conformado de metales, y en ella se deben considerar diversos factores.

Para calcular el ángulo óptimo del dado, que depende del coeficiente de fricción, en el proceso de trefilado, la contribución de la fricción se iguala al incremento de la fuerza debido al trabajo adicional. Otros de los efectos de una buena lubricación es proporcionar un movimiento más uniforme. Un deslizamiento puede provocar grandes fluctuaciones de la fuerza, particularmente cuando la inercia del sistema es pequeña, como en las operaciones de mecanizado.

### **2.2.2.-Heterogeneidad de la deformación producida por la fricción.**

La heterogeneidad aparece de dos maneras distintas. La tensión de fricción produce una rotación de las direcciones de la tensión principal, que a su vez determina cuáles de los posibles planos cristalográficos son los orientados más favorablemente para que tenga lugar el deslizamiento atómico. La orientación cristalográfica de las capas superficiales del material trabajado estará influenciada, en consecuencia, por la fricción, como se puede demostrar por difracción de rayos X. Existe también una heterogeneidad macroscópica, observable mediante un retículo trazado sobre la sección transversal del material antes de trabajarlo.

Las capas superficiales están apreciablemente retardadas, aun en presencia de un lubricante, por la fuerza de fricción. La deformación adicional de la superficie produce un endurecimiento adicional y algunas veces hasta agrietamiento. Aun las grietas pequeñas, que no son fácilmente visibles, pueden tener serias consecuencias en la resistencia a la fatiga o a la corrosión. El modelo general de deformación se puede alterar completamente con variaciones de la fricción.

### **2.2.3.-Transferencia de metal.**

Con mucho, la consecuencia más grave de una lubricación inadecuada es la adherencia del metal de la pieza a la herramienta. Esta adherencia puede ocurrir con más facilidad en algunos materiales que con otros, pero puede limitar seriamente el intervalo posible de

reducciones de sección por pasadas. Un factor vital en la mayoría de las operaciones es la cantidad de lubricante existente en la zona de trabajo entre la pieza y la herramienta. Si ésta es suficiente para llenar todas las operaciones y cubrir las mayores elevaciones de la superficie, entonces el proceso puede continuar, pero cuando el espesor de la película de lubricante cae por debajo de este límite, existe peligro de contacto metálico seguido de adherencia. Esto se puede demostrar directamente midiendo el espesor de la película de lubricante utilizando un método mediante radotrazadores.

La transferencia metálica puede tener lugar de dos maneras diferentes. Una está asociada, en primer lugar, con las superficies rugosas de las herramientas. El otro tipo de transferencia es adhesiva y es mucho más grave. Se puede originar por diversas causas, incluyendo pequeñas partículas de óxido o cascarillas que quitan las películas protectoras superficiales, dejando el metal desnudo. Si se pone en contacto dos de estas superficies bajo la presión de trabajo, tienden a soldarse, haciendo que un fragmento de la pieza se desgarré por cizallamiento posterior y quede firmemente adherido a la herramienta. En la zona en que se ha arrancado el fragmento aparece una superficie reciente, que normalmente sobresale de la película de lubricante que le rodea, de manera que la adherencia se hace cada vez peor, con frecuencia este fenómeno impide la operación de conformado y las herramientas tienen que repararse. La adherencia depende en condiciones reales, de la naturaleza de los materiales; por ejemplo, los aceros son mucho menos propensos a adherirse sobre superficies de carburos de tungsteno que sobre las superficies de las herramientas de acero. La interposición de una película no metálica, tales como fosfatos, también ayuda a reducir o a eliminar la adherencia en el caso de agotamiento del lubricante. Sin embargo, se debe recordar que muchas de las operaciones del conformado de metales requieren inherentemente la formación de un 40 a un 50% de superficie nueva de metal durante la deformación.





Fig.2.4 Cantidad de lubricante pieza y herramienta de trabajo.  
 ( Tomada de: Friction Lubrication and wear.(28))

#### 2.2.4.-Medida del coeficiente de fricción..

En la teoría del conformado de metales se supone que la tensión tangencial  $\tau$ , en la superficie, es directamente proporcional a la tensión normal  $P$ , en presencia de un lubricante. Un coeficiente de fricción se puede, definir como:

$$\mu = \tau / P \quad (1)$$

Que es análogo a la relación de las fuerzas tangencial y normal en física elemental. Sin embargo, la tensión tangencial esta limitada a un valor igual al limite de fluencia por cizalladura ( $k$ ) del metal mismo. Puesto que el valor mínimo de la tensión normal que puede causar deformación plástica es  $Y$ , tensión de fluencia uniaxial, el valor máximo del coeficiente de fricción para condiciones de rozamiento de adherencia total viene dado por la relación:

$$\mu = k / Y \quad (2)$$

Estas cantidades están, por supuesto, relacionadas de acuerdo con los criterio de fluencia.

Utilizando el criterio de Von Mises, ecuación:

$$2k = 1.155Y \quad (3)$$

Así, pues,

$$\mu \text{ máx} = k / Y = 0.577 \quad (4)$$

El criterio de Tresca nos proporciona

$$\mu \text{ máx} = 0.5 \quad (5)$$

que es conveniente recordar, y que se cita con frecuencia. La condición de coeficiente constante se conoce normalmente como fricción de deslizamiento o fricción de Coulomb. El coeficiente de fricción puede realmente variar durante una pasada de trabajo, ya que la lubricación se deteriora debido a la delgadez de la película y a la extensión de la superficie. Sin embargo, estudios experimentales indican, que este fenómeno es despreciable para todas las operaciones bien lubricadas. Para cálculos prácticos se puede suponer que la tensión de cizalladura ( $\tau$ ) para la interfase herramienta/pieza, donde la tensión normal es  $p$ , viene siempre dada por:

$$\tau = \mu p \quad (6)$$

siempre que  $\tau < k$ . De otro modo, existe fricción de adherencia, y

$$\tau = k \quad (7)$$

Actualmente no hay ningún método, generalmente aceptado, para medir el valor del coeficiente de fricción para superficies y lubricantes. El resultado puede estar influenciado por diversos factores, y es esencial que las condiciones del ensayo, la geometría de la superficie, las condiciones químicas, el espesor de película del lubricante, la temperatura, la velocidad, el medio ambiente y el grado de deformación se deben parecer en todo lo posible a las condiciones reales de la operación. Esto indica que los únicos datos de fricción absolutamente útiles son aquellos obtenidos de las medidas durante la operación considerada. Afortunadamente en la mayoría de las operaciones la contribución de la fricción a la fuerza aplicada no sobrepasa de 10 a 20%, de manera que los valores aproximados del coeficiente de fricción, obtenidos a partir de ensayos simulados, son normalmente suficientes. Raramente existe una correlación directa con los coeficientes de fricción bien conocidos, obtenidos en las pruebas de laboratorio.

El valor real del coeficiente de fricción no se puede determinar con facilidad. En las herramientas con una gran superficie, tales como los rodillos conformadores de perfiles planos, es posible colocar dos pequeñas cabezas medidoras, diseñadas de tal modo que una se flexe por cizalladura y la otra por compresión. Aun con esta disposición tan complicada, es difícil conseguir que no se produzca ninguna alteración local, no habiéndose empleado el método con herramientas pequeñas, tales como los dados para el trefilado de alambre. Todos los demás métodos suponen la media de un coeficiente total o medio de fricción  $\mu$ .

A partir del estirado de platinas anchas con matrices en forma de cuña de semiángulo  $\alpha$ , se puede calcular un valor de  $\mu$ , resolviendo la carga de la matriz D y la fuerza de estirado T, paralela y perpendicularmente a la cara de la matriz, pero pequeños errores en la medida de D, T o  $\alpha$  conducen a grandes errores en el valor calculado de  $\mu$ . Un método más exacto es estirar dos platinas paralelas entre matrices curvadas, con un tapón de lados paralelos entre las platinas. Se puede conseguir cualquier grado de deformación deseado, y  $\mu$  se puede calcular directamente de la relación:

$$\mu = T/D \quad (8)$$

Sin embargo, debido a que el ángulo efectivo de la herramienta es demasiado pequeño, la película de lubricante tiende a ser más gruesa sobre este tapón que sobre una matriz real y, por lo tanto, la fricción es menor.

Si el coeficiente de fricción se puede deducir a partir de un cambio de forma, la tensión de fluencia no entra en la deducción, siempre que el material sea homogéneo y no haya grandes gradientes de temperatura. Por lo tanto, estos métodos son en principio adecuados para metales que se deforman rápidamente o para el conformado en caliente con velocidades de deformación grandes. Hill ha propuesto un método en el cual una lámina rectangular plana, cuya longitud b es mayor de diez veces la anchura a, se comprime entre plataformas planas en voladizo. La fricción influye sobre la extensión en las dos direcciones principales, y se puede deducir una relación simple entre el coeficiente de fricción y el cambio de forma. Sin embargo, el ensayo es insensible para coeficientes que sobrepasen el 0.05. Estos valores normalmente se encuentran sólo cuando existe una apreciable contribución hidrodinámica para la lubricación y, en consecuencia, dependen de la geometría y de la velocidad. Por lo tanto, no cabe esperar una correlación general entre los resultados de este ensayo y la mayoría de los procesos de deformación.

Otro ensayo, sugerido por Kudo y Kunogi y desarrollado por Cockcroft y Male utiliza la compresión axial de un anillo entre plataformas planas. Si no existe fricción, el anillo se deforma exactamente de la misma manera que un disco, incrementando los diámetros tanto exterior como interior proporcionalmente con su distancia al centro. Cuando existe una fricción finita, la periferia exterior está sometida a una restricción mayor que la periferia interna más corta, y con un rozamiento suficientemente grande es energicamente favorable

para que exista una deformación radial hacia el interior, de manera que disminuya el diámetro interno. De esta manera, midiendo la relación de los diámetros externo e interno después de la compresión axial de un anillo de dimensiones normalizadas, es posible obtener una medida del rozamiento. Con una calibración adecuada, el ensayo puede dar valores numéricos de  $\mu$ .

### 2.2.5.-Los elementos de la teoría de la fricción.

Para comprender la lubricación se requiere algún conocimiento de la naturaleza y las causas de la fricción. El método más completo para resolver los problemas generales del rozamiento es el de Bowden y Tabor y sus colaboradores, basado en la observación de que las superficies reales de los metales no son lisas. Cuando dos de estas superficies se ponen en contacto bajo una carga ligera, se tocan solamente en algunas asperezas relativamente aisladas de la superficie. La presión local en estos contactos diminutos será muy elevada, y de hecho se ha visto que es suficientemente grande como para provocar la deformación plástica. A medida que la carga se incrementa, aumenta la extensión de estos contactos apareciendo otros nuevos. Si suponemos que el valor medio de las tensiones de fluencia de todos los puntos de contacto en un instante dado, y bajo una carga  $W$ , es  $p$ , entonces la suma de las áreas proyectadas de todos los puntos de contacto vendrá dada por

$$\Sigma(A)(p) = W \quad (9)$$

En la formulación original se postuló que, cuando se utilicen probetas de metal sin lubricar, podría tener lugar una soldadura en frío, y que las uniones soldadas así formadas tendrían una resistencia media a los esfuerzos cortantes ( $s$ ) aproximadamente igual a la resistencia a la cizalladura del metal. Entonces la resistencia de fricción resulta de la fuerza  $\bar{F}$  que se requiere para cizallar estas uniones.

$$\Sigma(A)(s) = F \quad (10)$$

Puesto que  $s$  y  $p$  están relacionadas con la tensión de fluencia por cizallamiento  $k$  del metal, esto indica, de una manera inmediata, que  $F$  es proporcional a  $W$ , de manera que el coeficiente de rozamiento  $\mu$  se puede definir como:

$$\mu = F/W = s/p = \text{constante} \quad (11)$$

Este sencillo planteamiento no tiene en cuenta la interacción que existe entre la tensión tangencial y la tensión normal según el criterio de fluencia. Si se aplica el criterio de Von Mises a este tipo de unión por fricción, el resultado se modifica. Puesto que la unión se deforma plásticamente por la aplicación inicial de la carga en una dirección normal a la interfase, al aplicar una tensión tangencial adicional, por pequeña que sea, se producirá una deformación adicional. Esta fluencia del material hace que las probetas se acerquen más, aumentando la superficie de contacto. Por lo tanto, si la carga permanece constante, la presión normal se reduce, pero aumenta la fuerza tangencial que puede ser soportada. De este modo el proceso continúa; un incremento de la fuerza tangencial produce un incremento de la superficie de contacto y una unión más resistente. La carga  $W$  no varía, pero la fuerza tangencial  $F$  puede llegar a valores muy elevados. La relación  $F/W$ , que no es estrictamente ya un coeficiente de rozamiento puesto que  $F$  y  $W$  no están directamente relacionadas, puede llegar a valores muy elevados, entre 10 y 100.

Puesto que la superficie de contacto metálico aumenta, la resistencia de este tipo de unión también puede ser muy elevada si está sometida a una tracción normal a la superficie. Estos efectos se pueden seguir con superficies metálicas muy limpias, que demuestran la realidad de la soldadura de la superficie en frío. Para romper estas uniones se puede necesitar grandes fuerzas, hasta diez veces la carga original. Sin embargo, cantidades muy pequeñas de contaminante de la superficie pueden reducir drásticamente la resistencia al cizallamiento de la interfase, y el crecimiento de la unión termina en una etapa anticipada. El análisis detallado muestra que, si la resistencia a la cizalladura efectiva  $St$  de la interfase es menor que  $0.2k$ , el crecimiento de la unión es despreciable. El coeficiente de fricción viene entonces dado por la relación entre la resistencia a la cizalladura de la interfase y la presión de fluencia del metal.

$$\mu = St/p \quad (12)$$

Esta expresión se parece a la ecuación anterior, pero en la mayor parte de las condiciones prácticas  $St$  es predominantemente la resistencia a la cizalladura de la película superficial o del lubricante. Puede haber regiones locales donde la película sea demasiado delgada para proteger el metal, y tenga lugar su soldadura en frío, lo cual no influye de modo apreciable en la fricción, pero puede ser muy importante en la indicación de la adherencia. Este sencillo modelo de fricción es bastante informativo y proporciona resultados en concordancia con

muchas experiencias generales; pero cuando una probeta se deforma en más de un pequeño tanto por ciento, como en todas las operaciones de conformado de metales, se debe modificar el concepto de los contactos locales superficiales. Si las superficies no están lubricadas, los contactos comienzan localmente, pero después de una deformación que en conjunto suponga un pequeño porcentaje existe una conformidad geométrica bastante completa entre las superficies. Entonces el perfil de la interfase está determinado totalmente por el contorno de la herramienta de material duro. Cualquier depresión de la herramienta será rellenada por el metal de la pieza relativamente más blando, y los salientes así formados se romperán durante el siguiente movimiento tangencial. Siempre que las superficies estén suficientemente contaminadas para evitar la adherencia, este metal transferido aparecerá como pérdidas o desechos y no será perjudicial. Realmente el alisamiento que tiene lugar en la superficie de la herramienta puede disminuir ligeramente la fricción. Los lubricantes pueden quedar atrapados en estas depresiones y, de acuerdo con su compresibilidad, tienden a evitar que la pieza se acuñe en ellas, de manera que la transferencia de material se reduce considerablemente. Los lubricantes también pueden quedar atrapados en las cavidades del metal blando. A medida que éstas se comprimen después de penetrar en la zona de trabajo, el lubricante se extrae de manera continua exactamente donde se necesita durante la deformación. Esto puede ser muy útil para proporcionar una fuente continua de lubricante. De este modo la rugosidad controlada de la superficie puede ser conveniente en el conformado de metales, aunque también puede ser peligrosa bajo cargas ligeras a causa de la penetración local de la película de lubricante delgada. Tanto en una deformación pequeña como grande, el peligro de transferencia adhesiva de material aumenta cuando ambas superficies son muy lisas, ya que la acción erosiva del deslizamiento hace difícil que se mantengan intactas las películas de lubricante en las grandes zonas lisas que estén en estrecho contacto. Aun cuando la transferencia de contacto no puede incrementarse, de manera que el coeficiente de fricción aparente está limitado al valor de fricción de adherencia y no puede llegar a los grandes valores observados bajo cargas ligeras. La fricción de adherencia puede surgir de la interacción mecánica o de la interacción de películas resistentes, tales como óxidos, y no implica necesariamente una transferencia adhesiva.

Otro factor que es importante en la lubricación es la temperatura de la superficie. El trabajo necesario para vencer la fricción se genera en una capa muy delgada, muy rápidamente, de manera que la temperatura de la interfase aumentará hasta un punto que dependerá de la fricción y de la conductividad térmica de los materiales. Si el contacto bajo carga se restringe aún más, como bajo cargas ligeras o donde el lubricante se rompe localmente, el aumento transitorio de temperatura debido a la deformación de una unión rugosa puede ser realmente muy grande. Los valores típicos dados por Bowden y Tabor son 300 °C para 300 cm/s ( 600 ft/min) y 1000 °C para 1000 cm/s ( 2000 ft/min) registrados mediante un osciloscopio. En la mayor parte del conformado de metales, la superficie de contacto es más uniforme debido a la gran deformación de la pieza, de manera que para las mismas velocidades cabe esperar temperaturas más bajas. Muchas operaciones se realizan a velocidades relativamente pequeñas, de manera que lo más probable es que el problema del aumento extremo de la temperatura sea poco grave. Sin embargo, habrá siempre un aumento adicional de temperatura debido al calor generado por la deformación dentro del metal, que puede tener, o no, tiempo de difundirse a la superficie durante el paso de la herramienta. En la práctica, no existe una gran relación entre temperatura y la velocidad en el intervalo más bajo de velocidades. Sin embargo, para velocidades moderadas, tales como 100 ft/min ( 50 cm/s), se pueden alcanzar temperaturas superficiales de 200°C. Muchos lubricantes orgánicos empiezan a fallar si se mantienen durante un tiempo apreciable temperaturas de este orden.

## 2.3.EFECTO DE LA DEFORMACION EN FRIO MICROESTRUCTURA.

### 2.3.1.- Influencia de los constituyentes metalográficos en el acero.

Las propiedades mecánicas son básicamente una función de la microestructura y, está se refiere al tamaño, forma y constitución de los granos que lo componen:

- Grano pequeño: (tamaño 7-10 ASTM). Aumenta la dureza, el límite elástico, la resistencia a la tracción, a la fatiga y al impacto. El efecto del tamaño de grano es mayor sobre las propiedades que se encuentran relacionadas con las primeras etapas de deformación.

- Grano grueso: (tamaño 1-4 ASTM). Disminuyen todas las propiedades antes mencionadas. Por lo tanto, al efectuar el trefilado de acero al carbono, las afecciones en sus características mecánicas pueden atribuirse en cierta proporción a los cambios ocurridos en su estructura granular. La figura No (2.5) muestra la deformación que sufren los granos del metal en el trefilado.

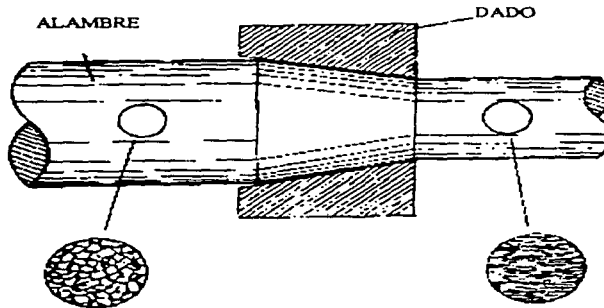


Figura No( 2.5) Efecto de la deformación en frío sobre los granos del material en el estirado de alambre.

(Tomada de: Metal Forming Processes and Analysis (22).)



Conforme aumenta la reducción en la sección y longitud del material, es más difícil localizar los límites de grano, cambiando aún más sus propiedades mecánicas.

El efecto del estirado en el material, limita su aplicación a un número bajo de reducciones, ya que el aumento en dureza, resistencia a la tracción y pérdida en ductilidad puede ocasionar la rotura de éste, si se intenta disminuir su diámetro en mayor proporción.

El efecto de endurecimiento y aumento en resistencia mecánica del acero se había analizado hasta ahora como una función del contenido de carbono, sin embargo, encierra conceptos un poco más elaborados que deben ser tratados desde el punto de vista de la Metalurgia Física.

De acuerdo con los estudios realizados hasta la fecha, la mayoría de los autores coinciden en que el endurecimiento por deformación de un material es causado en primer lugar por el deslizamiento de sus planos atómicos.

"Bajo una deformación, el metal adquiere un nuevo límite elástico más elevado que el inicial. Tiene lugar una deformación general por deslizamiento, resbalamiento e histéresis elástica ulterior, el metal en las proximidades de los planos de deslizamiento sufre una acritud; o sea, no hay deslizamiento ulterior, sólo si el esfuerzo aplicado aumenta". (5).

Una segunda teoría, que ha tenido mayor aceptación y complementa la anterior, es aquella en que la acritud es producida por un desplazamiento de dislocaciones. Un par de dislocaciones en movimiento genera centenares y centenares de nuevas dislocaciones, como resultado, la densidad de dislocaciones aumenta, ocasionando un endurecimiento y aumento en resistencia a la tracción.

Una dislocación es una imperfección cristalina que representa el límite entre zonas deslizadas y sin deslizar (7).

"En muestras policristalinas, la interferencia mutua de muchos planos de deslizamiento que se cortan entre sí, produce endurecimiento por acritud. El incremento progresivo de la resistencia al aumentar la deformación, se debe a la interacción de las dislocaciones en los planos de deslizamiento que se cortan" (8).



Paso. 2



Paso. 10

Fotomicroestructura acero 1035, nital 3 ,(400X). Nos presenta una deformación total del grano, generada por el deslizamiento de las placas cristalinas de los límites de grano.  
(Tomada de: Muestras originales del trefilado. Instituto politécnico nacional. 1996)

Este enunciado confirma lo citado anteriormente: ambas teorías se complementan.

**Ferrita - Perlita.**- Es la estructura más común de una gran cantidad de aceros comerciales, en su condición de recocido o normalizado. Las propiedades de un acero de este tipo dependen directamente de la cantidad de cada una de las fases presentes: la ferrita proporciona ductilidad al acero y la perlita resistencia.

La resistencia depende del espaciamiento interlaminar de la perlita (11) (12). Es factible incluso calcular la resistencia a la tracción de un acero que ha sido sometido a patentado (tratamiento térmico muy empleado en la industria del alambre), conociendo la temperatura de transformación a la que se ha efectuado el tratamiento, el espaciamiento interlaminar de la perlita y el porcentaje de carbono del acero. Es importante mencionar que de acuerdo a observaciones realizadas por Cazaud (5), las figuras de fatiga siguen preferentemente a la ferrita en aceros cuya estructura está formada por ferrita y perlita.

### **2.3.2.- Efecto generales de las inclusiones.**

**Inclusión.-** Este término se emplea generalmente para denominar a los materiales no metálicos que se encuentran en una matriz sólida metálica, tales como: óxidos, silicatos, sulfuros, nitruros, etc.

Las inclusiones se originan durante el proceso de fabricación del acero, pueden ser el producto de la reacción de elementos contenidos en el metal mismo o por descascaramiento del refractario en que se fabricó el material.

Diversos autores (5) (6) (7) (13), coinciden en opinar que su presencia no es benéfica, sino por el contrario, ocasionan la formación de grietas, comprobándose que ayudan a la propagación de las mismas (5).

En aceros de bajo carbono, como los materiales motivo de este estudio, las inclusiones que generalmente hacen su aparición son: óxidos, silicatos y sulfuros. Es importante recordar que la influencia principal del azufre en los aceros, es la de formar sulfuros de hierro que provocan fragilidad en caliente del material.

La introducción de manganeso en el acero hace que disminuya ésta, promoviéndose la formación de sulfuros de manganeso como inclusiones en forma de lentejas, capaces de deformar plásticamente al someterse a la acción de fuerzas exteriores, principalmente en caliente.

Los óxidos son frágiles y sometidos a la acción de las fuerzas mecánicas se desmenuzan y sitúan formando filas (6), disminuyendo las propiedades mecánicas del material. Sirven además como centros de cristalización formando una estructura de ferrita y perlita (6). Esta estructura provoca Anisotropía, una desigualdad en las propiedades del material en sus direcciones transversal y longitudinal. La principal influencia que puede existir en el trefilado, es la actuación de esta estructura de manera semejante a una zona deformada por efecto de trabajo en frío, inesperadamente puede ocurrir una concentración de esfuerzos y por lo tanto una falla.

**Esta situación puede prevenirse si la materia prima se somete a un control metalográfico, análisis químico cuantitativo y determinación de propiedades mecánicas muy estricto.**

## **CAPITULO TRES**

# **PROCESO DE FOSFATADO** **DEL ALAMBRE**

### **3.1 PROCESO DE FOSFATADO DEL ALAMBRE.**

#### **3.1.1.-Proceso de recubrimiento por fosfatos.**

La selección del tipo de recubrimiento necesario, del método de aplicación y del equipo mejor apropiado para manejar la clase y cantidad de producto requerido es un gran problema para el ingeniero de producción.

El término recubrimiento con fosfato según se emplea se refiere a capas adherentes a la superficie que consisten principalmente de fosfatos metálicos insolubles producidos sobre superficies metálicas por la acción de reactivos apropiados. Tales recubrimientos afectan la apariencia, potencial electroquímico, resistencia eléctrica, dureza de la superficie, capacidad de absorción y otras propiedades de la superficie.

La acción de los reactivos para el recubrimiento con fosfato puede ser, aunque usualmente no, ayudada por una corriente eléctrica. La corriente continua, invertida periódicamente, y la corriente alterna han sido utilizadas en tales procesos.

La formación de las películas fosfáticas es, en principio, un procedimiento para obtener una película protectora sobre las superficies de hierro o acero. Consiste en tratar las piezas con una solución compuesta por ácido fosfórico y algunas de sus sales, de la que precipitan una fina película cristalina, compuesta por fosfatos metálicos que queda perfectamente adherida al metal base y posee un elevado poder protector.

#### **3.1.2.-Recubrimientos de fosfatos cristalino.**

Los recubrimientos de fosfatos cristalinos tanto pesados como ligeros se forman sobre superficies compuestas de hierro, cinc, cadmio, o aluminio, o de sus aleaciones por reacción del metal de la superficie con soluciones ácidas de fosfatos metálicos. Estas pueden ser consideradas más sencillamente como soluciones de fosfatos secundarias o terciarias que son muy ligeramente solubles en agua pero que lo son mucho más en ácido. Aunque pueden estar presentes otros aniones como aceleradores o para otros propósitos especiales, el solvente ácido puede ser considerado como ácido fosfórico.

Tales recubrimientos cristalinos han sido producidos conteniendo fosfatos o una variedad de metales tales como calcio, estroncio, hierro, cinc, manganeso, cadmio y cromo.

Sin embargo, comercialmente los recubrimientos de fosfato cristalino contienen usualmente fosfatos de cinc, hierro, manganeso, calcio o mezclas de éstos. Las soluciones utilizadas para producirlos contienen generalmente fosfatos de cinc o de manganeso como sus principales fosfatos de recubrimiento metálico. A menudo contienen otras sales solubles distintas a los recubrimientos metálicos y una variedad de soluciones que contienen o no cantidades considerables de fosfato metálico alcalino.

El hierro que aparece de ordinario en el recubrimiento se deriva por lo común de la misma superficie tratada; sin embargo, el hierro ferroso ha sido añadido como un acelerador para las soluciones de fosfato de cinc empleadas para recubrir superficies de cinc. En cualquier caso puede decirse que la reacción de la solución de recubrimiento con la superficie a recubrir da como resultado una reducción de la acidez de las capas de solución adyacentes a la superficie. Esta reducción ocasiona una disminución de la solubilidad del fosfato disuelto en agua seguida por la cristalización de parte del mismo sobre la superficie del metal. Cuando las condiciones de operación son correctas, el fosfato depositado es adherente y puede hacerse que el recubrimiento cubra toda la superficie con sólo una muy pequeña porosidad residual. Debido a que el primer paso en este proceso topoquímico es un ataque de la solución ácida sobre la superficie del metal, el recubrimiento producido contiene invariablemente una proporción sustancial de fosfato del metal tratado. Esta proporción varía con la composición de la solución de tratamiento y hasta cierto punto con los detalles del proceso. En el caso de soluciones de fosfatos alcalinos o de amonio empleados para producir recubrimientos sobre superficies de acero, el metal de la superficie es casi de hierro.



Fotografía. Microscopio electrónico de barrido .15KV,2001X. Muestra la formación de cristales de fosfato en la superficie del metal. (Tomada de muestra original del proceso de fosfatado, Instituto Politécnico Nacional, ESIQIE, Unidad Zacatenco 1996)

### 3.1.3.-Propiedades generales y métodos de aplicación de los fosfatos.

Los recubrimientos de fosfato como recubrimientos de "conversión" (en oposición, por ejemplo, a los recubrimientos electrodepositados) han sido producidos por la aplicación de soluciones apropiadas a las superficies a tratar por casi cualquier medio, conveniente, por ejemplo, por cepillado, aspersión a mano, inmersión, flujo y aspersores mecanizados con recirculación de la solución.

Las aplicaciones más importantes de los recubrimientos a base de fosfato hasta la fecha son los siguientes:

- a) Como base para pintar sobre hierro, cinc, cadmio, aluminio y sus aleaciones comerciales.
- b) Anticorrosivos para el hierro, acero, o aluminio sin pintar, con o sin la ayuda de aceites o ceras preventivas de la corrosión.
- c) Mejoramiento de las superficies de fricción de los metales ferrosos.

d) **Mejoramiento en calidad o economía de la deformación mecánica en frío del acero como un paso en su manufactura (tales operaciones incluyen el embutido en frío, la extrusión en frío, el estampado en matriz, el conformado en frío).**

### **3.1.4.- Preparación del material para el fosfatado.**

#### **A) Desengrasado.**

a) El desengrasado por vapor es aplicable en general para la remoción de grasa. No requiere enjuagado posterior. Sin embargo, es bastante costoso comparado con la limpieza alcalina. En ciertos casos la suciedad sólida finamente dividida no será eliminada por este proceso.

b) La limpieza ácida se hace en varias formas.

Tales limpiadores se usan por ejemplo:

i) Para quitar la herrumbre a grandes estructuras en operación de mano por cepillado, aspersión por pistola, o por aplicación de flujo.

ii) Como operación eliminadora del enmohecimiento en grandes subensambles tales como partes para automóviles y refrigeradores antes que éstas entren al ciclo de recubrimiento por fosfato apropiado.

#### **B) Enjuagado después de la limpieza.**

Generalmente esto se hace en agua corriente. La temperatura no es crítica, pero el enjuagado en agua caliente ayuda a la limpieza y puede hacer un procedimiento de limpieza pasable bajo ciertas condiciones.

#### **C) Decapado.**

El decapado remueve la cascarilla, óxidos gruesos, enmohecimientos, o productos de la corrosión si los hubiese. Siempre que se pueda, es económico separar por completo de los aparatos de recubrimiento por fosfatos la remoción de la cascarilla u operaciones análogas. Los ácidos minerales fuertemente diluidos tales como el ácido sulfúrico, ácido clorhídrico, etc., los cuales pueden estar calientes. En los procesos por inmersión la solución decapadora **está de ordinario entre 140 y 180 °F (60 y 82°C)**, el tiempo para el decapado puede variar



entre 2 y 10 min, comúnmente es entre 3 y 5 min. Se sugieren pruebas reales sobre el material a tratar antes de decidir sobre el ciclo a seguir.

En el decapado con ácido sulfúrico las concentraciones son del 5 al 15% en volumen de ácido sulfúrico, las temperaturas son desde 120 hasta 160 °F (49-71 °C).

#### D) Enjuagado después del decapado

En los procesos de inmersión que utilizan decapado por ácido fosfórico, el enjuagado requiere una operación en frío, con agua corriente y limpia. El tiempo de enjuagado es de 1 min. En los procesos por aspersión 30 seg pueden ser suficiente. Sin embargo, a menos que siga un pretratamiento para la refinación de grano, el enjuagado debe ser completo.

#### E) Pretratamiento para el refinado de grano.

Este tratamiento puede ser requerido si se desease una estructura de grano fino especial en el recubrimiento de fosfato. No se requiere de ordinario sobre superficies de acero a menos de que se haya empleado decapado o limpieza ácida. El tratamiento puede resultar en un recubrimiento más rápido y uniforme sobre acero galvanizado o superficies de acero decapadas. Se dispone de dos clases de pretratamiento para el refinamiento de grano, que son, una que usa una solución alcalina y otra que emplea una solución ácida. Ambas se emplean a temperatura ambiente, y el tiempo de aplicación no necesita ser mayor de 30 seg.

#### F) Enjuagado después del tratamiento para el refinamiento de grano.

Se requiere de agua fría para el enjuagado. Para el proceso por inmersión se requiere de 0.5 a 1.0 min; en el proceso por aspersión 0.5 min es suficiente.

#### G) Recubrimiento de fosfato apropiado.

En el proceso se llevan a cabo las siguientes reacciones:

- Disolución del metal.
- El metal disuelto se combina con uno o más de los componentes de la solución.

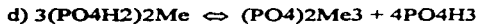
- Cristalización sobre la superficie del metal de una película de fosfatos, la cual se produce al sobrepasarse el producto de solubilidad de aquellos, en la fina película líquida en contacto con el metal.

En todos los baños de fosfatar existe cierta cantidad de ácido fosfórico libre que a la temperatura de trabajo del baño reacciona con la superficie del metal de acuerdo con la siguiente reacción:



Dando origen a la formación de fosfato biácido ferroso soluble en el baño, al desprenderse de hidrógeno y a la neutralización de parte del ácido fosfórico libre existente en la interfase líquido-metal.

Los fosfatos biácidos de hierro, zinc y manganeso se hidrolizan fácilmente en sus soluciones acuosas según las siguientes ecuaciones, en las que el Me representa un metal divalente:



La neutralización en la ecuación (a) del ácido fosfórico libre, produce la iniciación de las reacciones (b), (c) y (d) en las que se libera ácido fosfórico, el cual ha su vez reacciona rápidamente con la superficie del metal según la ecuación (a).

El equilibrio de estas tres últimas ecuaciones se desplaza hacia la derecha al consumirse el ácido fosfórico en el tanque y los fosfatos neutros insolubles precipitan sobre la superficie del metal una vez sobrepasado su producto de solubilidad en la película de la interfase

**H) Enjuagado** inmediatamente después del recubrimiento por fosfatos.

Para los procesos de inmersión es satisfactorio un derrame de agua fría con duración de 0.5 a 1.0 min. En procesos de aspersion continua es suficiente 0.5 min.

**I) Enjuagado de acondicionamiento.**

Las superficies que son fosfatadas como parte de un acabado retardador de la corrosión, tanto si van a permanecer desnudas, como si reciben pintura u otro acabado suplementario invariablemente reciben un acabado de acondicionamiento en una solución muy diluida conteniendo de ordinario ácido crómico o ácido fosfórico para lograr un efecto

anticorrosivo adicional y reducir el efecto nocivo de las materias solubles residuales, las cuales pueden estimular el avejigamiento de la pintura, herrumbre, etc.

Este tratamiento puede ser omitido sobre superficies que han sido fosfatadas como una ayuda para el trefilado o conformado. Puesto que tales superficies se sumergen con frecuencia en jabón o emulsiones jabonosas de grasa como lubricantes, el enjuagado de acondicionamiento final puede consistir de un álcali muy diluido más una sal retardadora de la corrosión.

#### J) Secado del recubrimiento y enjuagado de las superficies.

En los procesos mecanizados esta operación se realiza generalmente por medio de una estufa de aire caliente. Las temperaturas de la estufa pueden ser tan altas como 350°F (176 °C), pero no hay ventaja en temperaturas más elevadas que la necesaria para secar las superficies completamente en un periodo de 3 a 5 min.

#### K) Recubrimiento suplementario.

Entre los materiales aplicados con frecuencia como recubrimientos suplementarios para protección contra la corrosión se encuentran los aceites llamados subproductos de petróleo, aceite solubles y ceras. La aplicación es de ordinario por inmersión; para láminas planas u hojas continuas deben usarse rodillos recubridores.

#### L) Pintado.

El pintado, laqueado y procedimiento parecidos se pueden aplicar a las superficies por cualquiera de los métodos usuales de pintar.

#### Proceso de inmersión.

Un proceso de inmersión es en el que las piezas a recubrir se sumergen en forma sucesiva por intervalos apropiados en una serie de tanques de procesado.

**Aplicación.** Los procesos de inmersión se aplican:

- a) Para producir recubrimientos gruesos de fosfato.

**b) Para producir recubrimientos de fosfato de ligeros a medianos como base para pintura cuando:**

**i) la escala de producción es relativamente pequeña.**

**ii) la forma de las partes hace que las superficies importantes sean inaccesibles a la aspersión.**

**iii) las piezas sean demasiado pequeñas para permitir su manejo o colocación individual.**

**a) Los recubrimientos gruesos de fosfato se aplican en disoluciones de 195 a 210 °F (90 a 100°C); los tiempos para el recubrimiento van desde 10 a 40 min haciendo así impracticable la aspersión.**

**b) Los recubrimientos ligeros para base de pintura pueden aplicarse por inmersión o por aspersión.**

**Proceso de aspersión con recirculación de la solución.**

**Aplicaciones:**

**El proceso de aspersión se aplica:**

**a) Para producir recubrimientos con peso ligero o mediano para base de pintura o como ayuda para deformación mecánica.**

**b) Sobre superficies de hierro, acero, cinc, cadmio, o aluminio.**

**c) Cuando la escala de producción es relativamente grande (al menos 2000 pies<sup>2</sup> de superficie tratada por hora).**

**d) Cuando todas las superficies importantes pueden ser alcanzadas por la solución proyectada por las boquillas.**

**e) Cuando las piezas a tratar tienden por sí mismas a quedar fácilmente colgadas sobre ganchos individuales o soportes apropiados.**

# **CAPITULO CUATRO**

## **DESARROLLO** **EXPERIMENTAL**

## DESARROLLO EXPERIMENTAL.

### 4.1.- Realización del proceso de trefilado:

En este trabajo se realizó el trefilado de alambre de acero en un trefilador de un solo dado, marca Farmer-Norton, del tipo de embobinador.

Los alambres de aceros bajo carbono son: AISI 1007, 1035 y 1050.

Análisis químico de los aceros.

#### ACERO AISI 1007:

%C 0.070, %Mn 0.036, %S 0.010, %Si 0.090, %Cu 0.050, %Ni 0.040, %Cr 0.040, %Sn 0.010, %Mo 0.007, %Va 0.000, %Al 0.004, %CEQ 0.00.

#### ACERO AISI 1035:

%C 0.32 a 0.38, %Mn 0.60 a 0.90, %P máx 0.040, %S máx 0.050.

#### ACERO AISI 1050:

%C 0.500, %Mn 0.686, %P 0.009, %Si 0.210, %Cu 0.040, %Ni 0.030, %Cr 0.026, %Sn 0.006, %Mo 0.010, %Va 0.001, %Al 0.005, %CEQ 0.00.

Empleando tres lubricantes diferentes: estearato de sodio, jabón sódico y jabón soap lube.

Se trefilará con dados de carburo de tungsteno con un semi-ángulo de 5, 6,5 y 10° respectivamente.

Se cortarán tramos 4 metros de longitud de cada acero para el proceso de trefilado, teniendo una secuencia de 12 pasos (el diámetro tendrá decrementos de 0.4 mm por paso), de cada paso se cortarán tramos de 60 cm de longitud para realizar ensayo de tracción

- Preparación superficial del alambre: desengrasado, lijado, decapado y fosfatado.

**Desengrasado:** Acetona.

**Lijado:** Lija #320

**Decapado:** Ácido sulfúrico, en una relación 1:1 con agua., a una temperatura de 70°C.

Los tiempos de decapado para cada acero fueron los siguientes:

**acero 1007** 20 minutos.

**acero 1035** 15 minutos.

**acero 1050** 10 minutos.

Posteriormente se sumergieron los tramos de alambre en agua y en el neutralizante (NaOH).

**Fosfatado:** Preparación de la solución de fosfatado.

Se empleo 40 gramos de sulfato de zinc ( $ZnSO_4$ ) por 7 porciones de agua ( $H_2O$ ) empleando como catalizador nitrato de sodio ( $NaNO_2$ ) 5 gramos.

La solución se llevó a una temperatura de  $50^\circ C$  en la cual se sumergieron las muestras.

Los tiempos de fosfatado para cada acero fueron los siguientes:

acero 1007 25 minutos.

acero 1035 20 minutos.

acero 1050 15 minutos.

Posteriormente se sumergieron los tramos de alambre en agua y en el neutralizante (NaOH).

Después del fosfatado se secaron los tramos de alambre en una estufa a  $70^\circ C$  de temperatura.

-Punteado y deformación secuencial del alambre (12 secuencias diferentes de pasos para cada alambre).

Introducir cada alambre en la máquina punteadora, obteniendo una punta de 30 cm, mínimo.

- Toma de muestra en cada paso de trefilado por cada secuencia y medición del diámetro.

Las tramos de muestras tendrán una longitud de 60 cm de largo.

#### 4.2.- Ensayo de tracción de las muestras: Bajo norma ASTM A-370

Se empleara un extensómetro con escala calibrada de 8 pulgadas.

Maquina Tinius Olsen de 30 toneladas de capacidad máxima.

**Definiciones:**

**Alargamiento.**

Es el aumento en la longitud calibrada en una probeta después de la prueba de tensión, que comúnmente se expresa en porcentaje de la longitud calibrada inicial.

**Límite elástico.**

Es el mayor esfuerzo que un material es capaz de soportar sin presentar una deformación permanente, después de que se ha eliminado totalmente el esfuerzo aplicado.

**Límite de fluencia.**

Es el primer esfuerzo detectable, en el que ocurre un aumento en la deformación, sin que se acuse un aumento en el esfuerzo.

**Longitud calibrada.**

Es la longitud inicial de la parte de una probeta sobre la que se determina la deformación unitaria o el cambio de longitud y el alargamiento.

**Reducción de área.**

Es la diferencia entre la sección transversal inicial de una probeta de tensión y el área de su sección transversal mínima después de la prueba. La reducción de área se expresa usualmente como un porcentaje de la sección transversal inicial de la probeta.

**Resistencia a la tensión.**

Es el máximo de tensión que un material es capaz de soportar, se determina con la carga máxima en una prueba de tensión llevada hasta la ruptura y con el área de la sección transversal original de la probeta. Se expresa en Newtons ( $\text{kgf/mm}^2$ ).

**Resistencia de fluencia.**

Es el esfuerzo al cual un material exhibe unos límite especificados de desviación de la proporcionalidad del esfuerzo a la deformación:

La desviación se expresa en términos de deformación, usualmente.

La resistencia de fluencia se puede determinar por:

El método de la deformación permanente especificada (offset) generalmente se considera una deformación unitaria de 0.2%.

**Probetas para alambre.**

Deben usarse probetas que tengan la sección transversal completa del alambre que presenten. La longitud calibrada normal para estas probetas debe ser de 254.0 mm. Sin embargo, si no se requiere determinar los valores de alargamiento se permite usar otra longitud. La longitud total de la probeta debe ser cuando menos igual a la longitud calibrada más el doble de la longitud requerida por las mordazas para sujetar el alambre. Dependiendo del tipo de la máquina y de las mordazas empleadas, la longitud mínima total de la probeta variará de 360 a 610 mm.



Las mordazas deben sujetarse a la máquina con las mordazas tipo cuña o de tambor, los cuales se muestran en las figuras 1 y 2.

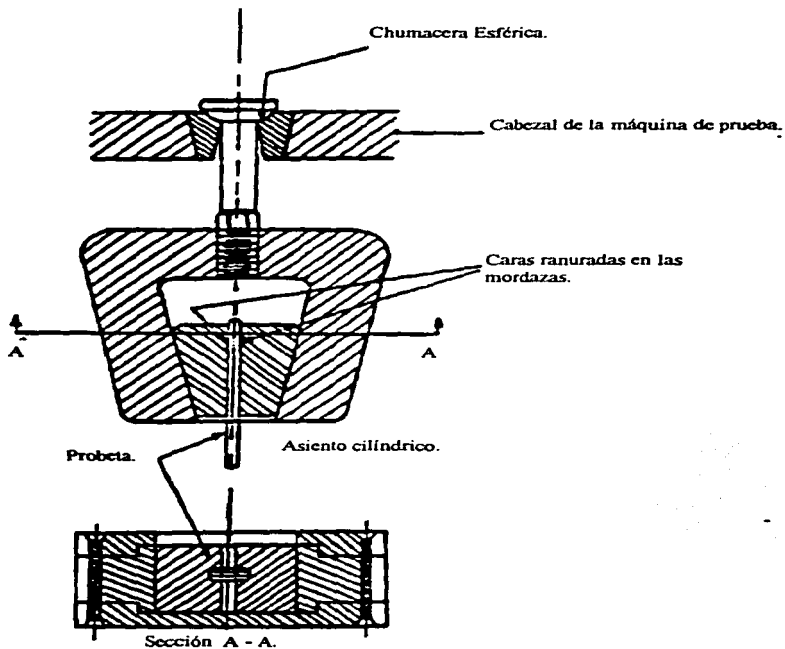


Figura No .4.1- Mordazas de cuña.

(Tomada de:Metodos de prueba a la tensión para productos de acero.ASTM.1981.(23))

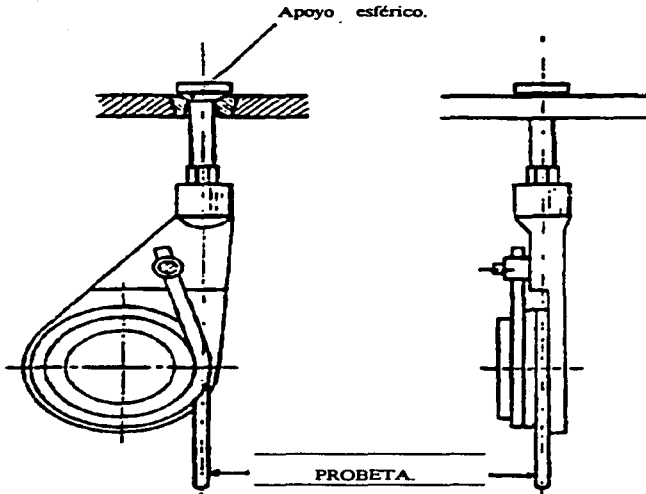


Figura No 4.2.- Dispositivo de tambor para prueba de alambres.  
(Tomada de: Métodos de prueba a la tensión para productos de acero-ASTM.1981.(23))

- **Determinación de parámetros de resistencia en las muestras trefiladas y en muestras sin trefilar. (Esfuerzo de cedencia y esfuerzo máximo)**
- **Calculo de la curva esfuerzo-deformación.**
- **Porcentaje de elongación y reducción de área para cada muestra.**

**4.3.- Determinación del esfuerzo de trefilado por el método del límite superior para cada acero en cada paso.**

**4.4.- Selección del ángulo de trefilado óptimo:**

- Análisis de acuerdo al esfuerzo de trefilado.
- Análisis de acuerdo a la microestructura.

**4.5.- Análisis metalográfico de las muestras.**

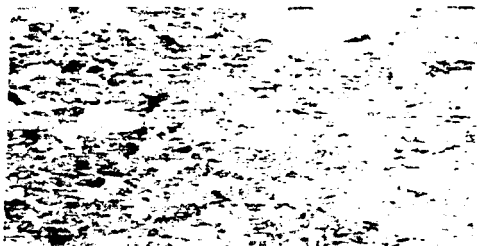
- Preparación metalografica de muestras.
- Análisis de microestructura.

**4.6.- Análisis del coefeciente de endurecimiento por trabajo**

- Análisis de acuerdo al límite elástico y deformación real.
- Interpretación del endurecimiento con respecto a : Las pendientes obtenidas en las gráficas de endurecimiento por deformación y las fotomicroestructuras propias del proceso.

**4.7.- Determinación del gradiente de deformación (Metodo de Heyn).**

**LAS FOTOGRAFIAS PRESENTAN UNA SECUENCIA DE TREFILADO DEL ACERO  
1050, CON UN ANGULO DE 10°**



**Ataque Nital 3  
Paso.No 1  
Tomada en el centro**



**Ataque Nital 3  
Paso.No 3  
Tomada en el centro**



**Ataque Nital 3  
Paso. No.6  
Tomada en el centro.**



**Ataque Nital 3  
Paso.No 9  
Tomada en el centro**

# **CAPITULO CINCO**

## **MECANISMOS DE** **TREFILADO**

## MECANISMO DE TREFILADO.

### 5.1.- Determinación del esfuerzo de trefilado por el método del límite superior.

Las operaciones de trefilado de alambre, extrusión de varilla, extrusión hidrostática, hidrodinámica y estirado de tubo son todas ellas efectuadas con dados similares. Se suponen patrones de flujo idénticos en el estudio analítico de estos procesos diversos. Un alambre, o una varrilla, de radio inicial  $R_0$  es empujado (extruido) o jalado (trefilado) a través de una porción cónica de un dado, el alambre se deforma plásticamente y disminuye de diámetro: La parte cilíndrica del dado causa pérdida adicional por fricción, pero es necesaria para la estabilidad dimensional del producto de radio final  $R_f$  y debido a la práctica de manufactura del dado. Por el método del límite superior se puede calcular la potencia necesaria para efectuar el trefilado para el caso de un factor de corte por fricción constante. También se puede determinar por este método las expresiones para calcular el esfuerzo de tracción para el trefilado.

El campo de velocidades y el teorema del límite superior, se hace la suposición que el dado es un cuerpo rígido de la geometría mostrada en la Fig.5.1. Se describe en la Fig.5.2 un campo de velocidad cinemática admisible. Se divide el alambre en tres regiones en las cuales el campo de velocidades es continuo. En las zonas I y III la velocidad es uniforme y tiene solamente una componente axial. En la zona I la velocidad es  $v_0$  y en la zona III la velocidad es  $v_f$ . Debido a que el volumen permanece constante.

$$v_0 = v_f (R_f / R_0)^2 \quad (1)$$

En la zona Y la deformación no se ha iniciado aun.. Esta zona incluye la varrilla que está entrando y la cual esta separada de la zona de deformación II por la superficie  $\Gamma_2$ . La superficie  $\Gamma_2$  es esférica, de radio  $r_0$  con el origen en el vértice O del cono del dado. La zona II es la zona de deformación limitada por la superficie del dado, la cual forma un cono de un ángulo incluido  $2\alpha$ , y dos superficies esféricas concéntricas  $\Gamma_1$  y  $\Gamma_2$ . La superficie  $\Gamma_2$  es la frontera anteriormente mencionada entre las zonas I y II. La superficie esférica  $\Gamma_1$  de radio  $r_f$ , con el origen en el vértice O del cono, separa la zona II del producto que esta

saliendo de la zona III. En la zona II la velocidad es dirigida hacia el vertice O del cono con simetría cilíndrica.

En el sistema coordenado esférico  $(r, \phi, \theta)$  las componentes de velocidad son:

$$U_r = v = (-v f r^2) (\cos \theta / r^2) \quad (2)$$

$$U_\theta = U_\phi = 0$$

A través de las fronteras  $\Gamma_1$  y  $\Gamma_2$  las componentes de velocidad normales a las superficies ( $\Gamma_1$  y  $\Gamma_2$ ) son continuas. Existen discontinuidades paralelas a la superficie y tienen las siguientes magnitudes:

A lo largo de  $\Gamma_1$

$$\Delta v = v f \operatorname{sen} \theta \quad (3a)$$

A lo largo de  $\Gamma_2$

$$\Delta v = v_0 \operatorname{sen} \theta \quad (3b)$$

Debido a que el dado está en reposo las discontinuidades de velocidad a lo largo de la superficie cónica  $\Gamma_3$  y la superficie cilíndrica  $\Gamma_4$  se determina de la siguiente forma:

A lo largo de  $\Gamma_3$

$$\Delta v = (v f r^2) (\cos \alpha / r^2) \quad (4a)$$

A lo largo de  $\Gamma_4$

$$\Delta v = v f \quad (4b)$$

La derivación de la ecuación (2) se basa en la condición de volumen constante. La velocidad del volumen  $V$  a través de cualquier superficie limitada por el canal tubular indicada por  $d\theta$  tiene que ser idéntica con la que pasa a través del tubo respectivo de ancho  $dR$ . Por eso,

En la zona III

$$R = r f \operatorname{sen} \theta \quad dR = r f \cos \theta \, d\theta \quad (a)$$

$$V = 2\pi R \, dR \, v f = 2\pi v f r^2 \operatorname{sen} \theta \cos \theta \, d\theta \quad (b)$$

En la zona II

$$V = -2\pi r \operatorname{sen} \theta \, r \, d\theta \, U_r \quad (c)$$

Iguando las velocidades del volumen en las dos zonas, dadas por las ecuaciones (b) y (c) se obtiene el valor de  $U_r$ :

$$U_r = (-v_f r f_2) (\cos \theta / r_2)$$

en esta forma se demuestra la ecuación (2).

El teorema del límite superior debido a Prager y Hodge, establece al incluir superficies de discontinuidad de velocidad que todos los campos de velocidad de deformación cinemáticamente admisibles, aquel que minimiza el valor de potencia es el siguiente:

Potencia de deformación plástica.

$$J^* = (2/\sqrt{3}) \int_V \sqrt{1/2} \epsilon_{ij} \epsilon_{ij} dV + \int_{S_\Gamma} \tau \Delta v ds - \int_{S_t} T_i v_i ds \quad (A)$$

La interpretación de la ecuación (A) es la siguiente: la potencia real suministrada externamente, nunca es más alta que la potencia de deformación plástica calculada por la ecuación (A). El primer término representa la potencia para efectuar la deformación interna de la pieza de trabajo,  $W_i$ . El segundo término comprende la potencia de corte en las superficies donde hay discontinuidades de velocidad e incluye la interfaz entre la herramienta y el material,  $W_{si}$ . La fricción puede estar caracterizada por ejemplo por el factor de corte por fricción ( $m$ ). El tercer término corresponde a la potencia suministrada a la pieza por tracciones delanteras o traseras. En el proceso de laminación por ejemplo, la operación se efectúa aplicando la potencia de deformación plástica mediante los rodillos a la lámina se aplica tracción delantera o trasera a la lámina para controlar las dimensiones del producto, para mejorar su uniformidad o para disminuir la presión de los rodillos. Si se aplica una tracción delantera parte de esta fuerza se utiliza para disminuir la potencia aplicada a la lámina a través de los rodillos. Si se aplica una tracción trasera se debe aumentar la presión del rodillo para contrarrestar la resistencia adicional.

En el trefilado, la potencia,  $W_b$ , relacionada con el esfuerzo de tracción trasera se calculan mediante una expresión formada por el volumen por unidad de tiempo que atraviesa la superficie  $\Gamma_1$  multiplicado por el esfuerzo trasero  $\sigma_{xb}$ :

Potencia trasera.

$$W_b = - \int_{S_t} T_i v_i ds = \pi v_o R_o^2 \sigma_{xb} \approx \pi v_f R_f^2 \sigma_{xb} \quad (5)$$

Similarmente para extrusión la potencia necesaria para contrarrestar la tensión frontal es  $W_f$ .



**Potencia delantera**

$$W_f = - \int_{S_t} T_i v_i ds = - \pi v f R L \sigma \alpha f \quad (6)$$

La potencia interna de deformación esta dada en la ecuación (A) por la expresión:

$$W_i = (2 / \sqrt{3}) \sigma_0 \int v \sqrt{(1/2)} e_{ij} e_{ij} dV$$

Esta ecuación también puede expresarse como:

$$W_i = 2\pi\sigma_0 v f R L f(\alpha) \ln R_o/R_f \quad (7)$$

Donde

$$f(\alpha) = (1 / \text{sen}2\alpha) \{ 1 - (\text{cos}\alpha) \sqrt{1 - 11/12 \text{sen}2\alpha} + 1/\sqrt{11/12} (\ln(1 + \sqrt{11/12}) / (\sqrt{11/12} \text{cos}\alpha + \sqrt{1 - 11/12 \text{sen}2\alpha})) \} \quad (8)$$

La potencia total consumida en la superficie de discontinuidad es la siguiente:

$$W_s = (2 / \sqrt{3}) \sigma_0 \pi v f R L \{ (\alpha / (\text{sen}2\alpha)) - \text{cotg}\alpha + m(\text{cotg}\alpha) \ln(R_o/R_f) + m(L/R_f) \} \quad (9)$$

Potencia aplicada.

Se supone que la potencia aplicada es igual a la potencia determinada por el método del límite superior resulta que:

Para trefilado.

$$J^* = \pi v f R L \sigma \alpha f \quad (10)$$

Esfuerzo aplicado.

La ecuación para calcular el esfuerzo de trefilado por el método del límite superior se deriva mediante la combinación de las ecuaciones (A), (5), (6), (7), (9) y (10):

$$\sigma \alpha f / \sigma_0 = \sigma_b / \sigma_0 + 2f(\alpha) \ln(R_o/R_f) + 2/\sqrt{3} \{ \alpha / \text{sen}2\alpha - \text{cotg}\alpha + m \text{cotg}\alpha \ln(R_o/R_f) + m(L/R_f) \} \quad (11)$$

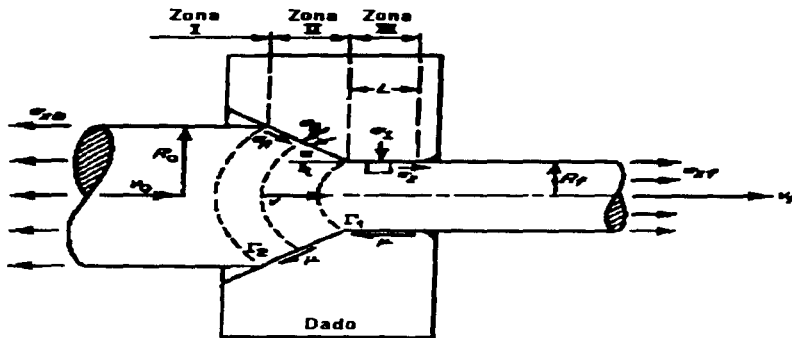


Figura No.5.1.- Zonas de trabajo entre el dado y el alambre. B.Avitur.(22)

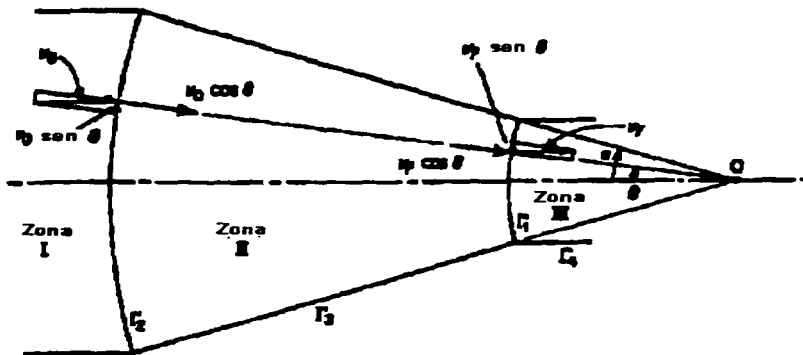


Figura No.5.2.- Velocidades en las zonas de deformación.  
(Tomada de:B.avitur.(22))



Fig.5.3 Fractura en el proceso de trefilado (tomado de: Tribologi in Metalworking.Friction Lubricación - and Wear. SCIEY).

#### 5.2.- Determinación del ángulo óptimo.

Para cualquier combinación de variables de proceso ( diferentes de  $\alpha$ ) existe un ángulo que es el más adecuado, el ángulo óptimo. Con un dado que tenga ese como la fuerza necesaria es mínima como se ilustra en las Fig.5.4 y Fig.5.5. Con un ángulo pequeño la longitud de contacto entre el alambre y el dado es  $\alpha$  ocasionando perdidas importantes por fricción.

Con un ángulo de cono grande la distorsión se vuelve un factor predominante. Es de interes operar con un ángulo de cono que reduzca al minimo las fuerzas necesarias o que haga que la reducción posible sea máxima para un conjunto determinado de variables. Este ángulo se puede determinar directamente de la ecuación 11 por un método de aproximaciones sucesivas.

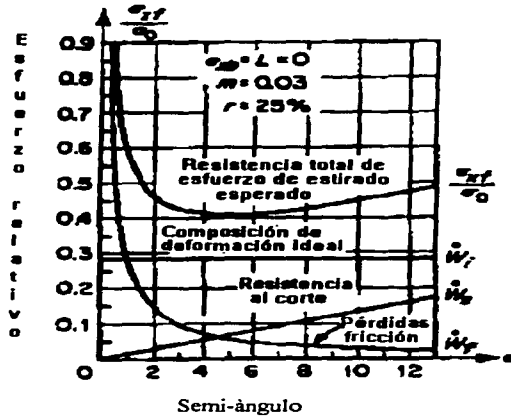


Figura.5.4.- Muestra que existe un ángulo óptimo con el cual se tienen los menores esfuerzos de trefilado.(tomada de:B.Avitur.(22))

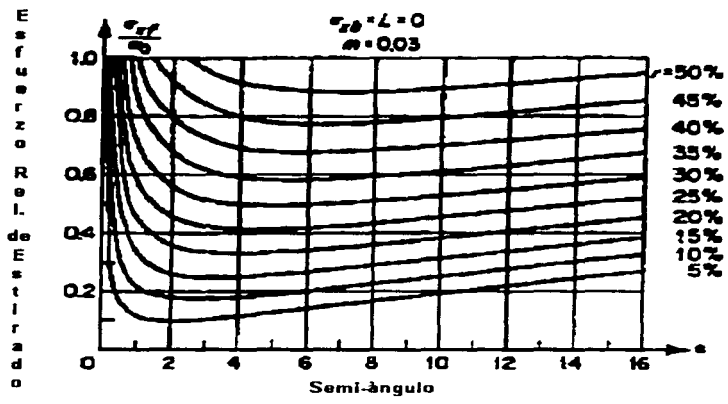
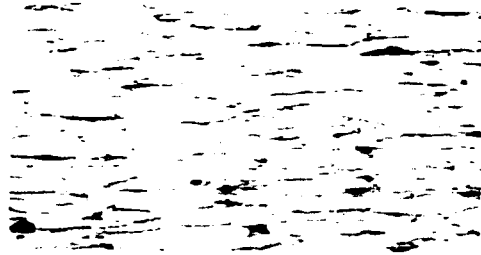


Figura .5.5.- Muestra los efectos del ángulo  $\alpha$  en el esfuerzo relativo de trafilado y la reducción. (Tomada de: B. Avitzur, (22))

MICROESTRUCTURAS ACERO 1007 CON ANGULOS DE: 10°,13°,20°.EN EL PASO No 8.

Ataque Nital.3  
Aumento:400X  
Angulo :10°



Ataque Nital 3.  
Aumento.400X  
Angulo:13°



Ataque Nital 3.  
Aumento.400X  
Angulo: 20°



### 5.3.- Trabajo redundante.

El estiramiento de alambre parece ser uno de los procesos de trabajo más simples, pero de alguna manera es uno de los más complicados de analizar, los efectos de fricción y trabajo redundante, contribuye con la principal parte de los requerimientos de fuerza para el estiramiento y en muchos casos el trabajo gastado en superar estos dos factores puede excederlo por una deformación homogénea. Por tanto, es importante minimizar estos efectos para lograr las condiciones de estiramiento más económicas. Tales efectos son: la fricción y trabajo redundante que están influidos de manera opuesta por el ángulo del dado.

Un efecto secundario del trabajo redundante es el provocar deformación no homogénea que resulta en alambres con pendientes muy escarpadas entre la línea-centro y la superficie. Esto es inaceptable para muchas aplicaciones. Un conocimiento de como minimizar los efectos de fricción y trabajo redundante puede entonces llevarnos a una producción de alambre con propiedades más uniformes.

Numerosas ecuaciones se han propuesto para predecir la carga de estiramiento y es difícil seleccionar uno solo como el más satisfactorio. Por esta razón una de las ecuaciones más ampliamente aceptadas ha sido usada en esta sección para ilustrar las similitudes esenciales entre ellas, se ha dado además atención considerable al tratamiento de deformaciones no homogéneas debido a que mucha de la literatura relativa a esto es confusa, finalmente se dan ejemplos a secuencias de paso múltiple

#### 5.3.1 ESFUERZO DE ESTIRAMIENTO

En el estiramiento de alambre, la deformación en el material está dada por el alargamiento producido en un solo paso, o asumiendo volumen constante, por el área antes y después de pasar por el dado.

$$\epsilon_w = \ln(l_f/l_o) = \ln(A_o/A_f) \quad (12)$$

Ahora, si definimos la reducción fraccional en el área como :

$$r = (A_o - A_f) / A_o \quad (13)$$

Y por lo tanto  $r$  es positivo, aún cuando la deformación es compresiva, ésa puede escribirse

$$\epsilon_w = \ln (1/1-r) \quad (14)$$

El esfuerzo de estirado  $\sigma d$  se puede obtener desde una consideración del trabajo echo por la fuerza  $F$  en el estiramiento del alambre, e incluyendo un factor  $\beta$  para dar cuenta del trabajo redundante y la fricción.

$$\sigma d = F/A_f = \beta \sigma \ln (1/1-r) \quad (15)$$

Donde  $\sigma$  es el esfuerzo de corriente media del material sobre el intervalo de deformación asignado.

Esta ecuación es apropiada para muchos cálculos de orden de magnitudes con  $\beta$  teniendo un valor numérico entre alrededor de uno y tres. Si el factor  $\beta$ , esta dado, el valor unitario entonces la ecuación da el esfuerzo requerido para deformar el alambre homogéneamente a una reducción  $r$ .  $\beta$  es de este modo la razon de trabajo total para el trabajo homogéneo.

El factor  $\beta$  es algunas veces expresado en la forma de un factor eficiente  $\eta = 1/\beta$ ; Similarmente  $\eta$  es el producto de dos rendimientos componentes  $\eta_\theta$  y  $\eta_f$ , el rendimiento debido a las perdidas de trabajo redundante y los rendimientos debido a las perdidas por fricción respectivamente. En donde  $\eta$  es por definición menor que la unidad.

La carga  $F$  se obtiene de la ecuación (15) multiplicando el esfuerzo por el área de salida.

### 5.3.2 ESFUERZO DE ESTIRAMIENTO INVOLUCRANDO FRICCIÓN Y TRABAJO REDUNDANTE .

Existen muchas otras expresiones publicadas que son mas rigurosas que la ecuación (15) y que toma en cuenta la geometría del dado, el coeficiente de fricción y el trabajo redundante .Una ecuación que Wistreich (1958) experimento es preferible a muchas otras, esta es dada por Siebel (1947).

$$\sigma d = F/A_f = \sigma \{ (1 + \mu/\alpha) \ln(A_o/A_f) + 2\alpha / 3 \} \quad (16)$$



Donde  $\mu$  es el coeficiente de fricción y  $\alpha$  es el semiángulo del dado. El último término de la expresión toma en cuenta la deformación redundante. Esta ecuación es favorecida por su simplicidad y porque aunque no es exacta, las premisas fundamentales son razonablemente realistas.

Otra ecuación que es mucho más empírica en su tratamiento de trabajo redundante es la debida a Whitton (1957-58) quien aumentó temporalmente la ecuación de Sachs (1927) (quien descuidó los efectos del trabajo redundante). La ecuación que ha sido presentada, que dio resultados dentro de  $\pm 10\%$  más de lo usual del rango de estiramiento de alambre, pero no es satisfactoria para reducciones menores que  $10\%$  o posible para reducciones más grandes que  $50\%$ , Wistreich (1958).

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

$$= \sigma (1 + B/B) \left\{ 1 - (1-r) \wedge B \right\} + \frac{2}{3} \sigma \alpha^2 \left\{ 1 - r/r \right\} \quad (17)$$

$$\text{Donde } B = \mu \cot \alpha$$

El primer término de la ecuación (17), considerada para la presencia de la fricción, y el siguiente término considera el trabajo redundante.

Whitton adicionó puntos fuera de importancia, usando el valor correcto de  $\sigma$  si esta ecuación es usada para una estimación de  $\mu$ , como cualquier pequeño en  $\sigma$  es magnífico por encima de un orden de magnitud en la determinación de  $\mu$ .

**Ejemplo:** Si el coeficiente de fricción regular de el cobre en estirado es 0.1 y el ángulo de paso del dado cónico es de  $14^\circ$ , teniendo una reducción de  $36\%$  de área en un solo paso de 2 mm, con un esfuerzo de 250 N/mm. Determine la fuerza de estirado utilizando los métodos de Siebel y Whitton.

**Ahora**  $14^\circ = 0.2444 \text{ rad}$  y  $A_f/A_o = 1 - 0.36 = 0.64$

Donde  $\mu$  es el coeficiente de fricción y  $\alpha$  es el semiángulo del dado. El último término de la expresión toma en cuenta la deformación redundante. Esta ecuación es favorecida por su simplicidad y porque aunque no es exacta, las premisas fundamentales son razonablemente realistas.

Otra ecuación que es mucho más empírica en su tratamiento de trabajo redundante es la debida a Whitton (1957-58) quien aumento temporalmente la ecuación de Sachs (1927) (Quien descuido los efectos del trabajo redundante). La ecuación que ha sido presentada, que dio resultados dentro de  $\pm 10\%$  más de lo usual del rango de estiramiento de alambre, pero no es satisfactoria para reducciones menores que  $10\%$  o posible para reducciones mas grandes que  $50\%$ , Wistreich (1958).

$$\begin{aligned} \sigma_d &= F/A_f = \sigma \left\{ 1 + \frac{1}{\mu} \cot \alpha \right\} \left[ 1 + \frac{1}{\mu} \cot \alpha \right] + \frac{2}{3} \sigma \alpha^2 (1-r/r) \\ &= \sigma (1+B/B) \left\{ 1 - (1-r)^B \right\} + \frac{2}{3} \sigma \alpha^2 \left\{ 1 - r/r \right\} \end{aligned} \quad (17)$$

Donde  $B = \mu \cot \alpha$

El primer término de la ecuación (17), considerada para la presencia de la fricción, y el siguiente término considera el trabajo redundante .

Whitton adicióno puntos fuera de importancia, usando el valor correcto de  $\sigma$  si esta ecuación es usada para una estimación de  $\mu$ , como cualquier pequeño en  $\sigma$  es magnifico por encima de un orden de magnitud en la determinación de  $\mu$ .

**Ejemplo:** Si el coeficiente de fricción regular de el cobre en estirado es 0.1 y el ángulo de paso del dado cónico es de  $14^\circ$ , teniendo una reducción de  $36\%$  de área en un solo paso de 2 mm, con un esfuerzo de 250 N/mm. Determine la fuerza de estirado utilizando los métodos de : Siebel y Whitton.

**Ahora**  $14^\circ = 0.2444 \text{ rad}$  y  $A_f/A_o = 1 - 0.36 = 0.64$

Siebel ecuación.Ec No. 16:

$$F = (\pi(2) 2/4) \times 250 \{ (1+(0.1/0.2444)) \ln 1/0.64 + (2 \times 0.2444 / 3) \}$$

$$F = \pi \times 250 \{ 0.4463 + 0.1826 + 0.1629 \}$$

$$F = 621.9 \text{ N} = 63.4 \text{ Kgf}$$

Notar que los tres valores en el corchete representan la proporción de trabajo gastado debido a deformación homogénea, fricción y trabajo redundante respectivamente.

Whitton: ecuación (17)

$$\mu \cot \alpha = \mu \tan (90 - \alpha) = 0.1 \tan 76^\circ = 0.4011$$

$$F = \pi (2)^2 / 4 \times 250 \{ (1+(1/0.4011)(1-0.64) 0.4011) + 2/3(0.2444^2) (0.64/0.36) \}$$

$$F = \pi \times 250 \{ 3.493(0.1639) + (0.0708) \}$$

$$F = 505.2 \text{ N} = 51.5 \text{ Kgf.}$$

Las ecuaciones (16) y (17) tratan con trabajo redundante por adición de un término extra de la ecuación básica. Hay sin embargo algún mérito en el trato con trabajo redundante por el uso de un factor modificador en la ecuación básica para fuerza de estirado en la presencia de fricción. (G.J RICHARDSON, HAWKINS (25))

Es necesario en el proceso de trefilado tomar en cuenta la energía que se consume debido a los procesos de cizallamiento que se llevan a cabo en el alambre internamente.

Tomando un elemento del alambre, próximo a la superficie que se mueve inicialmente hacia el dado en dirección paralela al eje se tiene:

- 1.- El alambre al ser trefilado, se ve obligado a moverse con una componente de velocidad interior y radial produciendo un cizallamiento del alambre.
- 2.- Al pasar a través del dado en la salida el elemento se cizalla para proseguir de nuevo en la dirección axial.

Cuanto mayor es el ángulo del dado más excede este esfuerzo cortante al esfuerzo mínimo requerido en el alargamiento del alambre. Éste es conocido como trabajo adicional que procede por lo tanto de un exceso de distorsión interna del alambre.

#### 5.4.- ENDURECIMIENTO POR TRABAJO

El endurecimiento por trabajo es un fenómeno característico en los metales que se trabajan en frío, al aplicárseles un esfuerzo necesario para provocar una deformación plástica en donde los valores de la dureza en el mismo rango de los esfuerzos también mostrarán un continuo incremento. Debido a los cambios en la estructura atómica como resultado de el deslizamiento de los planos microestructurales.

La capacidad de endurecimiento por trabajo es una propiedad importante de un metal ,que determinara cuanta deformación puede lograrse en tensión , antes de la ruptura.

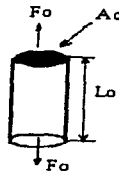


Figura 5.6 (Tomada de Mechanical Working of Metal .(24))

La figura 5.6 está por una fuerza de tensión  $F_o$ , siendo el área original de la sección recta  $A_o$  y la longitud original  $l_o$ . Cuando la carga  $F_o$  es incrementada desde cero se producirá un alargamiento elástico,  $A_o$  puede considerarse constante aun arriba del valor  $F_1$  de la carga en la cual comienza la deformación plástica. El parámetro que determina cuándo ocurre esto, es el esfuerzo de cedencia del metal  $\sigma_o$ . La carga requerida para producir el flujo plástico está dada por la ecuación :

$$\sigma_o = F_1/A_o$$

Cuando la carga se eleva arriba de  $F_1$  la sección de prueba se alarga considerablemente, y puesto que el volumen es constante ,hay un decremento en la sección transversal. Esta llega

a ser  $A_1$ , por tanto, el esfuerzo aplicado al metal, es decir  $\sigma_1 = F_2/A_1$ , es mayor ( $F_2$  es la carga instantánea que hace que el área de la sección transversal sea  $A_1$ ) que el esfuerzo de cedencia original del metal (ya que  $A_0 > A_1$ ). Pero el reordenamiento atómico junto con la disminución de la sección transversal produce endurecimiento por trabajo y el esfuerzo de cedencia se incrementa de  $\sigma_0$  a  $\sigma_0'$ . Puesto que el incremento del esfuerzo de cedencia es mayor que el incremento en el esfuerzo aplicado, debido a la disminución de la sección transversal, entonces la deformación se detiene, es decir  $\sigma_0' > \sigma_1$ . la única forma en que la deformación puede continuar es por el incremento de  $F_2$  a una  $F_3$  mayor, esto produce un mayor incremento en la deformación, pero una vez más el endurecimiento por trabajo aparece y se eleva el esfuerzo de cedencia a  $\sigma_0''$ , no obstante que hay una mayor disminución en la sección transversal de  $A_2$ , acompañada por una mayor elevación del esfuerzo aplicado a  $\sigma_2 = F_1 / A_2$ , la deformación nuevamente se detiene porque  $\sigma_0'' > \sigma_2$ , sin embargo, la rapidez del endurecimiento por trabajo disminuye con la deformación, es decir, el incremento decrece ( $\sigma_0'' - \sigma_0' < \sigma_0' - \sigma_0$ ) por el mismo incremento de la carga. se alcanza un punto en donde el incremento del esfuerzo aplicado debido a la disminución de la sección transversal es igual y eventualmente mayor que el incremento en el esfuerzo de cedencia debido al endurecimiento por trabajo. A este punto se le llama punto de inestabilidad y es seguido por una rápida y catastrófica disminución de la sección transversal que conduce a la ruptura.

Teniendo construida una curva esfuerzo - deformación nominal para un metal es posible construir la curva esfuerzo deformación verdadera, con las siguientes ecuaciones .

$$\epsilon = \ln(1+e) \quad \text{y} \quad \sigma = S(1+e)$$

Donde :

$\epsilon$  = deformación real

$\sigma$  = esfuerzo real

$S$  = esfuerzo nominal

$e$  = deformación lineal

Una curva esfuerzo deformación podría aparecer como OA, comparada con una curva nominal esfuerzo deformación OB. figura (5.7) . puede verse que la curva verdadera indica la continuidad del endurecimiento por trabajo , directamente arriba del punto de ruptura que es lo que debería esperarse de las consideraciones teóricas .



Figura.5.7.Tomada de Mechanical Working of Metal(24)

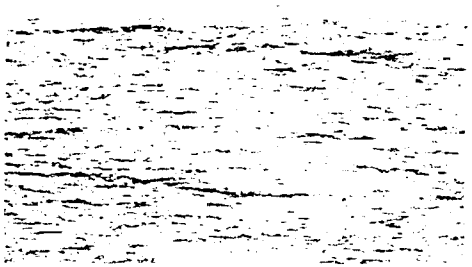
Se ha encontrado que la porción plástica de la curva verdadera se puede representar con razonable precisión por una simple ecuación exponencial

$$\sigma = K \epsilon^n$$

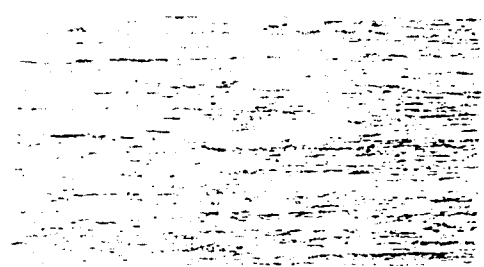
donde K y n son constantes, K se llama coeficiente de resistencia y n coeficiente de endurecimiento por trabajo. Una gráfica logarítmica del esfuerzo verdadero y del tiempo de deformación arriba de la carga máxima, dará una línea recta si se satisface la ecuación. La pendiente de esta línea es n y K es la ordenada al origen .

Las curvas del esfuerzo y deformación verdaderos no presentan sus valores máximos , no obstante que la carga alcanza su valor máximo y luego cae.

El comportamiento de los metales bajo tensión es muy importante para aquellos procesos industriales tales como el estirado de alambres y el embutido profundo, los cuales dependen de la respuesta de este tipo de fuerza ( Endurecimiento por trabajo).



Paso 8.



paso 11.

Micro-estructuras que nos presentan diferente grado de endurecimiento. Acero 1050, Ataque Niital 3 ángulo 20°, pasos 8 y 11.

#### **5.4.1 NORMAS ASTM PARA DETERMINACION DE EL FACTOR “n” DE ENDURECIMIENTO POR DEFORMACION EN MATERIALES LAMINADOS**

Esta norma se publico bajo la designación fija E 646,del siguiente numero inmediato,las condiciones designa el año de la adopción original o en caso de revisión.Un numero en parentesis indica el año de la pasada reaprobación.Una letra griega (  $\epsilon$  ) indicando cambio de editorial,desde la pasada revisión o reaprobación.

#### **INTRODUCCION**

Este metodo de prueba se emplea para determinar el exponente n del endurecimiento por deformación,utilizando datos de esfuerzo-deformación obtenidos en una prueba de tensión uniaxial.Los datos de tensión se obtienen en una forma continua y velocidad - controlada por desplazamiento o control de esfuerzos .El exponente de endurecimiento por deformación se determina a partir de una representación empírica concluido el rango de interés de la curva esfuerzo verdadero v/s deformación verdadera .

**La representación matemática usada en este método es una curva poder (Nota 1)**

$$\sigma = K \epsilon^n$$

**donde:**

**$\sigma$  = Esfuerzo verdadero**

**$\epsilon$  = Deformación plástica verdadera**

**K = Coeficiente de resistencia**

**n = Exponente de endurecimiento por deformación**

**Nota 1 .- Una sola curva de potencia no puede apropiarse de la curva esfuerzo -deformación rendimiento y cuello o garganta. Si es semejante el caso mas que un valor del exponente de endurecimiento por deformación se puede obtener**

## **1. ALCANCE (EXTENCIÓN)**

**1.1. Este método cubre la determinación de un endurecimiento por deformación exponencial por prueba de tensión de materiales metálicos laminados, para el cual el comportamiento de flujo plástico obedece a la curva de potencia dada en la introducción**

**1.2. Este método es para materiales metálicos laminados con espesores de menos de 0.005in (0.13mm) pero no más grandes que 0.25in (6.4mm)**

**1.3. Esta norma puede comprometer peligrosamente, materiales, operaciones y equipo. Esta norma no significa conseguir total seguridad a los problemas de las asociaciones con este uso. Es responsabilidad de cualquiera de los usuarios que consulta esta norma establecer seguridad apropiada a estas practicas y determinar la aplicabilidad de las limitaciones regulatorias antes de usarse.**



## 2. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

### 2.1. NORMAS ASTM.

E4 Prácticas para verificación de cargas de pruebas mecánicas.

E6 Terminología relativa de métodos de pruebas mecánicas

E8 Métodos de prueba examinando esfuerzos de materiales metálicos.

E29 Práctica para uso de significados de dígitos en prueba de datos para determinar la conformidad con especificación .

E83 Práctica para la verificación y clasificación de extensómetros (3)

E177 Práctica para usar los términos de precisión y propensión en métodos de prueba ASTM.

E 517 Método de prueba para la deformación plástica a razón de  $r$  para metales laminados.

## 3. DEFINICIONES

3.1 Las definiciones de términos dados en definiciones E6 se aplicaran con la adición de los siguientes términos usados en este método.

### 3.2 DEFORMACIÓN INGENIERIL. ( $e$ )

Es un valor adimensional que esta sujeto al cambio de longitud ( $\Delta L$ ) a razón de la dimensión de la línea original ( $L_0$ ) de la probeta que es  $e = (\Delta L) / L_0$ .

### 3.3 ESFUERZO INGENIERIL ( $S$ ) [ $F L^{-2}$ ]

El esfuerzo normal expresado en unidades de fuerza aplicada  $F$ , por unidad de área de la sección transversal original  $A_0$  : que es  $S = F / A_0$ .

### 3.4 GARGANTA O CUELLO .

El principio de no uniformidad o localización de deformación plástica, resultado en una reducción de área de sección transversal.

### 3.5. EXPONENTE DE ENDURECIMIENTO POR DEFORMACIÓN ( $n$ ).

El exponente en la relación de trabajo empírica entre esfuerzo verdadero y deformación verdadera,  $\sigma = K \epsilon^n$  . Este se calcula como la pendiente de la relación lineal asumida entre logaritmo de esfuerzo verdadero y logaritmo de deformación verdadera.

### 3.6 COEFICIENTE DE RESISTENCIA (k) [FL<sup>-2</sup>]

Un experimento constante calculado para los datos apropiados supuestos (asumidos) a la curva de potencia, que esta numéricamente igual a la extrapolación de valores de esfuerzo verdadero.

### 3.7 DEFORMACIÓN VERDADERA (ε)

El logaritmo natural del cociente de alargamiento de longitud instantánea L, al alargamiento de longitud original, L<sub>0</sub>, que es :  $\epsilon = \ln(L/L_0)$  ó  $\epsilon = \ln(1+e)$ .

### 3.8 ESFUERZO VERDADERO $\sigma$ [ FL<sup>-2</sup> ]

El esfuerzo normal instantáneo, calculado en base a la sección de área transversal, A; que es:  $\sigma = F/A$ ; Si no ocurrió cuello o garganta :  $\therefore \sigma = S(1+e)$ .

## 4. RESUMEN DEL MÉTODO

4.1 Este método de pruebas aplicados a materiales expuestos a esfuerzos -deformación en la región plástica de la curva. Los desplazamientos o deformaciones se aplican en forma continua y a razón controlada mientras que la carga normal de tensión y el esfuerzo está monitoreado. Estas ecuaciones presentadas que permiten el calculo de esfuerzo verdadero ( $\sigma$ ), deformación verdadera ( $\epsilon$ ), exponente de endurecimiento por deformación, (n), y coeficiente de resistencia, (K), para esta parte continua de la curva esfuerzo verdadero vs. deformación verdadera , cual sigue la relación empírica descrita .

NOTA 2. El método de prueba esta recomendado para uso único en el rango plástico para materiales laminados para los cuales los datos de esfuerzo verdadero y deformación verdadera planteados en la siguiente relación.

## 5.- USO Y SIGNIFICADO

5.1 Este método de prueba es útil para estimar el esfuerzo en el inicio del cuello ó garganta en una prueba de tensión uniaxial (1). El exponente de endurecimiento por deformación también es una medida del incremento en la dureza esperada de un material en la deformación plástica.

### 3.6 COEFICIENTE DE RESISTENCIA (k) $[FL^{-2}]$

Un experimento constante calculado para los datos apropiados supuestos (asumidos) a la curva de potencia, que esta numéricamente igual a la extrapolación de valores de esfuerzo verdadero.

### 3.7 DEFORMACIÓN VERDADERA ( $\epsilon$ )

El logaritmo natural del cociente de alargamiento de longitud instantánea L, al alargamiento de longitud original,  $L_0$ , que es :  $\epsilon = \ln(L/L_0)$  ó  $\epsilon = \ln(1+e)$ .

### 3.8 ESFUERZO VERDADERO $\sigma$ $[FL^{-2}]$

El esfuerzo normal instantáneo, calculado en base a la sección de área transversal, A; que es:  $\sigma = F/A$ ; Si no ocurrió cuello o garganta :  $\therefore \sigma = S(1+e)$ .

## 4. RESUMEN DEL MÉTODO

4.1 Este método de pruebas aplicados a materiales expuestos a esfuerzos -deformación en la región plástica de la curva. Los desplazamientos o deformaciones se aplican en forma continua y a razón controlada mientras que la carga normal de tensión y el esfuerzo está monitoreado. Estas ecuaciones presentadas que permiten el calculo de esfuerzo verdadero  $(\sigma)$ , deformación verdadera ( $\epsilon$ ), exponente de endurecimiento por deformación, (n), y coeficiente de resistencia, (K), para esta parte continua de la curva esfuerzo verdadero vs. deformación verdadera , cual sigue la relación empírica descrita .

NOTA 2. El método de prueba esta recomendado para uso único en el rango plástico para materiales laminados para los cuales los datos de esfuerzo verdadero y deformación verdadera planteados en la siguiente relación.

## 5.- USO Y SIGNIFICADO

5.1 Este método de prueba es útil para estimar el esfuerzo en el inicio del cuello ó garganta en una prueba de tensión uniaxial (1). El exponente de endurecimiento por deformación también es una medida del incremento en la dureza esperada de un material en la deformación plástica.

5.2 El exponente de endurecimiento por deformación se puede determinar, concluida la curva entera esfuerzo-deformación plástica o partes de la curva esfuerzo deformación del producto especificado.

5.3 Este método de prueba no esta prometido a aplicar alguna parte de la curva esfuerzo verdadero contra deformación verdadera que exhibe comportamiento discontinuo.

NOTA 3. Se debe tener cuidado al observar el uso de las técnicas de alineación de la curva, como puedan efectuarse los n- valores.

5.4 Este método es apropiado para determinación de tensión de esfuerzo deformación respuesta de materiales metálicos laminados en la región plástica anteriormente al comienzo del cuello o garganta.

5.5 Los n-valores pueden variar con el desplazamiento estimado o deformación estimada usada dependiendo del metal y temperatura de prueba.

## **6.- APARATOS**

### **6.1 Máquinas de Prueba:**

**La máquinas usadas para pruebas de tensión conforme a los requerimientos de practicas y las cargas usadas para determinación de esfuerzos son empleadas dentro del rango de cargas de la prueba mecánica como definen las practicas E4.**

### **6.2 Equipo de medición de esfuerzos:**

**Los equipos para medición de extensión empleados conforman los requerimientos de clase C o mejor definidos en practicas E83.**

5.2 El exponente de endurecimiento por deformación se puede determinar, concluida la curva entera esfuerzo-deformación plástica o partes de la curva esfuerzo deformación del producto especificado.

5.3 Este método de prueba no esta prometido a aplicar alguna parte de la curva esfuerzo verdadero contra deformación verdadera que exhibe comportamiento discontinuo.

NOTA 3. Se debe tener cuidado al observar el uso de las técnicas de alineación de la curva, como puedan efectuarse los n- valores.

5.4 Este método es apropiado para determinación de tensión de esfuerzo deformación respuesta de materiales metálicos laminados en la región plástica anteriormente al comienzo del cuello o garganta.

5.5 Los n-valores pueden variar con el desplazamiento estimado o deformación estimada usada dependiendo del metal y temperatura de prueba.

## 6.- APARATOS

### 6.1 Máquinas de Prueba:

La máquinas usadas para pruebas de tensión conforme a los requerimientos de practicas y las cargas usadas para determinación de esfuerzos son empleadas dentro del rango de cargas de la prueba mecánica como definen las practicas E4.

### 6.2 Equipo de medición de esfuerzos:

Los equipos para medición de extensión empleados conforman los requerimientos de clase C o mejor definidos en practicas E83.

## **7 EJEMPLAR DE MUESTRA**

**7.1. Las muestras empleadas se toman del material como especifica en la aplicación productos especificados.**

## **8 MUESTRA - PRUEBA**

**8.1 Selección y preparación de Muestras.**

**8.1.1. En la selección de muestras blancas se emplea especial cuidado al tomar la muestra asegurando obtener el material representativo que es plano y uniforme en el espesor.**

**8.1.2. En la preparación de muestras se debe tener especial cuidado para prevenir la introducción de esfuerzos internos residuales .**

## **9.- PROCEDIMIENTO:**

**9.1 Medir y anotar el espesor original de la reducción de la sección de la muestra menor y cercano a 0.0005 in. (0.013mm) y el ancho reducido de la sección menor y cercano a 0.001 in (0.025mm).**

**NOTA 4.- El redondeo -fuera del método dado en recomendaciones de prácticas E 29 ,será usado para todas las mediciones.**

**9.2 Sujetar la muestra en la máquina de prueba ademanera que se asegure una alineación axial de la muestra como se muestra en el método E8 y unir el extensometro.**

**NOTA 5.- El orden de este paso puede ser revisado si se requiere por el diseño del extensómetro o la muestra sujetando o ambos.**

### **9.3 Velocidad de prueba**

**9.3.1. La velocidad de prueba empleada es semejante que las cargas y esfuerzos son exactamente indicados.**

**9.3.2. A determinar los n-valores.**

**9.3.3. Para máquinas equipadas con control de velocidad de esfuerzos esta velocidad puede ser mantenida constante durante la prueba.**

**NOTA 6 El modo de control y la velocidad puede afectar los valores obtenidos.**

## ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

9.3.4. Si el punto cedido, punto-cedido-elongación, cede resistencia, o alguna combinación de éstos, es también la velocidad de aplicación de esfuerzos durando esta parte de la prueba empleada hasta dentro del rango permitido por métodos E8 o algunos otros valores especificados.

Después excediendo el esfuerzo necesario para esta información, corrigiendo la velocidad de la cruceta de máquina dentro del rango especificado anterior del paso siguiente.

9.4 Anotando la carga y esfuerzo correspondiente para mínimo cinco parejas aproximadamente a espacios nivelados de esfuerzo (Nota 7) abarcando el rango de interés especificado en las especificaciones del producto. Usualmente el máximo de estas deformaciones se presentan en la parte más delgada antes de la deformación en cual la máxima carga ocurrida y usualmente, el límite inferior de este esfuerzo es el esfuerzo producido.

(Para materiales continuos producidos) o el término de punto-cedido extensión (Para materiales discontinuos-producidos) .

NOTA. 7.-Hay una estadística básica para puntos igualmente espaciados en una referencia enmarcada

NOTA 8.-El requerimiento es que un mínimo de cinco parejas de cargas registradas se grabarán y encontradas con una gráfica y la selección de cinco o más parejas de ésta curva.

NOTA 9.-La prueba no es válida a menos que se obtengan cinco datos de parejas.

9.4.1. Si n valores múltiples se determinan (Nota 1) usando menos de 5 valores esfuerzo y deformación para el cálculo de n en cada intervalo de esfuerzo.

9.4.2. Otro parámetro puede ser anotado en lugar de cargas y deformaciones con tal de que ellos puedan por último ser transformados en esfuerzos verdaderos. y deformaciones verdaderas como en las técnicas usadas y descritas en este método de prueba.

## 10 C A L C U L O S

10.1 Determinar el exponente de endurecimiento por deformación del logaritmo de la representación de la curva de potencia de el esfuerzo verdadero contra deformación verdadera dentro del rango plástico:

$$\log \sigma = \log K + n \log \epsilon$$

Calcular valores de esfuerzo verdadero y deformación verdadera de la siguiente forma:

$$\text{Esfuerzo verdadero} \quad \sigma = S(1+e)$$

$$\text{Deformación verdadera} \quad \epsilon = \ln(1+e)$$

Donde:

$(\sigma, \epsilon)$  = Un esfuerzo verdadero contra deformación verdadera, pareja en el intervalo seleccionado.

S = Esfuerzo ingenieril, y

e = Deformación ingenieril

NOTA 10.- Algún base logaritmo puede ser usado en esos cálculos a menos que de otro modo notable. El uso del termino "Log" no es implicado al uso de base 10.

NOTA 11.- Para conveniencia cuando la deformación elástica es menor de 10% de la deformación total no es necesario restar la deformación elástica. La deformación elástica se puede calcular dividiendo el esfuerzo verdadero por el valor nominal de módulos de elasticidad. Todos las parejas de datos usadas calculadas en n valores estará tratando en la misma manera.

10.2 Obtención del logaritmo de esfuerzo verdadero vs. deformación verdadera calculados en el punto. 10.1

De estas parejas armadas de  $(\log \sigma, \log \epsilon)$  calculado, vía análisis regresión lineal de  $\log \sigma$ ,  $\log \epsilon$ , la pendiente n, y el error normal de la pendiente .

10.3 La ecuación para calcular la regresión lineal es como sigue:



**Donde:**

**N=** En número de parejas

**10.4** La ecuación para cálculo de inclinación, la intersección y la desviación standard de la pendiente (inclinación) esta hecho convenientemente por representaciones simbólicas como sigue:

$$y = \log \sigma$$

**N=** número de parejas

$$x = \log \epsilon$$

**SD=** Desviación Standard de n-valores

$$b = \log K$$

**n=** n-valores

**10.5** La ecuación para la pendiente de la regresión lineal proporciona el exponente del endurecimiento por deformación como sigue:

$$n = (N\sum xy - \sum x \sum y) / (N\sum x^2 - \sum x)^2$$

**NOTA 13.-** Ref. (5) es una fuente para la ecuación de arriba y la base para otras siguientes .

**10.6** La ecuación para el coeficiente de resistencia (5.7) es como sigue:

$$b = (\sum y - n\sum x) / NM$$

$$K = \exp [b]$$

**10.7** El cálculo de la desviación standard de los n-valores esta basado en la variación de la pendiente de la línea de regresión.

Esta medida de variabilidad contiene el calculo de n-valores (10.5) y el cálculo del coeficiente de resistencia (10.6).

## **11. REPORTE**

11.1. El reporte incluye lo siguiente:

11.1.1. El material representado por la nomenclatura comercial standard. Materiales que no contienen norma comercial así indicada.

11.1.2. Los intervalos de deformación terminan donde n-valores fueron determinados.

11.1.2.1. Los n-valores y la asociación del error normal, como reporte sería considerado aplicable sólo terminada. El intervalo de deformación para los cuales fueron determinados.

11.1.2.2. El número de parejas de datos seleccionados por cálculo de n-valores.

11.1.2.3. La dirección de la prueba relativa a la dirección laminar del material.

11.1.4. Precisión e inclinación en concordancia con la sección 12.

11.1.5. Cualquier condición especial que se asuma puede tener que afectar el resultado de la prueba.

## **12. PRECISIÓN E INCLINACIÓN**

12.1. La precisión de un reporte de n-valores depende en la precisión e inclinación de los datos de esfuerzo y deformación original.

12.2. La precisión relativa puede ser expresada como el coeficiente de variación, COV; que es la relación de la desviación standard de n de este valor estimado.

12.2.1. La desviación standard de n depende del nivel de deformación terminada cuando n esta por el momento determinada y en el número de puntos, N empleada en el análisis de regresión lineal (ver.10.4 y practica E177).

12.3. No estima la inclinación de un valor posible supuesto por experiencia. Ningún sesgo es en si posible de estimar sin examinación o análisis de los datos usados en esta resolución.

## 5.5 MÉTODO DE HEYN

Cuando un esfuerzo aplicado es muy grande en un material, no sólo se manifiesta por las líneas o bandas de deslizamiento que cruzan el grano, sino por la deformación plástica del grano entero Fig( 5.8 ), lo que trae apareado una modificación de la relación axial, pasando de:

$$a / b = 1 \qquad a \qquad a / b > 1$$

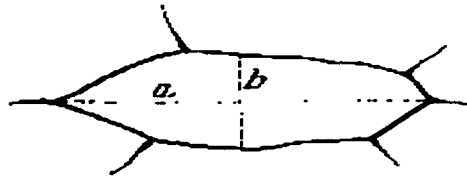


Fig. ( 5.8 ) (tomada de:Prácticas de mecanografía ( 26 ))

El conocimiento de esta relación axial suele ser de gran importancia tecnológica y en consecuencia a menudo interesa su determinación. Ello puede hacerse por el método de Heyn, que consiste en calcar la imagen dada por un conjunto de granos proyectados sobre un papel transparente milimetrado apoyado en un vidrio. Fig ( 5.9 ) .

Cada ordenada (1,2,3,.....) corta un número  $n$  de granos de longitud total  $l$ ; por su parte, cada abscisa (1',2',3',.....) corta un número  $n'$  de granos en una longitud total  $l'$ . El promedio de la suma de las  $N$  relaciones entre  $n$  y  $l$  para las ordenadas y de las  $N'$  relaciones entre  $n'$  y  $l'$  para las abscisas determinan dos valores  $x$  e  $y$ , cuyo coeficiente recibe el nombre de grado de estirado.

$$L1/n1 + L2/n2 + L3/n3 + \dots + Ln/nn = \Sigma Ln/nn$$

$$L'1/n'1 + L'2/n'2 + L'3/n'3 + \dots + L'n/n'n = \Sigma (L'n/n'n)$$

$$(\Sigma Ln/nn) / N = X \quad ; \quad (\Sigma L'n / n'n) / N = Y$$

Luego:

$$Y / X = \delta$$

donde  $\delta$  es el gradiente de deformación.

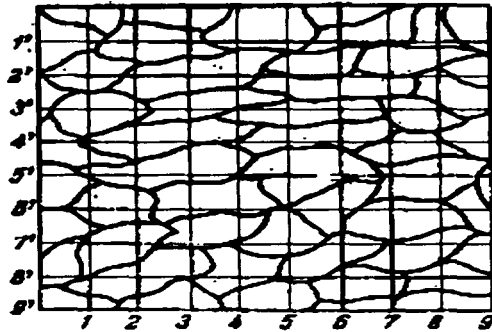


Fig. No. 5.9 (Tomada de: Practicas de mecanografía. ( 26 ))

## **CAPITULO SEIS**

### **DISCUSIÓN DE** **RESULTADOS Y** **CONCLUSIONES**

## **CAPITULO SEIS**

### **DISCUSIÓN DE** **RESULTADOS Y** **CONCLUSIONES**

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los datos obtenidos en la presente investigación nos proporcionan bases de juicio para poder determinar el alcance en nuestros objetivos .

En base a las gráficas obtenidas por los datos arrojados en los ensayos a tensión que se le practicaron a cada una de las muestras.(una muestra consta de uno de los aceros empleados (1007,1035,1050) trefilado, una reducción determinada por el dado, el ángulo de entrada del dado, así como el lubricante (estearato de sodio , jabón sodico ,sopa lubricante) empleado en el proceso. Con esto podemos discutir los objetivos trazados y como se mencionó anteriormente el alcance de nuestra investigación.

Uno de los fundamentos de relevancia que se obtuvieron , son las gráficas de esfuerzo de trefilado entre esfuerzo de cedencia vs porcentaje de reducción por paso, ya que con éstas se lograron cubrir dos de nuestros objetivos , obtener el ángulo óptimo de trefilado y determinar el esfuerzo de trefilado

### A) ESFUERZO DE TREFILADO

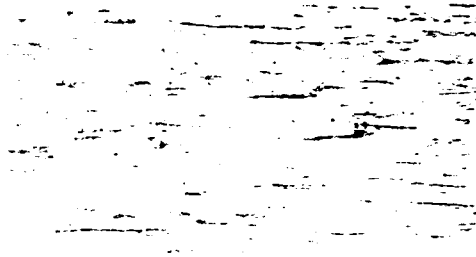
Las gráficas de la relación de esfuerzo de trefilado entre esfuerzo de cedencia ( $\sigma_x / \sigma_0$ ) vs porcentaje de reducción (% r), muestran tendencias consistentes del valor de ( $\sigma_x / \sigma_0$ ) respecto al grado de reducción (% r), es decir  $\sigma_x / \sigma_0$  crece a medida que aumenta la reducción (% r).

Los tres aceros estudiados (1007,1035,1050) se comportan en el proceso de trefilado en forma similar , el valor de la relación  $\sigma_x / \sigma_0$  varía en forma similar con respecto al porcentaje de reducción (% r), la relación ( $\sigma_x / \sigma_0$ ) es independiente del contenido de carbono y del lubricante utilizado ( ver apéndice A tablas y gráficas de esfuerzo de trefilado) la relación de ( $\sigma_x / \sigma_0$ ) nunca es mayor que la unidad , si esto sucediera el proceso será imposible de realizar.

Contemplando las gráficas para la obtención del ángulo óptimo estas nos muestran lo siguiente.

A reducciones acumulativas de hasta 75% (paso No 8) , los semiángulos  $\alpha$  de 5° y 6.5° producen los menores esfuerzos de trefilado ( $\sigma_x/\sigma_0$  menor). después de esta reducción (del paso No 9 en adelante ) , los semiángulos 6.5° y 10° presentan los menores esfuerzos de trefilado. De lo anterior se deduce que el ángulo óptimo para el proceso de trefilado es el ángulo de 6.5° , este ángulo es óptimo en un proceso de trefilado, tanto para obtener reducciones pequeñas , como para obtener reducciones grandes . la conclusión obtenida la podemos corroborar al examinar las microestructuras de los alambres trefilados. Las microestructuras de los alambres trefilados con un ángulo de 6.5° presenta una menor distorsión , comparadas con las microestructuras de los alambres trefilados con ángulos de 5° y 10°.

acero 1007 x400  
ataque Nital No 3  
ángulo de trefilado 5°  
lubricante estearato de sodio  
paso No 10 reducción 86%



Las microestructuras mostradas nos presentan el grado de distorsión provocado por los ángulos en los alambres trefilados, siendo menor la distorsión en los materiales trabajados con los ángulos de 6.5°



## **B) LUBRICANTE Y ÁNGULO ÓPTIMO**

Otro de los objetivos planteados, es el de determinar el lubricante más adecuado para el proceso de trefilado, se discute en base a las gráficas de esfuerzo de cedencia vs porcentaje acumulativo de reducción (% r), estas gráficas nos permiten analizar el desempeño de los lubricantes empleados para trefilar cada uno de los aceros (1007, 1035, 1050), así como también su desempeño en cada ángulo (5°, 6.5°, 10°) empleado en dicho proceso.

**Acero 1007**

**Lubricante Estearato de Sodio Ángulo 20°.**

Para este acero con el ángulo de 20° se obtuvo una mayor reducción que fue de 90% ,con un límite elástico de 79.58 kg/mm<sup>2</sup>, en comparación con ángulos de 10° y 13° ,que proporcionaron una reducción de 86% cada uno con un límite elástico de 71.84 kg/mm<sup>2</sup> y 68.52 kg/mm<sup>2</sup> ,respectivamente.

**Lubricante Jabón Sódico.**

Este acero trabajado con un ángulo de 13° nos proporciona un límite elástico menor (71.84 kg/mm<sup>2</sup>), con una reducción de 86%, comparado con los materiales trabajados con ángulos de 5° y 20° nos proporciona un límites elásticos mayores 73.08 kg/mm<sup>2</sup> y 72.95 kg/mm<sup>2</sup>, respectivamente.

Es importante mencionar que el material trabajado con un ángulo de 20° alcanzó una reducción del 90° ,mayor a la alcanzada por los materiales trabajados con ángulos de 13° y 5° .

**Sopa Lubricante.**

Por último, cuando se trabaja con el lubricante (Sopa Lubricante) se tiene que con un ángulo de 13° se obtiene un límite de cedencia menor (60.79 kg/mm<sup>2</sup>) con una reducción máxima de

86% y cabe mencionar que con un ángulo de 20° se obtiene una reducción mayor, 90%, pero se incrementa el límite de cedencia (71.62 kg/mm<sup>2</sup>) considerablemente con respecto al material trabajado con el ángulo de 13°.

#### **ACERO 1035**

##### **Estearato de Sodio.**

El material trabajado con un ángulo de 13° y con este lubricante (Estearato de Sodio) nos proporciona un límite de cedencia de 83.66 kg/mm<sup>2</sup>, menor a los límites obtenidos en los materiales trabajados con ángulos de 10° y 20°, obteniendo una reducción máxima de (88%).

##### **Jabón Sódico.**

El material trabajado con este lubricante nos proporciona con un ángulo de 13° ,el menor límite de cedencia que es de 60.48 kg/mm<sup>2</sup> y una reducción máxima de 88%, éste en comparación con el material trabajado con ángulos de 10° y 20° que nos proporcionan límites elásticos mayores y reducciones menores.

##### **Sopa Lubrificante.**

Con este lubricante el ángulo de 13° nos proporciona el límite elástico menor (59.68 kg/mm<sup>2</sup>) con una reducción máxima de 82%. Es importante señalar que con un ángulo de 90° se obtuvo una reducción máxima de 88% siendo ésta la mayor alcanzada en el proceso de trefilado con este lubricante, pero, también es importante mencionar que el límite elástico se incrementa en relación a las muestras obtenidas con ángulos de 13° y 10°.

## **Acero 1050**

### **Estearato de Sodio.**

El ángulo de 10° nos proporciona muestras con los menores valores de límite elástico (117.60 kg/mm<sup>2</sup>) con una reducción de 86%. Se observó que con un ángulo de 20° se obtiene un límite elástico de 167.11 kg/mm<sup>2</sup>, con una reducción de 90%. El límite elástico aumentó considerablemente con respecto al obtenido con un ángulo de 10°.

### **Jabón Sódico.**

El proceso con este lubricante arrojó los siguientes resultados: El ángulo de 10° favorece al proceso de nuestro material, ya que resulta un límite elástico de 118.23 kg/mm<sup>2</sup> y una reducción máxima de 51%. Haciendo hincapié en el proceso con un ángulo de 20° se alcanzó una mayor reducción de área (90%), y se incrementó el valor del límite elástico a 171.89 kg/mm<sup>2</sup>.

### **Sopa Lubricante.**

En este proceso se encuentran varios aspectos importantes que vale la pena comentarlos. Se encontró que con un ángulo de 20° se obtuvo la mayor reducción posible, 90% y un límite elástico menor de 148.01 kg/mm<sup>2</sup> en comparación con los materiales trabajados con los ángulos de 10° y 13°, los cuales únicamente llegaron a una reducción de 81% y 68% respectivamente. Cabe señalar que con el ángulo de 13°, este lubricante y el acero 1050 se alcanzó la menor reducción posible (68%) en todos los procesos realizados aunado a esto, se tiene el mayor límite elástico que es de 135.08 kg/mm<sup>2</sup> esta reducción presentada con estas variables es la menos indicada en el proceso. Con lo expuesto anteriormente se puede concluir que un lubricante ideal para el proceso de trefilado en general no lo hay, pero si podemos decir que existe mayor eficiencia de algunos lubricantes de acuerdo a las factores con los que se trabajó el material

## Acero 1050

### Estearato de Sodio.

El ángulo de 10° nos proporciona muestras con los menores valores de límite elástico (117.60 kg/mm<sup>2</sup>) con una reducción de 86%. Se observó que con un ángulo de 20° se obtiene un límite elástico de 167.11 kg/mm<sup>2</sup>, con una reducción de 90%. El límite elástico aumentó considerablemente con respecto al obtenido con un ángulo de 10°.

### Jabón Sódico.

El proceso con este lubricante arrojó los siguientes resultados: El ángulo de 10° favorece al proceso de nuestro material, ya que resulta un límite elástico de 118.23 kg/mm<sup>2</sup> y una reducción máxima de 51%. Haciendo hincapié en el proceso con un ángulo de 20° se alcanzó una mayor reducción de área (90%), y se incrementó el valor del límite elástico a 171.89 kg/mm<sup>2</sup>.

### Sopa Lubrificante.

En este proceso se encuentran varios aspectos importantes que vale la pena comentarlos. Se encontró que con un ángulo de 20° se obtuvo la mayor reducción posible, 90% y un límite elástico menor de 148.01 kg/mm<sup>2</sup> en comparación con los materiales trabajados con los ángulos de 10° y 13°, los cuales únicamente llegaron a una reducción de 81% y 68% respectivamente. Cabe señalar que con el ángulo de 13°, este lubricante y el acero 1050 se alcanzó la menor reducción posible (68%) en todos los procesos realizados aunado a esto, se tiene el mayor límite elástico que es de 135.08 kg/mm<sup>2</sup> ésta reducción presentanda con estas variables es la menos indicada en el proceso. Con lo expuesto anteriormente se puede concluir que un lubricante ideal para el proceso de trefilado en general no lo hay, pero si podemos decir que existe mayor eficiencia de algunos lubricantes de acuerdo a las factores con los que se trabajó el material

(Acero 1007, 1035, 1050) y ángulos (10°,13°,20°). Esto lo podemos sustentar en base a lo siguiente: Para un Acero 1007 se obtuvo que el mejor lubricante es el Jabón Sopa Lubricante, empleando un ángulo de 13° ya que nos proporciona una reducción mayor y un límite elástico menor. Con respecto a los otros lubricantes estearato de Sodio y Jabón Sódico.

Para el trefilado de un Acero 1035, utilizando un ángulo de 13° el lubricante más eficiente es Jabón Sódico, ya que proporciona el menor límite elástico y la máxima reducción de área, en relación a los ángulos de 10° y 20° y los lubricantes Estearato de Sodio y Sopa Lubricante.

Por último para el trefilado de Acero 1050 con el lubricante de Estearato de sodio y un ángulo de 10° se obtienen mejores resultados para el límite elástico y reducción de área, con respecto a los ángulos 13° y 20° y los lubricantes Jabón Sódico y Sopa Lubricante.

Aunado a lo anterior podemos decir que a medida que se incrementa la dureza del material a trefilar el ángulo se reduce obteniendo una mejor eficiencia en el proceso.

### **C) COEFICIENTE DE ENDURECIMIENTO POR DEFORMACIÓN**

El endurecimiento por trabajo en metales es uno de los factores que tienen gran relevancia dentro de lo que son los procesos de conformado de metales.

La determinación del coeficiente de endurecimiento por trabajo, siendo este el último de nuestros objetivos, se llevó a cabo en base a la norma ASTM E86, anteriormente descrita, lo cual nos permitió observar el comportamiento del endurecimiento en cada paso de los aceros trefilados (1007, 1035, 1050).

Aunado a esto, el análisis del porcentaje de deformación obtenido por el método de Heyn realizado en las fotomicro-estructuras de las muestras seleccionadas nos sirvieron de base para obtener las siguientes conclusiones:

## Acero 1007:

De las gráficas de endurecimiento por deformación obtenidas en el proceso de treflado del acero 1007, podemos apreciar que se presenta en cada una de ellas una tendencia homogénea al endurecimiento, esto lo podemos constatar al observar el factor  $n$  de endurecimiento que son las pendientes obtenidas en la regresión lineal.

La homogeneidad del endurecimiento se observa en las fotomicro-estructuras en la deformación de la ferrita como mecanismo principal de endurecimiento.



Paso 2



Paso 1

*(Paso completo 2, S. B. 10 Acipulo 17° Aluminio 14.8% Aluminio 14.8% Acero 1007 Paso 1007,  
Representación global de un proceso de endurecimiento que se presenta en grado de deformación en un acero 1007,  
con estructura ferrítica*

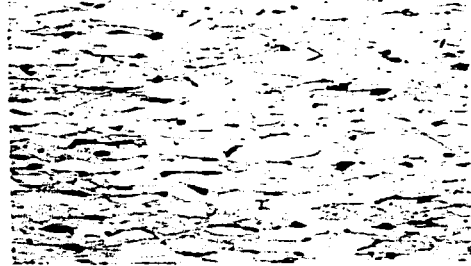
## Acero 1007:

De las gráficas de endurecimiento por deformación obtenidas en el proceso de trefilado del acero 1007, podemos apreciar que se presenta en cada una de ellas una tendencia homogénea al endurecimiento, esto lo podemos constatar al observar el factor  $n$  de endurecimiento que son las pendientes obtenidas en la regresión lineal.

La homogeneidad del endurecimiento se observa en las fotomicro-estructuras en la deformación de la ferrita como mecanismo principal de endurecimiento.



Paso.2

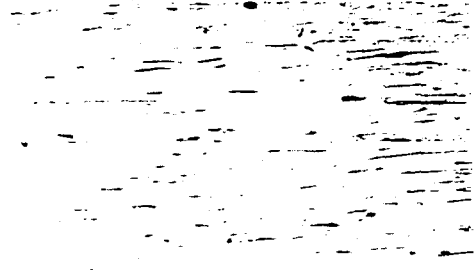


Paso.5

(Paso completo 2 ,5,8,10.Ángulo 13°.Ataque Nital 3\_Aumentos x400,Acero 1007.Soap lube)  
Representación global de un proceso de estirado que nos presenta el grado de deformación de los granos del acero 1007, con estructura ferrítica



Paso.8



Paso.10

(Paso completo 2,5,8,10,Ángulo 13°,Ataque Nital 3,Aumentos x400,Acero 1007,Sopa lubricante)  
Representación global de un proceso de estirado que nos presenta el grado de deformación de los granos del acero 1007, con estructura ferrítica.

### Acero 1035.

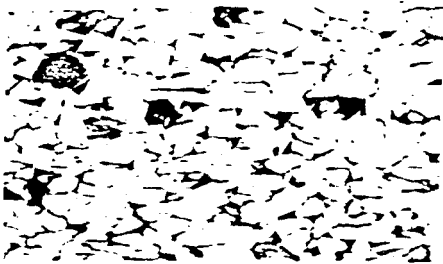
Este acero también presenta una tendencia homogénea al endurecimiento representado por las  $m$  pendientes obtenidas en la regresión lineal, que es el coeficiente de endurecimiento por deformación ( $n$ ) de acuerdo a la norma ASTM E86.

Un punto relevante que podemos citar con respecto a los factores de endurecimiento ( $n$ ) es, que en la gráfica del acero 1035 trabajado con lubricante Jabón Sódico y un ángulo de  $20^\circ$ , nos presenta una diferencia significativa en el resultado de la pendiente.

Esto a consecuencia de que se llegó a un paso mayor, por lo tanto, se obtuvo una deformación, así como, un mayor grado de endurecimiento que se puede apreciar en el valor de la pendiente obtenida.



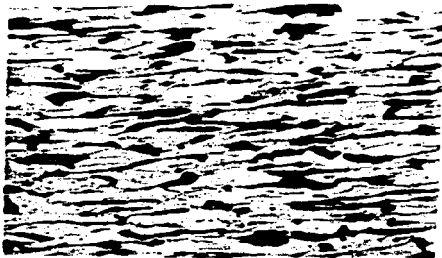
La homogeneidad que se presenta en el endurecimiento está en función de las características de su micro-estructura, la cual presenta como fase principal ferrita con mayor cantidad de ferrita en relación al acero 1007. Observar las siguientes micro-estructuras.



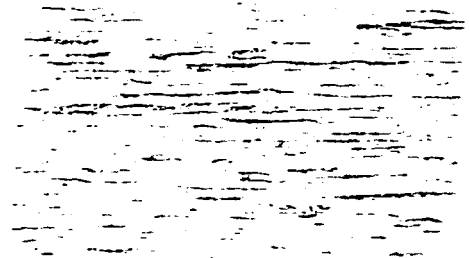
Paso.2



Paso.5



Paso.8



Paso.10

( Pasos 2,5,8,11,Ángulo 13°,Ataque nital3 ,Aumento x400,Acero 1035, lubricante Jabón Sódico)  
Estas micro-estructuras nos representan el comportamiento de la deformación y con ello el comportamiento del endurecimiento de nuestro material trabajado.

**Acero 1050.**

**El factor de endurecimiento ( $n$ ) obtenido al trefilar el acero 1050 es mayor en relación a los factores obtenidos en los aceros 1007 y 1035.**

**Este incremento en el factor de endurecimiento puede apreciarse en la tendencia que siguen las gráficas, ya que se presenta un comportamiento heterogéneo visible en los últimos pasos, dado que la pendiente se incrementa en éstos.**

**La explicación del porque del incremento en la pendiente en los últimos pasos, la podemos obtener en base a la composición de la micro-estructura que presenta, siendo esta perlítica donde sabemos que la perlita es una combinación de ferrita y cementita.**

**En el trefilado de este acero se pueden apreciar dos mecanismos diferentes de endurecimiento. El primer mecanismo se presenta en los primeros pasos el cual se produce a consecuencia de la deformación de la fase más blanda (ferrita), presentando una homogeneidad en el incremento del endurecimiento.**

**El segundo mecanismo se hace presente y se puede observar en las gráficas en los últimos pasos ya que la pendiente aumenta considerablemente, esto debido a la disgregación de la perlita. En donde la ferrita no acepta mayor grado de deformación, en consecuencia se comienza a deformar la fase más dura (cementita), explicando así, el incremento en el factor de endurecimiento por deformación y la heterogeneidad del endurecimiento del proceso.**



Paso.1



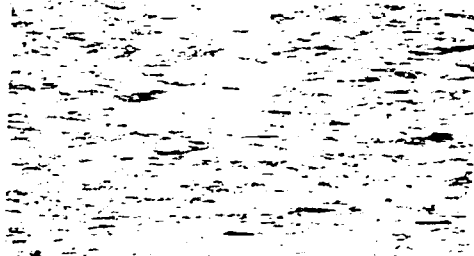
Paso.3

( Pasos:1,3,6,9,Ángulo 10°,Ataque Nital 3,Aumento x400,Acero 1050,Jabón Sódico)

En las micro-estructuras podemos observar la deformación que presentan las fases y la disgregación de éstas



Paso.6



Paso.9

( Pasos:1,3,6,9,Ángulo 10°,Ataque Nital 3,Aumento x400,Acero 1050,Jabón Sódico)

En las micro-estructuras podemos observar la deformación que presentan las fases y la disgregación de éstas

### **C) Método de Heyn.**

**Empleando el método de Heyn podemos corroborar la tendencia de deformación que sigue la micro-estructura que presenta los aceros 1007, 1050, 1035 al seguir la secuencia de trefilado, observándose que los gradientes se incrementan conforme aumenta el número de pasos del proceso de trefilado.**

**Nota: Ver Apéndice "B" páginas :161 a 166. Método Heyn (Gradientes de Deformación en Micro-estructuras).**

# APENDICES

# **APÉNDICE**

**“A”**

---

# APÉNDICE

“A”

## APENDICE A

### TABLAS, GRÁFICAS DE ESFUERZO DE TREFILADO

**TABLA I.**

**ACERO 1007 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO.**

**ÁNGULO DE TREFILADO DE 10 GRADOS.**

MUESTRA	DIÁMETRO	ÁREA	Reducción de	Reducción	Límite Elas	Carga Máx.	Resis Tensil	Elongación
Número	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	Área X paso	Área total.	(kg/mm <sup>2</sup> )	(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )	(%)
1007	6.4	32.17	0%	0%	23.62	1250	38.86	33.36%
A1a-1	6	28.27	12%	12%	42.44	1410	49.87	7.38%
A1a-2	5.6	24.63	13%	23%	44.66	1400	56.84	4.92%
A1a-3	5.2	21.24	14%	34%	44.73	1300	61.21	3.83%
A1a-4	4.8	18.10	15%	44%	52.50	1160	64.10	3.24%
A1a-5	4.4	15.21	16%	53%	55.90	1500	98.65	2.75%
A1a-6	4	12.57	17%	61%	57.69	870	69.23	2.46%
A1a-7	3.6	10.18	19%	68%	61.40	725	71.23	2.36%
A1a-8	3.2	8.04	21%	75%	68.39	600	74.60	1.96%
A1a-9	2.8	6.16	23%	81%	69.02	500	81.20	1.08%
A1a-10	2.4	4.52	27%	86%	71.84	380	84.00	0.39%



**TABLA II.**  
**ACERO 1007 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO.**  
**ÁNGULO DE TREFILADO DE 13 GRADOS.**

MUESTRA	DIÁMETRO	ÁREA	Reducción de Área X paso	Reducción Área total.	Límite Elas (kg/mm <sup>2</sup> )	Carga Máx. (kg)	Resis Tensil (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongación (%)
1007	6.4	32.17	0%	0%	23.62	1250	38.86	33.36%
A2a-1	6	28.27	12%	12%	40.67	1400	49.51	7.38%
A2a-2	5.6	24.63	13%	23%	42.63	1400	56.84	4.52%
A2a-3	5.2	21.24	14%	34%	44.73	1300	61.21	3.93%
A2a-4	4.8	18.10	15%	44%	49.74	1150	63.55	3.14%
A2a-5	4.4	15.21	16%	53%	54.26	1035	68.07	2.46%
A2a-6	4	12.57	17%	61%	54.91	860	68.44	2.36%
A2a-7	3.6	10.18	19%	68%	61.40	705	69.26	2.26%
A2a-8	3.2	8.04	21%	75%	62.17	580	72.12	1.47%
A2a-9	2.8	6.16	23%	81%	66.59	470	76.33	1.08%
A2a-10	2.4	4.52	27%	86%	68.52	350	77.37	1.37%

**TABLA IV.**  
**ACERO 1007 LUBRICANTE JABON SODICO.**  
**ÁNGULO DE TREFILADO DE 10 GRADOS.**

MUESTRA	DIÁMETRO	ÁREA	Reducción de	Reduccion	Límite Elás	Carga Máx.	Resis Tensil	Elongación
Número	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	Área X paso	Área total.	(kg/mm <sup>2</sup> )	(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )	(%)
1007	6.4	32.17	0%	0%	23.62	1250	38.86	33.36%
A1b-1	6	28.27	12%	12%	40.67	1300	45.98	5.70%
A1b-2	5.6	24.63	13%	23%	42.63	1350	54.81	4.52%
A1b-3	5.2	21.24	14%	34%	47.09	1250	58.86	3.83%
A1b-4	4.8	18.10	15%	44%	49.74	1150	63.55	2.85%
A1b-5	4.4	15.21	16%	53%	57.55	1025	67.41	2.65%
A1b-6	4	12.57	17%	61%	57.69	860	68.44	2.36%
A1b-7	3.6	10.18	19%	68%	57.96	725	71.23	1.96%
A1b-8	3.2	8.04	21%	75%	62.17	625	77.71	1.37%
A1b-9	2.8	6.16	23%	81%	73.08	475	77.14	1.08%

**TABLA III.**  
**ACERO 1007 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO.**  
**ÁNGULO DE TREFILADO DE 20 GRADOS.**

MUESTRA	DIÁMETRO	ÁREA	Reducción de	Reducción	Limite Elas	Carga Máx.	Resis Tensil	Elongación
Número	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	Área X paso	Área total.	(kg/mm <sup>2</sup> )	(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )	(%)
1007	6.4	32.17	0%	0%	23.62	1250	38.86	33.36%
A3a-1	6	28.27	12%	12%	40.67	1425	50.40	6.39%
A3a-2	5.6	24.63	13%	23%	42.63	1400	56.84	4.03%
A3a-3	5.2	21.24	14%	34%	44.73	1300	61.21	3.34%
A3a-4	4.8	18.10	15%	44%	49.74	1150	63.55	3.05%
A3a-5	4.4	15.21	16%	53%	54.59	1040	68.40	2.65%
A3a-6	4	12.57	17%	61%	55.31	860	68.44	2.36%
A3a-7	3.6	10.18	19%	68%	61.40	715	70.24	1.96%
A3a-8	3.2	8.04	21%	75%	62.17	585	72.74	1.67%
A3a-9	2.8	6.16	23%	81%	66.59	480	77.95	1.27%
A3a-10	2.4	4.52	27%	86%	68.52	375	82.89	0.88%
A3a-11	2.0	3.1416	31%	90%	79.58	275	87.54	0.78%

**TABLA V.**  
**ACERO 1007 LUBRICANTE JABON SODICO.**  
**ÁNGULO DE TREFILADO 13 GRADOS.**

<b>MUESTRA</b>	<b>DIÁMETRO</b>	<b>ÁREA</b>	<b>Reducción de</b>	<b>Reducción</b>	<b>Limite Elas</b>	<b>Carga Máx.</b>	<b>Resis</b>	<b>Elongación</b>
<b>Número</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm<sup>2</sup>)</b>	<b>rea X</b>	<b>rea total.</b>	<b>(kg/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg)</b>	<b>Tensil</b>	<b>(%)</b>
			<b>rea X</b>				<b>(kg/mm<sup>2</sup>)</b>	
			<b>paso</b>					
1007	6.4	32.17	0%	0%	23.62	1250	38.86	33.36%
A2b-1	6	28.27	12%	12%	38.90	1290	45.62	5.70%
A2b-2	5.6	24.63	13%	23%	44.66	1350	54.81	8.30%
A2b-3	5.2	21.24	14%	34%	44.73	1240	58.39	3.05%
A2b-4	4.8	18.10	15%	44%	49.74	1125	62.17	2.65%
A2b-5	4.4	15.21	16%	53%	52.61	990	65.11	2.46%
A2b-6	4	12.57	17%	61%	53.71	850	67.64	2.16%
A2b-7	3.6	10.18	19%	68%	56.49	690	67.79	2.06%
A2b-8	3.2	8.04	21%	75%	59.06	580	72.12	1.37%
A2b-9	2.8	6.16	23%	81%	69.02	460	74.71	1.27%
A2b-10	2.4	4.52	27%	86%	71.84	340	75.16	0.78%

**TABLA VI.**  
**ACERO 1007 LUBRICANTE JABÓN SODICO.**  
**ÁNGULO DE TREFILADO DE 20 GRADOS.**

<b>MUESTRA</b>	<b>DIÁMETRO</b>	<b>ÁREA</b>	<b>Reducción de</b>	<b>Reducción</b>	<b>Límite Elías</b>	<b>Carga Máx.</b>	<b>Resis Tensil</b>	<b>Elongación</b>
<b>Número</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm<sup>2</sup>)</b>	<b>de</b>	<b>Área total.</b>	<b>(kg/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(kg/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>(%)</b>
			<b>Área X</b>					
			<b>paso</b>					
1007	6.4	32.17	0%	0%	23.62	1250	38.86	33.36%
A3b-1	6	28.27	12%	12%	38.90	1325	46.86	5.80%
A3b-2	5.6	24.63	13%	23%	48.72	1350	54.81	3.83%
A3b-3	5.2	21.24	14%	34%	50.62	1250	58.86	3.74%
A3b-4	4.8	18.10	15%	44%	51.12	1140	63.00	3.44%
A3b-5	4.4	15.21	16%	53%	54.26	1010	66.42	2.95%
A3b-6	4	12.57	17%	61%	55.70	850	67.64	2.55%
A3b-7	3.6	10.18	19%	68%	58.95	700	68.77	1.96%
A3b-8	3.2	8.04	21%	75%	62.17	600	74.60	1.47%
A3b-9	2.8	6.16	23%	81%	69.83	460	74.71	1.37%
A3b-10	2.4	4.52	27%	86%	72.95	350	77.37	0.88%
A3b-11	2.0	3.1416	31%	90%	77.99	270	85.94	0.68%

**TABLA VII.**

**ACERO 1007 LUBRICANTE JABÓN SOAP LUBE.**

**ÁNGULO DE TREFILADO DE 10 GRADOS.**

MUESTRA	DIÁMETRO	ÁREA	Reducción de	Reducción	Límite Elás	Carga Máx.	Resis Tensil	Elongación
Número	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	Área X paso	Área total.	(kg/mm <sup>2</sup> )	(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )	(%)
1007	6.4	32.17	0%	0%	23.62	1250	38.86	33.36%
A1d-1	6	28.27	12%	12%	39.79	1360	48.10	8.95%
A1d-2	5.6	24.63	13%	23%	45.88	1310	53.19	8.75%
A1d-3	5.2	21.24	14%	34%	44.73	1200	56.50	4.82%
A1d-4	4.8	18.10	15%	44%	45.59	1150	63.55	4.33%
A1d-5	4.4	15.21	16%	53%	46.04	950	62.48	3.34%
A1d-6	4	12.57	17%	61%	55.70	800	63.66	2.65%
A1d-7	3.6	10.18	19%	68%	56.00	675	66.31	2.46%
A1d-8	3.2	8.04	21%	75%	57.20	550	68.39	1.47%
A1d-9	2.8	6.16	23%	81%	60.90	460	74.71	1.18%

**TABLA VIII****ACERO 1007 LUBRICANTE JABÓN SOAP LUBE.****ÁNGULO DE TREFILADO DE 13 GRADOS.**

MUESTRA	DIÁMETRO	ÁREA	Reducción de	Reducción	Límite Elas	Carga Máx.	Resis Tensil	Elongación
Número	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	Área X paso	Área total.	(kg/mm <sup>2</sup> )	(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )	(%)
1007	6.4	32.17	0%	0%	23.62	1250	38.86	33.36%
A2d-1	6	28.27	12%	12%	37.14	1300	45.98	6.98%
A2d-2	5.6	24.63	13%	23%	42.63	1310	53.19	4.42%
A2d-3	5.2	21.24	14%	34%	44.73	1200	56.50	4.03%
A2d-4	4.8	18.10	15%	44%	48.35	1150	63.55	3.83%
A2d-5	4.4	15.21	16%	53%	49.32	925	60.83	3.14%
A2d-6	4	12.57	17%	61%	51.73	785	62.47	2.75%
A2d-7	3.6	10.18	19%	68%	54.03	670	65.82	2.36%
A2d-8	3.2	8.04	21%	75%	54.71	540	67.14	1.18%
A2d-9	2.8	6.16	23%	81%	58.46	450	73.08	0.88%
A2d-10	2.4	4.52	27%	86%	60.79	335	74.05	0.59%

**TABLA IX.**

**ACERO 1007 LUBRICANTE JABÓN SOAP LUBE.**

**ÁNGULO DE TREFILADO DE 20 GRADOS.**

MUESTRA	DIÁMETRO	ÁREA	Reducción de	Reducción	Límite Elás	Carga Móx.	Resis Tensil	Elongación
Número	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	Área X paso	Área total.	(kg/mm <sup>2</sup> )	(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )	(%)
1007	6.4	32.17	0%	0%	23.62	1250	38.86	33.36%
A3d-1	6	28.27	12%	12%	37.14	1300	45.98	6.39%
A3d-2	5.6	24.63	13%	23%	42.63	1325	53.80	4.92%
A3d-3	5.2	21.24	14%	34%	45.20	1250	58.86	3.64%
A3d-4	4.8	18.10	15%	44%	45.59	1150	63.55	3.44%
A3d-5	4.4	15.21	16%	53%	46.04	950	62.48	3.05%
A3d-6	4	12.57	17%	61%	55.70	800	63.66	2.36%
A3d-7	3.6	10.18	19%	68%	56.49	680	66.81	1.67%
A3d-8	3.2	8.04	21%	75%	56.57	550	68.39	1.18%
A3d-9	2.8	6.16	23%	81%	64.96	500	81.20	0.78%
A3d-10	2.4	4.52	27%	86%	68.52	375	82.89	0.49%
A3d-11	2.0	3.1416	31%	90%	71.62	270	85.94	0.29%



**TABLA X.**  
**ACERO 1007 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO.**  
**DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE TREFILADO.**

No de paso.	Radio inicial. (mm)	Radio final. (mm)	$\sigma_f$	$\sigma_f$	$\sigma_f$	Reducción	Esfuerzo de trefilado ( $\sigma_f/\sigma_0$ ).		
			( $\alpha=5^\circ$ )	( $\alpha=6.5^\circ$ )	( $\alpha=10^\circ$ )		( $\alpha=5^\circ$ )	( $\alpha=6.5^\circ$ )	( $\alpha=10^\circ$ )
1	3.2	3	8.4695	8.4808	9.0554	0.1211	0.3585	0.3590	0.3833
2	3	2.8	16.0764	15.3706	16.2951	0.1289	0.3788	0.3779	0.4006
3	2.8	2.6	17.9589	17.0382	17.9291	0.1378	0.4021	0.3997	0.4206
4	2.6	2.4	19.2005	19.0096	19.8494	0.1479	0.4292	0.4250	0.4437
5	2.4	2.2	24.2078	22.6153	23.4251	0.1597	0.4611	0.4547	0.4710
6	2.2	2	27.9038	26.5980	27.4858	0.1736	0.4992	0.4902	0.5035
7	2	1.8	31.4637	29.2849	30.0344	0.1900	0.5454	0.5333	0.5431
8	1.8	1.6	37.0036	36.0321	36.3556	0.2099	0.6026	0.5868	0.5921
9	1.6	1.4	46.1986	40.7153	40.6926	0.2344	0.6755	0.6549	0.6545
10	1.4	1.2	53.2498	49.5756	49.0599	0.2653	0.7715	0.7445	0.7368
11	1.2	1	64.9096	59.4757	58.2541	0.3056	0.9035	0.8679	0.8501

**TABLA XI.**  
**ACERO 1007 LUBRICANTE JABÓN SODICO.**  
**DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE TREFILADO.**

No de paso.	Radio inicial. (mm)	Radio final. (mm)	$\sigma_f$	$\sigma_f$	$\sigma_f$	Reducción	Esfuerzo de trefilado ( $\sigma_f/\sigma_0$ ).		
			( $\alpha=5^\circ$ )	( $\alpha=6.5^\circ$ )	( $\alpha=10^\circ$ )		( $\alpha=5^\circ$ )	( $\alpha=6.5^\circ$ )	( $\alpha=10^\circ$ )
1	3.2	3	8.4695	8.4808	9.0554	0.1211	0.3585	0.3590	0.3833
2	3	2.8	15.4065	14.7023	15.5866	0.1289	0.3788	0.3779	0.4006
3	2.8	2.6	17.1426	17.8495	20.4904	0.1378	0.4021	0.3997	0.4206
4	2.6	2.4	20.2110	19.0096	22.4612	0.1479	0.4292	0.4250	0.4437
5	2.4	2.2	22.9337	22.6153	24.0758	0.1597	0.4611	0.4547	0.4710
6	2.2	2	28.7245	25.7920	27.3202	0.1736	0.4992	0.4902	0.5035
7	2	1.8	31.4637	28.6483	30.2505	0.1900	0.5454	0.5333	0.5431
8	1.8	1.6	34.9314	33.1495	34.9014	0.2099	0.6026	0.5868	0.5921
9	1.6	1.4	41.9987	38.6796	40.6926	0.2344	0.6755	0.6549	0.6545
10	1.4	1.2	56.3822	51.3894	51.4531	0.2653	0.7715	0.7445	0.7368
11	1.2	1		62.3535	62.0124	0.3056		0.8679	0.8501

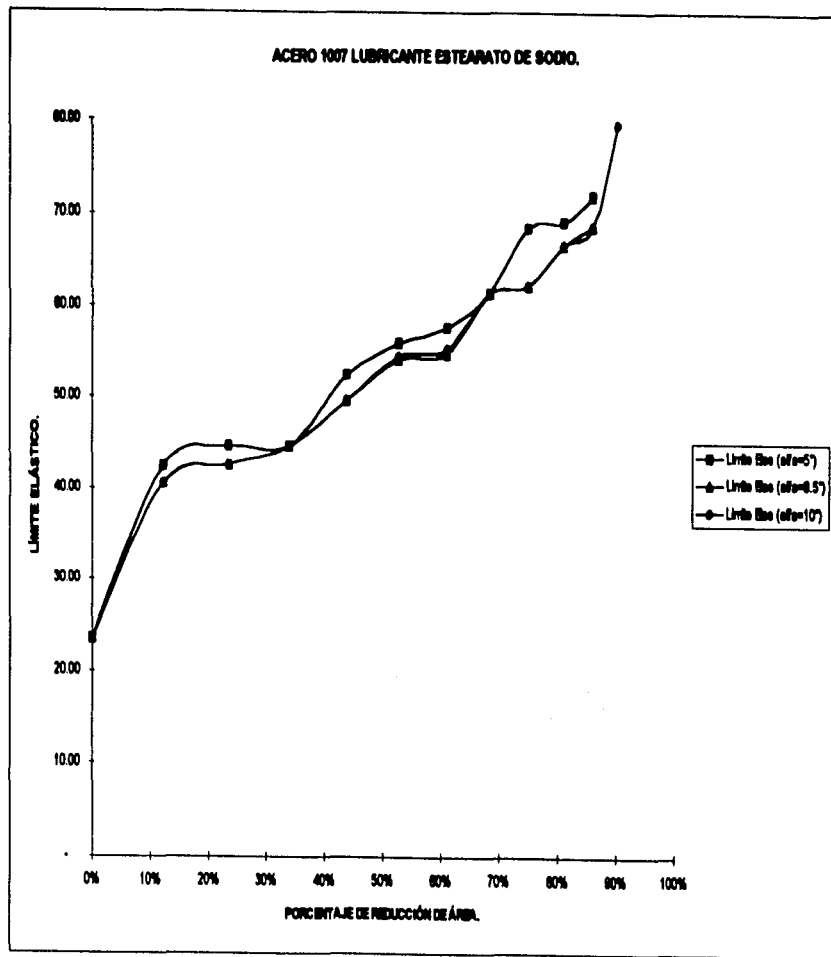
Vertical text at the top of the page, possibly a header or identification code, appearing as a series of vertical bars.

			Reducción	Esfuerzo de trafilado (σ <sub>d/σ<sub>o</sub>)</sub>		
				(α=5°)	(α=6.5°)	(α=10°)
			0.3585	0.3590	0.3222	
			0.3779	0.3779	0.4119	
			0.3887	0.3887	0.4219	
			0.3990	0.3990	0.4319	
			0.4090	0.4090	0.4419	
			0.4190	0.4190	0.4519	
			0.4290	0.4290	0.4619	
			0.4390	0.4390	0.4719	
			0.4490	0.4490	0.4819	
			0.4590	0.4590	0.4919	
			0.4690	0.4690	0.5019	
			0.4790	0.4790	0.5119	
			0.4890	0.4890	0.5219	
			0.4990	0.4990	0.5319	
			0.5090	0.5090	0.5419	
			0.5190	0.5190	0.5519	
			0.5290	0.5290	0.5619	
			0.5390	0.5390	0.5719	
			0.5490	0.5490	0.5819	
			0.5590	0.5590	0.5919	
			0.5690	0.5690	0.6019	
			0.5790	0.5790	0.6119	
			0.5890	0.5890	0.6219	
			0.5990	0.5990	0.6319	
			0.6090	0.6090	0.6419	
			0.6190	0.6190	0.6519	
			0.6290	0.6290	0.6619	
			0.6390	0.6390	0.6719	
			0.6490	0.6490	0.6819	
			0.6590	0.6590	0.6919	
			0.6690	0.6690	0.7019	
			0.6790	0.6790	0.7119	
			0.6890	0.6890	0.7219	
			0.6990	0.6990	0.7319	
			0.7090	0.7090	0.7419	
			0.7190	0.7190	0.7519	
			0.7290	0.7290	0.7619	
			0.7390	0.7390	0.7719	
			0.7490	0.7490	0.7819	
			0.7590	0.7590	0.7919	
			0.7690	0.7690	0.8019	
			0.7790	0.7790	0.8119	
			0.7890	0.7890	0.8219	
			0.7990	0.7990	0.8319	
			0.8090	0.8090	0.8419	
			0.8190	0.8190	0.8519	
			0.8290	0.8290	0.8619	
			0.8390	0.8390	0.8719	
			0.8490	0.8490	0.8819	
			0.8590	0.8590	0.8919	
			0.8690	0.8690	0.9019	
			0.8790	0.8790	0.9119	
			0.8890	0.8890	0.9219	
			0.8990	0.8990	0.9319	
			0.9090	0.9090	0.9419	
			0.9190	0.9190	0.9519	
			0.9290	0.9290	0.9619	
			0.9390	0.9390	0.9719	
			0.9490	0.9490	0.9819	
			0.9590	0.9590	0.9919	
			0.9690	0.9690	1.0019	

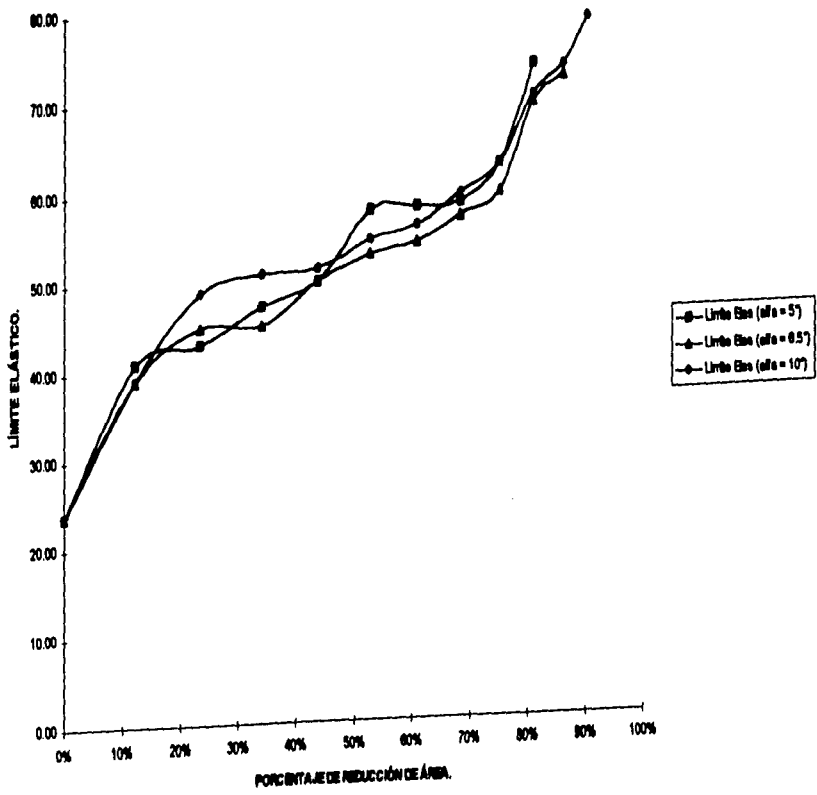
**TABLA XII.**  
**ACERO 1007 LUBRICANTE JABÓN SOAP LUBE.**  
**DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE TREFILADO.**

No de paso.	Radio inicial. (mm)	Radio final. (mm)	$\sigma_{\alpha}$	$\sigma_{\alpha}$	$\sigma_{\alpha}$	Reducción	Esfuerzo de trefilado ( $\sigma_{\alpha}/\sigma_0$ ).		
			( $\alpha=5^\circ$ )	( $\alpha=6.5^\circ$ )	( $\alpha=10^\circ$ )		( $\alpha=5^\circ$ )	( $\alpha=6.5^\circ$ )	( $\alpha=10^\circ$ )
1	3.2	3	8.4695	8.4808	9.0554	0.1211	0.3585	0.3590	0.3833
2	3	2.8	15.0716	14.0340	14.8781	0.1289	0.3788	0.3779	0.4006
3	2.8	2.6	18.4487	17.0382	17.9291	0.1378	0.4021	0.3997	0.4206
4	2.6	2.4	19.2005	19.0096	20.0584	0.1479	0.4292	0.4250	0.4437
5	2.4	2.2	21.0226	21.9871	21.4730	0.1597	0.4611	0.4547	0.4710
6	2.2	2	22.9796	24.1800	23.1808	0.1736	0.4992	0.4902	0.5035
7	2	1.8	30.3788	27.5872	30.2505	0.1900	0.5454	0.5333	0.5431
8	1.8	1.6	33.7472	31.7082	33.4472	0.2099	0.6026	0.5868	0.5921
9	1.6	1.4	38.6388	35.8295	37.0302	0.2344	0.6755	0.6549	0.6545
10	1.4	1.2	46.9851	43.5298	47.8633	0.2653	0.7715	0.7445	0.7368
11	1.2	1		52.7607	58.2541	0.3056		0.8679	0.8501

Grafica No.- 01.

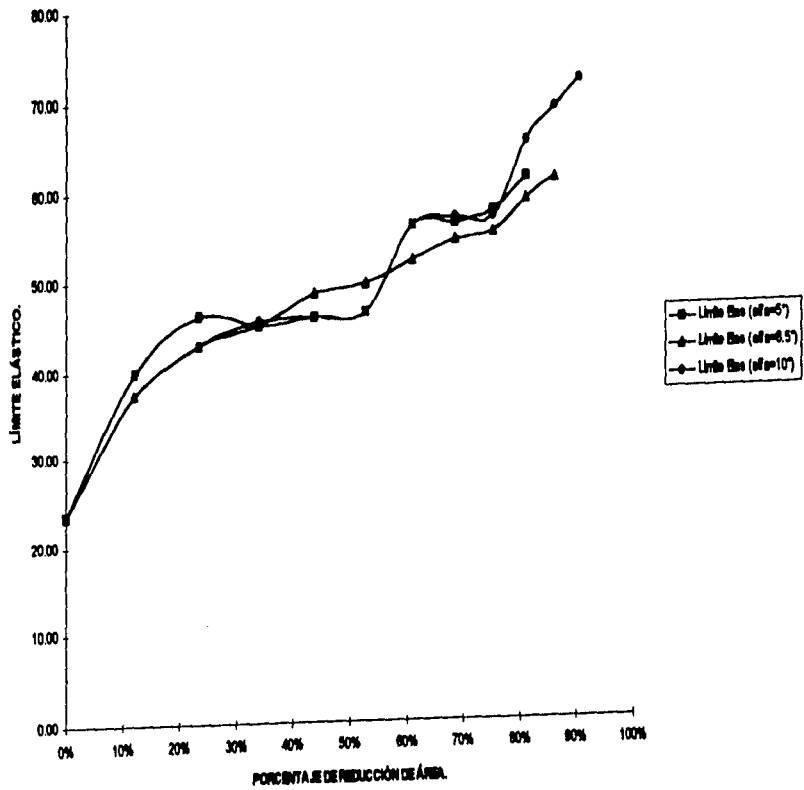


ACERO 1007 LUBRICANTE JABÓN SÓDICO.



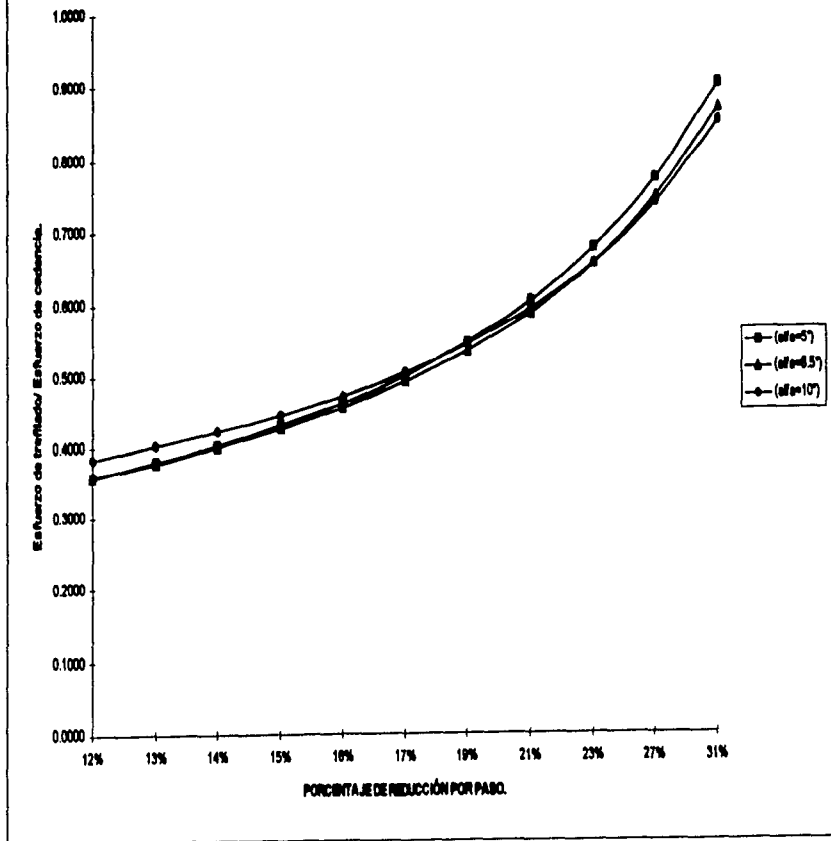
Grafica No.-3

ACERO 1007 LUBRICANTE JABÓN SOAP LUBE.



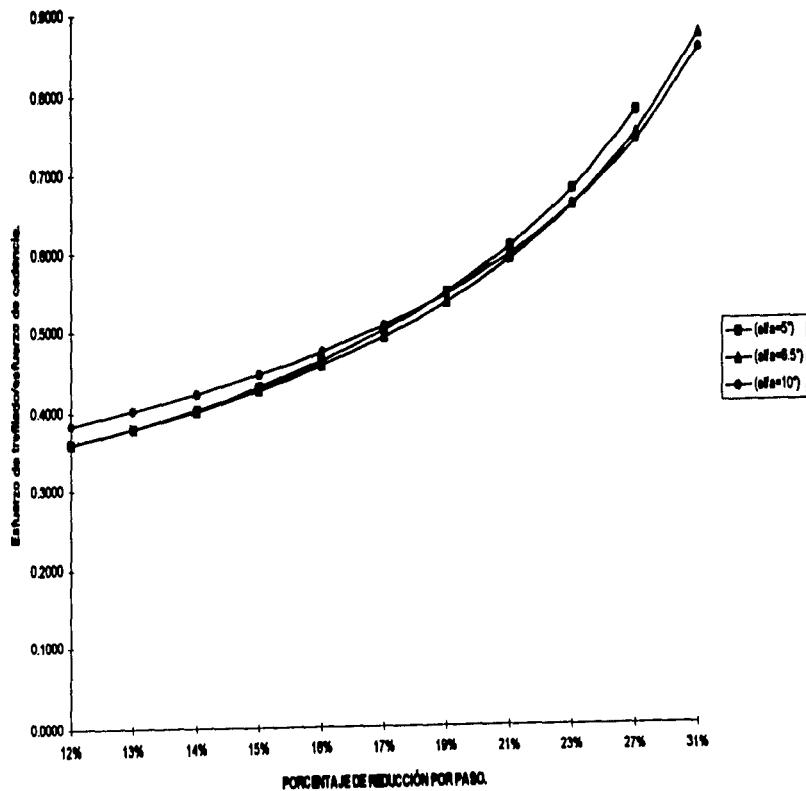
Gráfica No.- 04

ESFUERZO DE TREFILADO (ACERO 1017 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO).



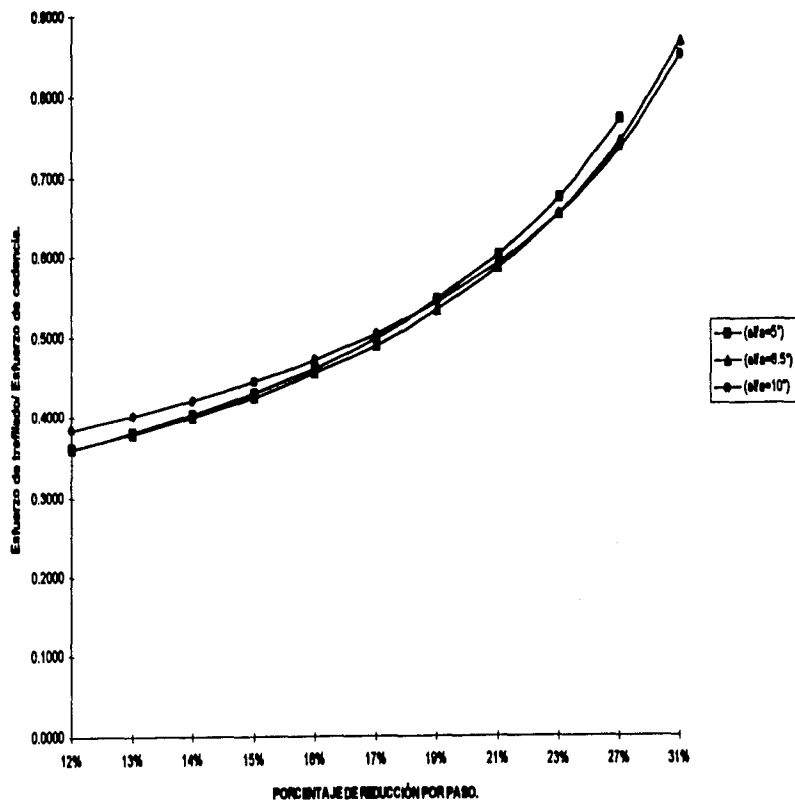


ESFUERZO DETREFILADO (ACERO 1007 LUBRICANTE JABÓN SÓDICO).



Gráfica No.- 06

ESFUERZO DE TREFILADO (ACERO 1007 LUBRICANTE JABÓN SOAP LUBE).



**TABLA XIII.**  
**ACERO 1035 LUBRICANTE ESTEARATO DE SÓDIO.**  
**ÁNGULO DE TREFILADO DE 10 GRADOS.**

MUESTRA	Diámetro	ÁREA	Reducción de	Reducción	Límite	Carga	Resis	elongación
Número	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	Área X	Área total.	Elas	Máx.	Tensil	(%)
			paso		(kg/mm <sup>2</sup> )	(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )	
1035	5.7	25.52	0%	0%	22.53	1110	43.50	22.04%
B1a-1	5.6	24.63	3%	3%	25.38	1075	43.65	22.93%
B1a-2	5.2	21.24	14%	17%	47.09	1200	56.50	5.01%
B1a-3	4.8	18.10	15%	29%	48.35	1146	63.33	3.24%
B1a-4	4.4	15.21	16%	40%	49.65	1020	67.08	2.85%
B1a-5	4.0	12.57	17%	51%	49.74	875	69.63	2.36%
B1a-6	3.6	10.18	19%	60%	56.49	755	74.17	2.06%
B1a-7	3.2	8.04	21%	68%	58.44	650	80.82	1.87%
B1a-8	2.8	6.16	23%	76%	59.28	525	85.26	1.37%
B1a-9	2.4	4.52	27%	82%	61.89	370	81.79	1.08%

**TABLA XIV.**  
**ACERO 1035 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO.**  
**ÁNGULO DE TREFILADO DE 13 GRADOS.**

MUESTRA	diámetro	ÁREA	Reducción de	Reducción	Límite Elas	Carga Máx.	Resis Tensil	Elongación
Número	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	Área X paso	Área total.	(kg/mm <sup>2</sup> )	(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )	(%)
1035	5.7	25.52	0%	0%	22.53	1110	43.50	22.04%
B2a-1	5.6	24.63	3%	3%	28.42	1125	45.68	20.57%
B2a-2	5.2	21.24	14%	17%	44.73	1180	55.56	4.82%
B2a-3	4.8	18.10	15%	29%	49.74	1140	63.00	3.83%
B2a-4	4.4	15.21	16%	40%	49.98	1050	69.05	2.75%
B2a-5	4	12.57	17%	51%	51.73	890	70.82	2.26%
B2a-6	3.6	10.18	19%	60%	54.03	725	71.23	1.96%
B2a-7	3.2	8.04	21%	68%	55.95	575	71.50	1.77%
B2a-8	2.8	6.16	23%	76%	56.84	490	79.58	1.37%
B2a-9	2.4	4.52	27%	82%	60.79	365	80.68	0.98%
B2a-10	2	3.14	31%	88%	63.66	255	81.17	0.68%

**TABLA XV.**  
**ACERO 1035 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO.**  
**ÁNGULO DE TREFILADO DE 20 GRADOS.**

<b>MUESTRA</b>	<b>diámetro</b>	<b>ÁREA</b>	<b>Reducción de</b>	<b>Reducción</b>	<b>Límite Elás</b>	<b>Carga Máx.</b>	<b>Resis</b>	<b>Elongación</b>
<b>Número</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm<sup>2</sup>)</b>	<b>de</b>	<b>Área total.</b>	<b>(kg/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg)</b>	<b>Tensil</b>	<b>(%)</b>
			<b>Área X</b>				<b>(kg/mm<sup>2</sup>)</b>	
			<b>paso</b>					
1035	5.7	25.52	0%	0%	22.53	1110	43.50	22.04%
B3a-1	5.6	24.63	3%	3%	26.39	1100	44.66	17.12%
B3a-2	5.2	21.24	14%	17%	49.44	1290	60.74	2.95%
B3a-3	4.8	18.10	15%	29%	50.29	1160	64.10	2.65%
B3a-4	4.4	15.21	16%	40%	50.97	1055	69.38	2.36%
B3a-5	4	12.57	17%	51%	51.73	890	70.82	1.96%
B3a-6	3.6	10.18	19%	60%	52.07	725	71.23	1.87%
B3a-7	3.2	8.04	21%	68%	56.57	575	71.50	1.57%
B3a-8	2.8	6.16	23%	76%	60.09	480	77.95	1.18%
B3a-9	2.4	4.52	27%	82%	66.31	365	80.68	0.88%
B3a-10	2	3.14	31%	88%	66.84	260	82.76	0.49%

**TABLA XVI.****ACERO 1035 LUBRICANTE JABÓN SODICO.****ÁNGULO DE TREFILADO DE 10 GRADOS.**

<b>MUESTRA</b>	<b>Diámetro</b>	<b>AREA</b>	<b>Reducción de</b>	<b>Reducción</b>	<b>Límite Elas</b>	<b>Carga Máx.</b>	<b>Resis</b>	<b>Elongación</b>
<b>Número</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Área X</b>	<b>Área total.</b>	<b>(kg/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg)</b>	<b>Tensil</b>	<b>(%)</b>
			<b>paso</b>				<b>(kg/mm<sup>2</sup>)</b>	
1035	5.7	25.52	0%	0%	22.53	1110	43.50	22.04%
B1b-1	5.6	24.63	3%	3%	29.44	1110	45.07	23.22%
B1b-2	5.2	21.24	14%	17%	47.09	1225	57.68	3.64%
B1b-3	4.8	18.10	15%	29%	49.74	1175	64.93	3.34%
B1b-4	4.4	15.21	16%	40%	51.30	1050	69.05	3.05%
B1b-5	4	12.57	17%	51%	51.73	925	73.61	2.55%
B1b-6	3.6	10.18	19%	60%	53.05	750	73.68	2.26%
B1b-7	3.2	8.04	21%	68%	59.06	650	80.82	2.26%
B1b-8	2.8	6.16	23%	76%	60.09	502	81.53	1.37%

**TABLA XVII.**  
**ACERO 1035 LUBRICANTE JABÓN SODICO.**  
**ÁNGULO DE TREFILADO 13 GRADOS.**

MUESTRA	Diámetro	ÁREA	Reducción de	Reducción	Límite Elas	Carga Máx.	Resis Tensil	Elongación
Número	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	Área X paso	Área total.	(kg/mm <sup>2</sup> )	(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )	(%)
1035	5.7	25.52	0%	0%	22.53	1110	43.50	22.04%
B2b-1	5.6	24.63	3%	3%	28.42	1100	44.66	18.11%
B2b-2	5.2	21.24	14%	17%	47.09	1250	58.86	3.74%
B2b-3	4.8	18.10	15%	29%	48.35	1180	65.21	3.44%
B2b-4	4.4	15.21	16%	40%	49.32	1025	67.41	2.95%
B2b-5	4	12.57	17%	51%	49.74	900	71.62	2.65%
B2b-6	3.6	10.18	19%	60%	51.58	750	73.68	2.65%
B2b-7	3.2	8.04	21%	68%	55.95	610	75.85	1.96%
B2b-8	2.8	6.16	23%	76%	56.84	500	81.20	1.67%
B2b-9	2.4	4.52	27%	82%	57.47	370	81.79	1.50%
B2b-10	2	3.14	31%	88%	60.48	260	82.76	1.10%

**TABLA XVIII.**

**ACERO 1035 LUBRICANTE JABÓN SÓDICO.**

**ÁNGULO DE TREFILADO DE 20 GRADOS.**

<b>MUESTRA</b>	<b>Diámetro</b>	<b>ÁREA</b>	<b>Reducción de</b>	<b>Reducción</b>	<b>Límite Elás</b>	<b>Carga Máx.</b>	<b>Resis</b>	<b>Elongación</b>
<b>Número</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm<sup>2</sup>)</b>	<b>de</b>	<b>Área total.</b>	<b>(kg/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg)</b>	<b>Tensil</b>	<b>(%)</b>
			<b>Área X</b>				<b>(kg/mm<sup>2</sup>)</b>	
			<b>paso</b>					
1035	5.7	25.52	0%	0%	22.53	1110	43.50	22.04%
B3b-1	5.6	24.63	3%	3%	32.48	1160	47.10	17.32%
B3b-2	5.2	21.24	14%	17%	47.56	1260	59.33	3.83%
B3b-3	4.8	18.10	15%	29%	48.08	1150	63.55	3.34%
B3b-4	4.4	15.21	16%	40%	51.96	1060	69.71	2.65%
B3b-5	4	12.57	17%	51%	52.52	900	71.62	2.36%
B3b-6	3.6	10.18	19%	60%	53.05	750	73.68	1.67%
B3b-7	3.2	8.04	21%	68%	59.68	675	83.93	1.47%
B3b-8	2.8	6.16	23%	76%	60.90	525	85.26	1.37%
B3b-9	2.4	4.52	27%	82%	61.89	395	87.31	1.30%
B3b-10	2	3.14	31%	88%	79.58	300	95.49	1.28%



**TABLA XIX.**  
**ACERO 1035 LUBRICANTE JABÓN SOAP LUBE.**  
**ÁNGULO DE TREFILADO DE 10 GRADOS.**

<b>MUESTRA</b>	<b>Diámetro</b>	<b>ÁREA</b>	<b>Reducción de</b>	<b>Reducción</b>	<b>Límite Elás</b>	<b>Carga Máx.</b>	<b>Resis Tensil</b>	<b>Elongación</b>
<b>Número</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Área X paso</b>	<b>Área total.</b>	<b>(kg/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg)</b>	<b>(kg/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>(%)</b>
1035	5.7	25.52	0%	0%	22.53	1110	43.50	22.04%
B1d-1	5.6	24.63	3%	3%	26.39	1105	44.86	19.58%
B1d-2	5.2	21.24	14%	17%	45.91	1200	56.50	3.83%
B1d-3	4.8	18.10	15%	29%	52.50	1160	64.10	3.14%
B1d-4	4.4	15.21	16%	40%	52.61	1050	69.05	2.65%
B1d-5	4	12.57	17%	51%	55.70	900	71.62	2.46%
B1d-6	3.6	10.18	19%	60%	56.98	755	74.17	1.37%
B1d-7	3.2	8.04	21%	68%	59.06	650	80.82	1.08%
B1d-8	2.8	6.16	23%	76%	60.90	500	81.20	0.88%
B1d-9	2.4	4.52	27%	82%	61.89	360	79.58	0.49%

**TABLA XX.**  
**ACERO 1035 LUBRICANTE JABÓN SOAP LUBE.**  
**ÁNGULO DE TREFILADO DE 13 GRADOS.**

MUESTRA	Diámetro	ÁREA	Reducción de	Reducción	Límite Elás	Carga Máx.	Resis	Elongación
Número	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	de	Área total.	(kg/mm <sup>2</sup> )	(kg)	Tensil	(%)
			Área X				(kg/mm <sup>2</sup> )	
			paso					
1035	5.7	25.52	0%	0%	22.53	1110	43.50	22.04%
B2d-1	5.6	24.63	3%	3%	23.14	1100	44.66	19.09%
B2d-2	5.2	21.24	14%	17%	44.73	1175	55.33	3.74%
B2d-3	4.8	18.10	15%	29%	49.74	1150	63.55	2.85%
B2d-4	4.4	15.21	16%	40%	50.97	1025	67.41	2.65%
B2d-5	4	12.57	17%	51%	53.71	860	68.44	2.55%
B2d-6	3.6	10.18	19%	60%	56.49	750	73.68	1.37%
B2d-7	3.2	8.04	21%	68%	57.20	600	74.60	1.18%
B2d-8	2.8	6.16	23%	76%	58.46	460	74.71	1.08%
B2d-9	2.4	4.52	27%	82%	59.68	360	79.58	0.68%

**TABLA XXI.**  
**ACERO 1035 LUBRICANTE JABÓN SOAP LUBE**  
**ÁNGULO DE TREFILADO DE 20 GRADOS.**

MUESTRA	Diámetro	ÁREA	Reducción de	Reducción de	Límite Elas	Carga Máx.	Resis Tensil	Elongación
Número	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	Área X paso	Área total.	(kg/mm <sup>2</sup> )	(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )	(%)
1035	5.7	25.52	0%	0%	22.53	1110	43.50	22.04%
B3d-1	5.6	24.63	3%	3%	24.36	1150	46.69	16.04%
B3d-2	5.2	21.24	14%	17%	47.09	1225	57.68	3.93%
B3d-3	4.8	18.10	15%	29%	52.50	1175	64.93	2.85%
B3d-4	4.4	15.21	16%	40%	54.26	1030	67.74	2.65%
B3d-5	4	12.57	17%	51%	54.91	890	70.82	2.26%
B3d-6	3.6	10.18	19%	60%	57.96	805	79.09	1.87%
B3d-7	3.2	8.04	21%	68%	59.68	650	80.82	1.27%
B3d-8	2.8	6.16	23%	76%	60.09	550	89.32	0.88%
B3d-9	2.4	4.52	27%	82%	63.00	370	81.79	0.19%
B3d-10	2	3.14	31%	88%	63.66	260	82.76	0.09%

**TABLA XXII.**

**ACERO 1035 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO.**

**DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE TREFILADO.**

No de paso.	Radio inicial. (mm)	Radio final. (mm)	ESFUERZO DE TREFILADO:			Reducción	Esfuerzo de trefilado ( $\sigma/\sigma_0$ )		
			( $\alpha=5^\circ$ )	( $\alpha=6.5^\circ$ )	( $\alpha=10^\circ$ )		( $\alpha=5^\circ$ )	( $\alpha=6.5^\circ$ )	( $\alpha=10^\circ$ )
1	3.2	3	8.0783	8.0891	8.6372	0.1211	0.3585	0.3590	0.3833
2	3	2.8	9.6120	10.7403	10.5730	0.1289	0.3788	0.3779	0.4006
3	2.8	2.6	18.9347	17.8783	20.7935	0.1378	0.4021	0.3997	0.4206
4	2.6	2.4	20.7549	21.1356	22.3147	0.1479	0.4292	0.4250	0.4437
5	2.4	2.2	22.8958	22.7275	24.0059	0.1597	0.4611	0.4547	0.4710
6	2.2	2	24.8262	25.3567	26.0453	0.1736	0.4992	0.4902	0.5035
7	2	1.8	30.8074	28.8185	28.2764	0.1900	0.5454	0.5333	0.5431
8	1.8	1.6	35.2181	32.8342	33.4972	0.2099	0.6026	0.5868	0.5921
9	1.6	1.4	40.0445	37.2255	39.3306	0.2344	0.6755	0.6549	0.6545
10	1.4	1.2	47.7508	45.2596	48.8605	0.2653	0.7715	0.7445	0.7368
11	1.2	1		55.2548	56.8259	0.3056		0.8679	0.8501

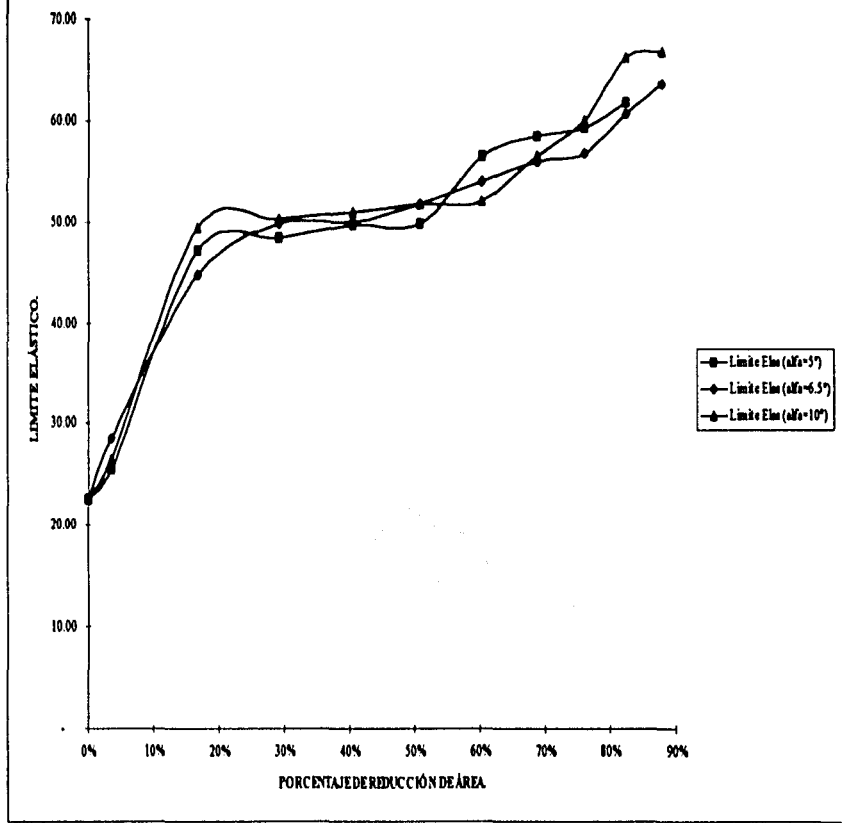
**TABLA XXIII.**  
**ACERO 1035 LUBRICANTE JABÓN SÓDICO.**  
**DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE TREFILADO.**

No de paso.	Radio inicial. (mm)	Radio final. (mm)	ESFUERZO DE TREFILADO:			Reducción	Esfuerzo de trefilado ( $\sigma_t/\sigma_0$ )		
			( $\alpha=5^\circ$ )	( $\alpha=6.5^\circ$ )	( $\alpha=10^\circ$ )		( $\alpha=5^\circ$ )	( $\alpha=6.5^\circ$ )	( $\alpha=10^\circ$ )
1	3.2	3	8.0783	8.0891	8.6372	0.1211	0.3585	0.3590	0.3833
2	3	2.8	11.1499	10.7403	13.0129	0.1289	0.3788	0.3779	0.4006
3	2.8	2.6	18.9347	18.8193	20.0014	0.1378	0.4021	0.3997	0.4206
4	2.6	2.4	21.3479	20.5485	21.3338	0.1479	0.4292	0.4250	0.4437
5	2.4	2.2	23.6539	22.4284	24.4705	0.1597	0.4611	0.4547	0.4710
6	2.2	2	25.8192	24.3815	26.4460	0.1736	0.4992	0.4902	0.5035
7	2	1.8	28.9322	27.5086	28.8100	0.1900	0.5454	0.5333	0.5431
8	1.8	1.6	35.5928	32.8342	35.3377	0.2099	0.6026	0.5868	0.5921
9	1.6	1.4	40.5930	37.2255	39.8621	0.2344	0.6755	0.6549	0.6545
10	1.4	1.2		42.7909	45.6031	0.2653		0.7445	0.7368
11	1.2	1		52.4921	67.6499	0.3056		0.8679	0.8501

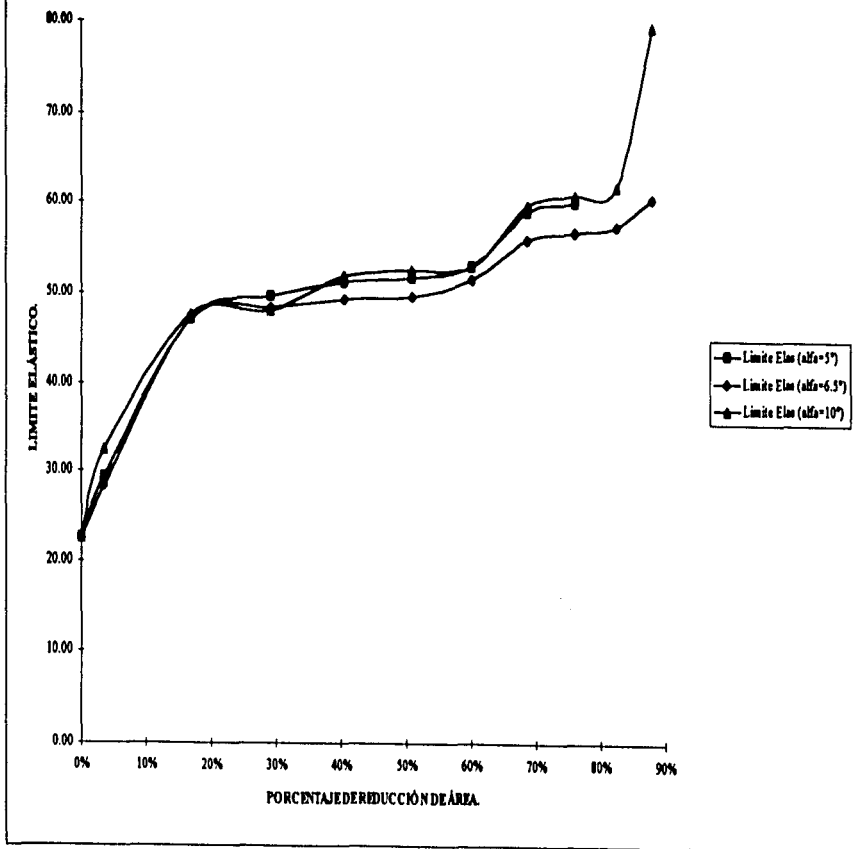
**TABLA XXIV.**  
**ACERO 1035 LUBRICANTE JABÓN SOAP LUBE.**  
**DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE TREFILADO.**

No de paso.	Radio inicial. (mm)	Radio final. (mm)	ESFUERZO DE TREFILADO:			Reducción	Esfuerzo de trefilado ( $\sigma_t/\sigma_0$ )		
			( $\alpha=5^\circ$ )	( $\alpha=6.5^\circ$ )	( $\alpha=10^\circ$ )		( $\alpha=5^\circ$ )	( $\alpha=6.5^\circ$ )	( $\alpha=10^\circ$ )
1	3.2	3	8.0783	8.0891	8.6372	0.1211	0.3585	0.3590	0.3833
2	3	2.8	9.9965	8.7457	9.7597	0.1289	0.3788	0.3779	0.4006
3	2.8	2.6	18.4613	17.8783	19.8034	0.1378	0.4021	0.3997	0.4206
4	2.6	2.4	22.5339	21.1356	23.2955	0.1479	0.4292	0.4250	0.4437
5	2.4	2.2	24.2604	23.1761	25.5547	0.1597	0.4611	0.4547	0.4710
6	2.2	2	27.8053	26.3320	27.6481	0.1736	0.4992	0.4902	0.5035
7	2	1.8	31.0753	30.1285	31.4776	0.1900	0.5454	0.5333	0.5431
8	1.8	1.6	35.5928	33.5639	35.3377	0.2099	0.6026	0.5868	0.5921
9	1.6	1.4	41.1416	38.2890	39.3306	0.2344	0.6755	0.6549	0.6545
10	1.4	1.2	47.7508	44.4367	46.4174	0.2653	0.7715	0.7445	0.7368
11	1.2	1			54.1199	0.3056			0.8501

ACERO 1035 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO.



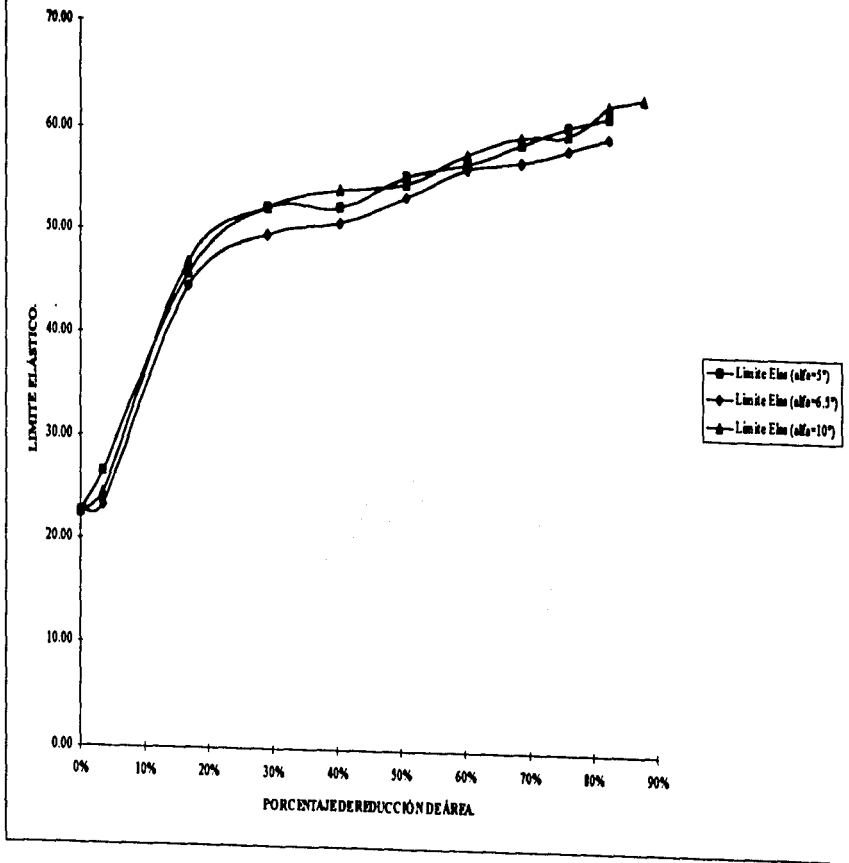
ACERO 1635 LUBRICANTE JABÓN SÓDICO.



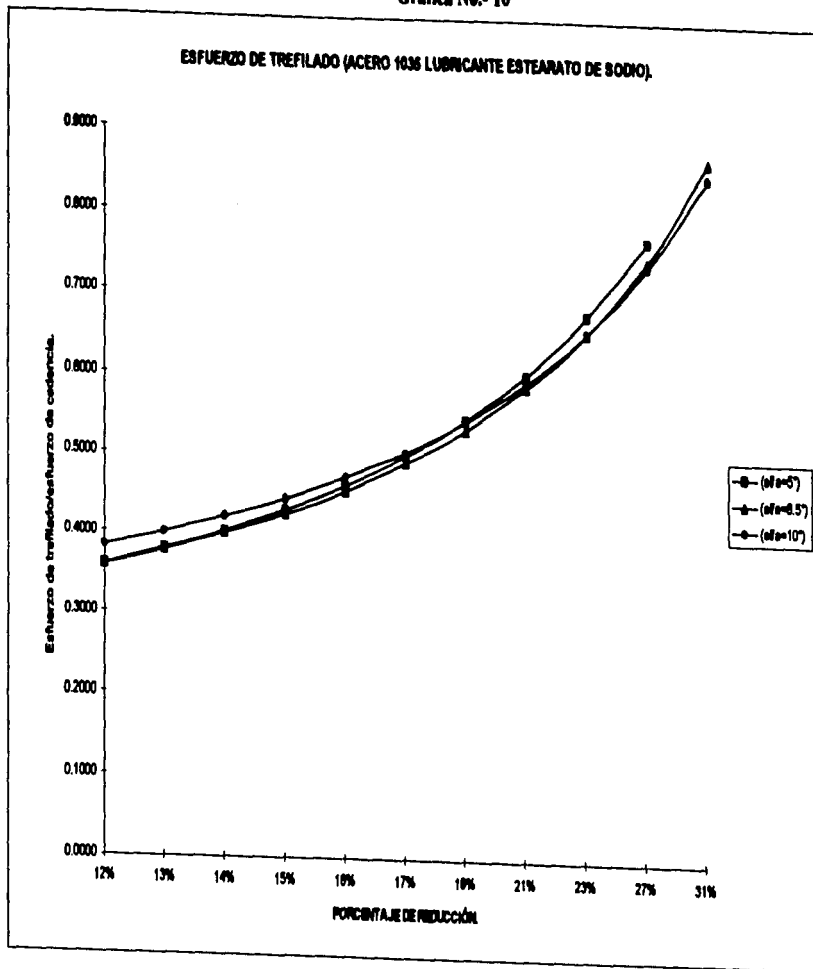


Grafica No.-09

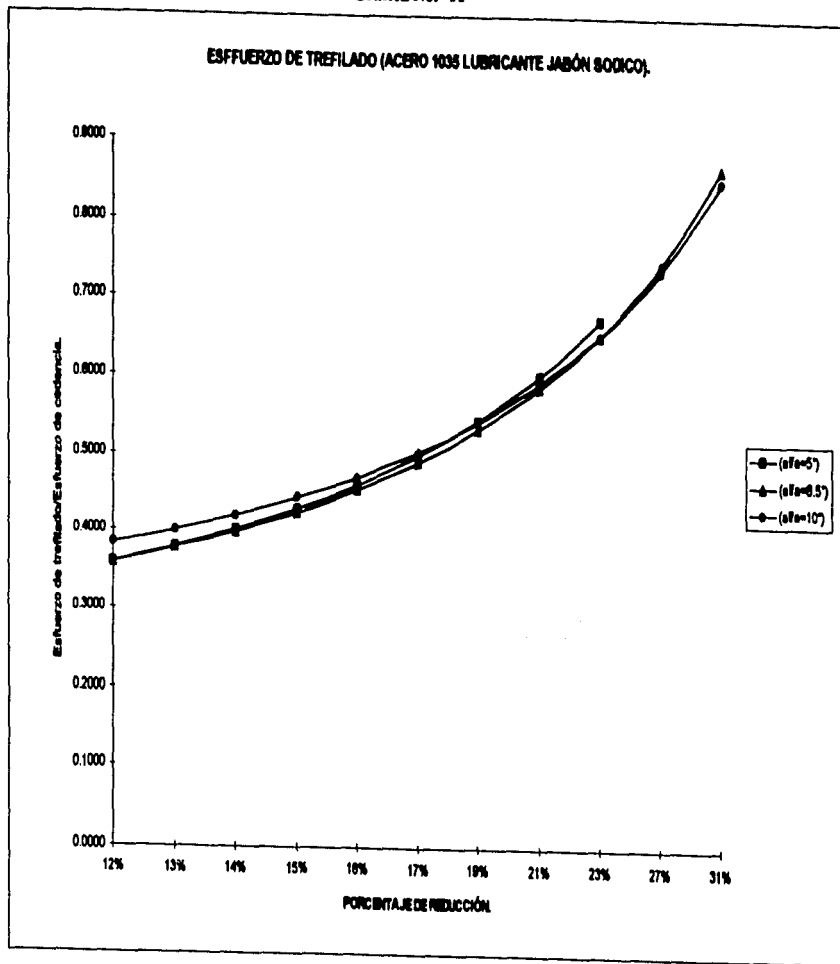
ACERO 1035 LUBRICANTE JABÓN SOAP LUBE



Grafica No.- 10

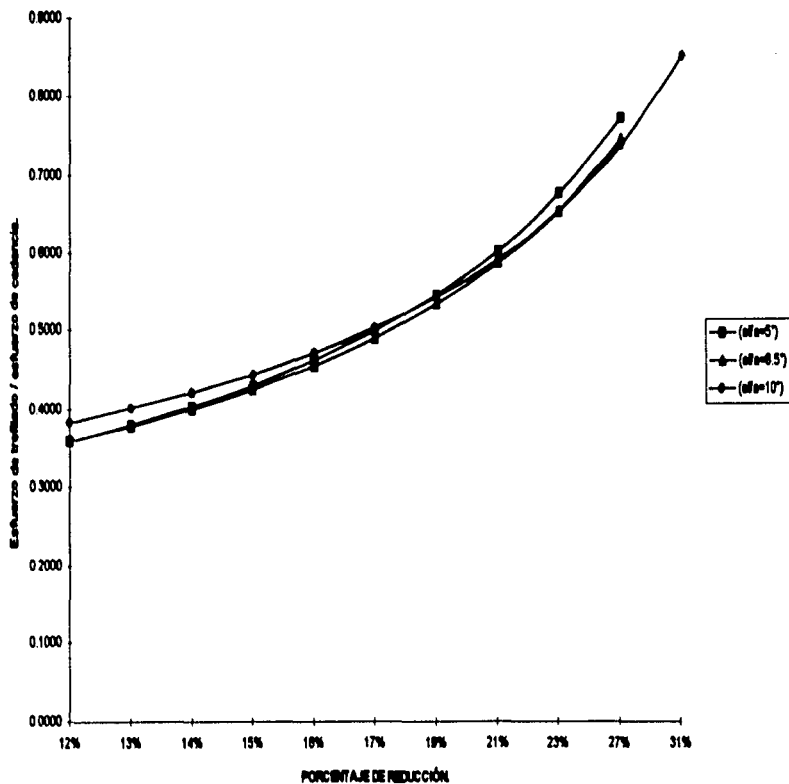


Grafica No.- 11



Grafica No.-12

ESFUERZO DE TREFILADO (ACERO 1035 LUBRICANTE JABÓN SOAP LUBE).



**TABLA XXV.**  
**ACERO 1050 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO.**  
**ÁNGULO DE TREFILADO DE 10 GRADOS.**

MUESTRA	Diámetro	ÁREA	Reducción de Área X paso	Reducción Área total.	Límite Elas (kg/mm2)	Carga Máx. (kg)	Resis Tensil (kg/mm2)	Elongación (%)
Número	(mm)	(mm <sup>2</sup> )						
1050	6.4	32.17	0%	0%	51.29	2790	86.73	11.41%
C1a-1	6	28.27	12%	12%	87.00	2850	100.80	3.83%
C1a-2	5.6	24.63	13%	23%	87.09	2670	108.40	5.31%
C1a-3	5.2	21.24	14%	34%	88.29	2400	113.01	3.34%
C1a-4	4.8	18.10	15%	44%	88.42	2168	119.81	3.24%
C1a-5	4.4	15.21	16%	53%	88.78	1920	126.27	3.24%
C1a-6	4	12.57	17%	61%	89.13	1605	127.72	2.85%
C1a-7	3.6	10.18	19%	68%	89.89	1350	132.63	2.65%
C1a-8	3.2	8.04	21%	75%	106.31	1095	136.15	2.36%
C1a-9	2.8	6.16	23%	81%	110.92	863	140.15	2.06%
C1a-10	2.4	4.52	27%	86%	117.60	742	164.02	1.96%

**TABLA XXVI.**  
**ACERO 1050**  
**LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO.**  
**ÁNGULO DE TREFILADO DE 13 GRADOS.**

MUESTRA	Diámetro	ÁREA	Reducción de	Reducción	Límite Elas	Carga Máx.	Resis Tensil	Elongación
Número	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	de Área X paso	Área total.	(kg/mm <sup>2</sup> )	(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )	(%)
1050	6.4	32.17	0%	0%	51.29	2790	86.73	11.41%
C2a-1	6	28.27	12%	12%	77.99	2790	98.68	6.20%
C2a-2	5.6	24.63	13%	23%	87.70	2663	108.12	4.33%
C2a-3	5.2	21.24	14%	34%	92.53	2400	113.01	3.54%
C2a-4	4.8	18.10	15%	44%	93.95	2115	116.88	3.34%
C2a-5	4.4	15.21	16%	53%	95.36	1875	123.31	2.85%
C2a-6	4	12.57	17%	61%	95.49	1605	127.72	2.75%
C2a-7	3.6	10.18	19%	68%	98.24	1331	130.76	2.65%
C2a-8	3.2	8.04	21%	75%	112.78	1065	132.42	2.55%
C2a-9	2.8	6.16	23%	81%	124.24	862	139.99	2.36%
C2a-10	2.4	4.52	27%	86%	145.89	735	162.47	2.26%

**TABLA XXVII.**

**ACERO 1050 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO.**

**ÁNGULO DE TREFILADO DE 20 GRADOS.**

<b>MUESTRA</b>	<b>Diámetro</b>	<b>ÁREA</b>	<b>Reducción de</b>	<b>Reducción</b>	<b>Límite Elás</b>	<b>Carga</b>	<b>Resis</b>	<b>Elongación</b>
<b>Número</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Área X</b>	<b>Área total.</b>	<b>(kg/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Máx.</b>	<b>Tensil</b>	<b>(%)</b>
			<b>paso</b>			<b>(kg)</b>	<b>(kg/mm<sup>2</sup>)</b>	
1050	6.4	32.17	0%	0%	51.29	2790	86.73	11.41%
C3a-1	6	28.27	12%	12%	84.88	2880	101.86	5.31%
C3a-2	5.6	24.63	13%	23%	85.26	2670	108.40	4.42%
C3a-3	5.2	21.24	14%	34%	88.29	2430	114.42	4.13%
C3a-4	4.8	18.10	15%	44%	88.42	2145	118.54	3.64%
C3a-5	4.4	15.21	16%	53%	88.78	1875	123.31	2.95%
C3a-6	4	12.57	17%	61%	91.51	1606	127.80	2.85%
C3a-7	3.6	10.18	19%	68%	92.05	1335	131.16	2.55%
C3a-8	3.2	8.04	21%	75%	103.57	1095	136.15	2.36%
C3a-9	2.8	6.16	23%	81%	127.97	907	147.30	2.16%
C3a-10	2.4	4.52	27%	86%	152.52	739	163.35	1.87%
C3a-11	2.0	3.1416	31%	90%	167.11	540	171.89	1.37%

**TABLA XXVII.**  
**ACERO 1050 LUBRICANTE JABÓN SODICO.**  
**ÁNGULO DE TREFILADO DE 10 GRADOS.**

MUESTRA	Diámetro	ÁREA	Reducción de	Reducción	Límite Elas	Carga Máx.	Resis Tensil	Elongación
Número	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	Área X paso	Área total.	(kg/mm <sup>2</sup> )	(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )	(%)
1050	6.4	32.17	0%	0%	51.29	2790	86.73	11.41%
C1b-1	6	28.27	12%	12%	85.94	2887	102.11	4.92%
C1b-2	5.6	24.63	13%	23%	87.70	2700	109.62	4.33%
C1b-3	5.2	21.24	14%	34%	92.53	2422	114.05	4.13%
C1b-4	4.8	18.10	15%	44%	93.12	2250	124.34	3.54%
C1b-5	4.4	15.21	16%	53%	105.23	1950	128.24	3.34%
C1b-6	4	12.57	17%	61%	107.43	1660	132.10	3.14%
C1b-7	3.6	10.18	19%	68%	108.07	1395	137.05	2.36%
C1b-8	3.2	8.04	21%	75%	111.91	1117	138.89	2.16%
C1b-9	2.8	6.16	23%	81%	118.23	900	146.16	1.96%



**TABLA XXIX.**  
**ACERO 1050 LUBRICANTE JABÓN SODICO.**  
**ÁNGULO DE TREFILADO 13 GRADOS.**

MUESTRA	Diámetro	ÁREA	Reducción de	Reducción	Límite Elás	Carga	Resis	Elongación
Número	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	Área X	Área total.	(kg/mm <sup>2</sup> )	Máx.	Tensil	(%)
			paso			(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )	
1050	6.4	32.17	0%	0%	51.29	2790	86.73	11.41%
C2b-1	6	28.27	12%	12%	85.66	2857	101.05	5.41%
C2b-2	5.6	24.63	13%	23%	89.52	2647	107.47	5.21%
C2b-3	5.2	21.24	14%	34%	95.35	2400	113.01	4.42%
C2b-4	4.8	18.10	15%	44%	105.00	2150	118.81	3.83%
C2b-5	4.4	15.21	16%	53%	111.80	1925	126.60	3.54%
C2b-6	4	12.57	17%	61%	115.39	1600	127.32	3.34%
C2b-7	3.6	10.18	19%	68%	117.89	1350	132.63	2.95%
C2b-8	3.2	8.04	21%	75%	123.97	1117	138.89	2.36%
C2b-9	2.8	6.16	23%	81%	128.30	900	146.16	0.00%
C2b-10	2.4	4.52	27%	86%	135.94	724	160.04	1.99%

**TABLA XXX.**  
**ACERO 1050 LUBRICANTE JABÓN SODICO.**  
**ÁNGULO DE TREFILADO DE 20 GRADOS.**

MUESTRA	Diámetro	ÁREA	Reducción de	Reducción	Límite Elas	Carga	Resis	Elongación
Número	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	de Área X	Área total.	(kg/mm <sup>2</sup> )	Máx.	Tensil	(%)
			paso			(kg)	(kg/mm <sup>2</sup> )	
1050	6.4	32.17	0%	0%	51.29	2790	86.73	11.41%
C3b-1	6	28.27	12%	12%	86.47	2880	101.86	5.11%
C3b-2	5.6	24.63	13%	23%	88.92	2677	108.69	4.33%
C3b-3	5.2	21.24	14%	34%	94.65	2407	113.34	4.03%
C3b-4	4.8	18.10	15%	44%	99.47	2200	121.58	3.64%
C3b-5	4.4	15.21	16%	53%	111.15	1940	127.59	3.34%
C3b-6	4	12.57	17%	61%	113.40	1640	130.51	2.95%
C3b-7	3.6	10.18	19%	68%	114.45	1350	132.63	2.46%
C3b-8	3.2	8.04	21%	75%	117.50	1140	141.75	2.06%
C3b-9	2.8	6.16	23%	81%	121.80	904	146.81	1.87%
C3b-10	2.4	4.52	27%	86%	139.26	712	157.39	1.87%
C3b-11	2.0	3.1416	31%	90%	171.89	585	186.21	1.57%

**TABLA XXXI.**

**ACERO 1050 LUBRICANTE JABÓN SOAP LUBE.**

**ÁNGULO DE TREFILADO DE 10 GRADOS.**

<b>MUESTRA</b>	<b>Diámetro</b>	<b>ÁREA</b>	<b>Reducción</b>	<b>Reducción</b>	<b>Límite Elas</b>	<b>Carga</b>	<b>Resis</b>	<b>Elongación</b>
<b>Número</b>	<b>(mm)</b>	<b>(mm<sup>2</sup>)</b>	<b>de</b>	<b>Área total.</b>	<b>(kg/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>Máx.</b>	<b>Tensil</b>	<b>(%)</b>
			<b>Área X</b>			<b>(kg)</b>	<b>(kg/mm<sup>2</sup>)</b>	
			<b>paso</b>					
1050	6.4	32.17	0%	0%	51.29	2790	86.73	11.41%
C1d-1	6	28.27	12%	12%	85.41	2850	100.80	4.62%
C1d-2	5.6	24.63	13%	23%	88.92	2730	110.84	4.42%
C1d-3	5.2	21.24	14%	34%	95.35	2407	113.34	4.33%
C1d-4	4.8	18.10	15%	44%	99.47	2175	120.19	4.33%
C1d-5	4.4	15.21	16%	53%	100.10	1935	127.26	3.44%
C1d-6	4	12.57	17%	61%	106.24	1657	131.86	3.34%
C1d-7	3.6	10.18	19%	68%	109.74	1380	135.58	2.46%
C1d-8	3.2	8.04	21%	75%	111.91	1155	143.61	2.46%
C1d-9	2.8	6.16	23%	81%	124.24	930	151.03	2.36%

**TABLA XXXII.**

**ACERO 1050 LUBRICANTE JABÓN SOAP LUBE.**

**ÁNGULO DE TREFILADO DE 13 GRADOS.**

MUESTRA	Diámetro	ÁREA	Reducción de	Reducción	Límite Elas	Carga	Resis	Elongación
Número	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	Área X	Área total.	(kg/mm2)	Máx.	Tensil	(%)
			paso			(kg)	(kg/mm2)	
1007	6.4	32.17	0%	0%	51.29	2790	86.73	11.41%
C2d-1	6	28.27	12%	12%	83.82	2835	100.27	4.42%
C2d-2	5.6	24.63	13%	23%	90.74	2685	109.01	3.54%
C2d-3	5.2	21.24	14%	34%	95.35	2430	114.42	3.44%
C2d-4	4.8	18.10	15%	44%	99.47	2115	116.88	3.34%
C2d-5	4.4	15.21	16%	53%	110.49	1845	121.34	3.14%
C2d-6	4	12.57	17%	61%	112.20	1620	128.92	2.85%
C2d-7	3.6	10.18	19%	68%	135.08	1395	137.05	2.55%

**TABLA XXXIII.**

**ACERO 1050 LUBRICANTE JABÓN SOAP LUBE  
ÁNGULO DE TREFILADO DE 20 GRADOS.**

MUESTRA	Diámetro	ÁREA	Reducción de	Reducción	Limite Elas	Carga	Resis	Elongación
Numero	(mm)	(mm <sup>2</sup> )	Área X paso	Área total.	(kg/mm2)	Máx. (kg)	Tensil (kg/mm2)	(%)
1050	6.4	32.17	0%	0%	51.29	2790	86.73	11.41%
C3d-1	6	28.27	12%	12%	88.07	3000	106.10	4.52%
C3d-2	5.6	24.63	13%	23%	88.92	2625	106.58	4.33%
C3d-3	5.2	21.24	14%	34%	90.41	2340	110.18	4.33%
C3d-4	4.8	18.10	15%	44%	96.16	2160	119.37	3.14%
C3d-5	4.4	15.21	16%	53%	102.60	1935	127.26	2.85%
C3d-6	4	12.57	17%	61%	103.45	1605	127.72	2.46%
C3d-7	3.6	10.18	19%	68%	104.63	1380	135.58	2.45%
C3d-8	3.2	8.04	21%	75%	111.91	1110	138.02	2.43%
C3d-9	2.8	6.16	23%	81%	121.80	915	148.60	2.36%
C3d-10	2.4	4.52	27%	86%	145.89	735	162.47	1.57%
C3d-11	2.0	3.1416	31%	90%	148.01	593	188.76	1.08%

**TABLA XXXIV.**  
**ACERO 1050 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO.**  
**DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE TREFILADO.**

No de paso.	Radio inicial. (mm)	Radio final. (mm)	ESFUERZO DE TREFILADO:			Reducción Esfuerzo de trefilado ( $\alpha/\alpha_0$ )			
			( $\alpha=5^\circ$ )	( $\alpha=6.5^\circ$ )	( $\alpha=10^\circ$ )	( $\alpha=5^\circ$ )	( $\alpha=6.5^\circ$ )	( $\alpha=10^\circ$ )	
1	3.2	3	18.3877	18.4123	19.6598	0.1211	0.3585	0.3590	0.3833
2	3	2.8	32.9566	29.4714	34.0071	0.1289	0.3788	0.3779	0.4006
3	2.8	2.6	35.0199	35.0499	35.8582	0.1378	0.4021	0.3997	0.4206
4	2.6	2.4	37.8956	39.3198	39.1765	0.1479	0.4292	0.4250	0.4437
5	2.4	2.2	40.7710	42.7179	41.6447	0.1597	0.4611	0.4547	0.4710
6	2.2	2	44.3178	46.7479	44.7058	0.1736	0.4992	0.4902	0.5035
7	2	1.8	48.6060	50.9302	49.6972	0.1900	0.5454	0.5333	0.5431
8	1.8	1.6	54.1732	57.6513	54.5044	0.2099	0.6026	0.5868	0.5921
9	1.6	1.4	71.8178	73.8576	67.7938	0.2344	0.6755	0.6549	0.6545
10	1.4	1.2	85.5756	92.5009	94.2907	0.2653	0.7715	0.7445	0.7368
11	1.2	1	106.2520	126.6257	129.6623	0.3056	0.9035	0.8679	0.8501

**TABLA XXXV.**  
**ACERO 1050 LUBRICANTE JABÓN SODICO.**  
**DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE TREFILADO.**

No de paso.	Radio inicial. (mm)	Radio final. (mm)	ESFUERZO DE TREFILADO:			Reducción	Esfuerzo de trefilado ( $\sigma_t/\sigma_0$ )		
			(alfa=5°)	(alfa=6.5°)	(alfa=10°)		(alfa=5°)	(alfa=6.5°)	(alfa=10°)
1	3.2	3	18.3877	18.4123	19.6598	0.1211	0.3585	0.3590	0.3833
2	3	2.8	32.5547	32.3718	34.6447	0.1289	0.3788	0.3779	0.4006
3	2.8	2.6	35.2648	35.7801	37.3950	0.1378	0.4021	0.3997	0.4206
4	2.6	2.4	39.7146	40.5204	41.9972	0.1479	0.4292	0.4250	0.4437
5	2.4	2.2	42.9370	47.7435	46.8502	0.1597	0.4611	0.4547	0.4710
6	2.2	2	52.5248	54.8079	55.9650	0.1736	0.4992	0.4902	0.5035
7	2	1.8	58.5876	61.5407	61.5813	0.1900	0.5454	0.5333	0.5431
8	1.8	1.6	65.1263	69.1816	67.7669	0.2099	0.6026	0.5868	0.5921
9	1.6	1.4	75.5976	81.1864	76.9089	0.2344	0.6755	0.6549	0.6545
10	1.4	1.2	91.2138	95.5238	89.7437	0.2653	0.7715	0.7445	0.7368
11	1.2	1		117.9921	118.3874	0.3056		0.8679	0.8501

**TABLA XXXVI.**

**ACERO 1050 LUBRICANTE JABÓN SOAP LUBE.**

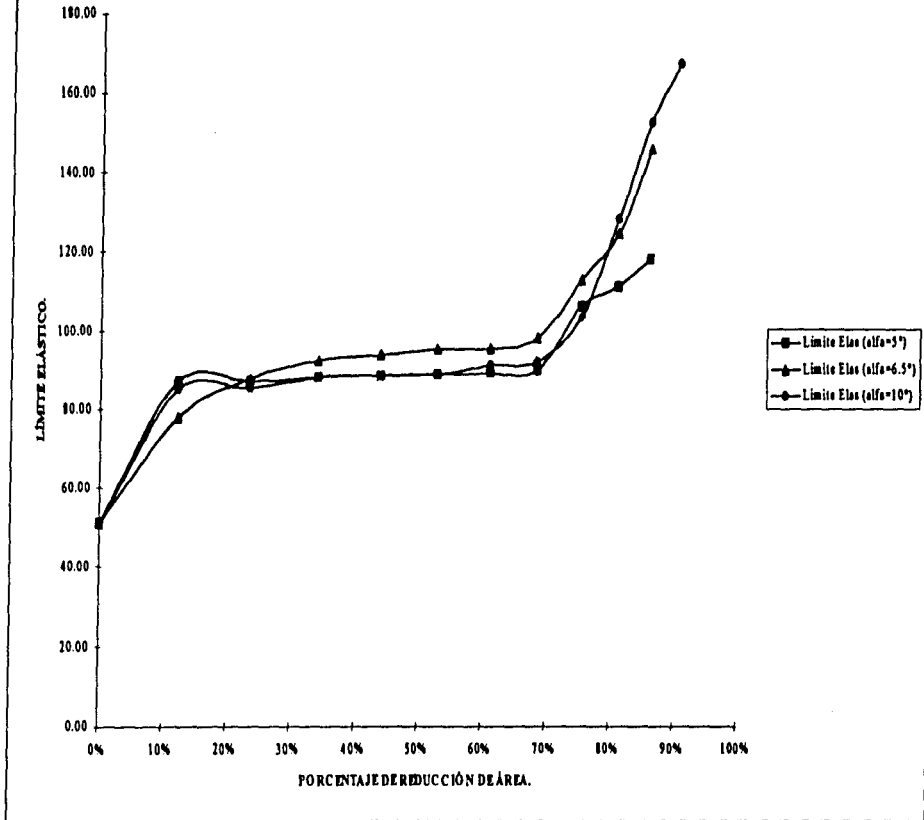
**DETERMINACIÓN DEL ESFUERZO DE TREFILADO.**

No de paso.	Radio inicial. (mm)	Radio final. (mm)	ESFUERZO DE TREFILADO:			Reducción	Esfuerzo de trefilado ( $\sigma_f/\sigma_0$ )		
			(alfa=5°)	(alfa=6.5°)	(alfa=10°)		(alfa=5°)	(alfa=6.5°)	(alfa=10°)
1	3.2	3	18.3877	18.4123	19.6598	0.1211	0.3585	0.3590	0.3833
2	3	2.8	32.3537	31.6767	35.2823	0.1289	0.3788	0.3779	0.4006
3	2.8	2.6	35.7546	36.2669	37.3950	0.1378	0.4021	0.3997	0.4206
4	2.6	2.4	40.9273	40.5204	40.1168	0.1479	0.4292	0.4250	0.4437
5	2.4	2.2	45.8674	45.2307	45.2886	0.1597	0.4611	0.4547	0.4710
6	2.2	2	49.9642	54.1631	51.6600	0.1736	0.4992	0.4902	0.5035
7	2	1.8	57.9367	59.8430	56.1794	0.1900	0.5454	0.5333	0.5431
8	1.8	1.6	66.1328	79.2706	61.9500	0.2099	0.6026	0.5868	0.5921
9	1.6	1.4	75.5976		73.2466	0.2344	0.6755		0.6545
10	1.4	1.2	95.8497		89.7437	0.2653	0.7715		0.7368
11	1.2	1			124.0249	0.3056			0.8501



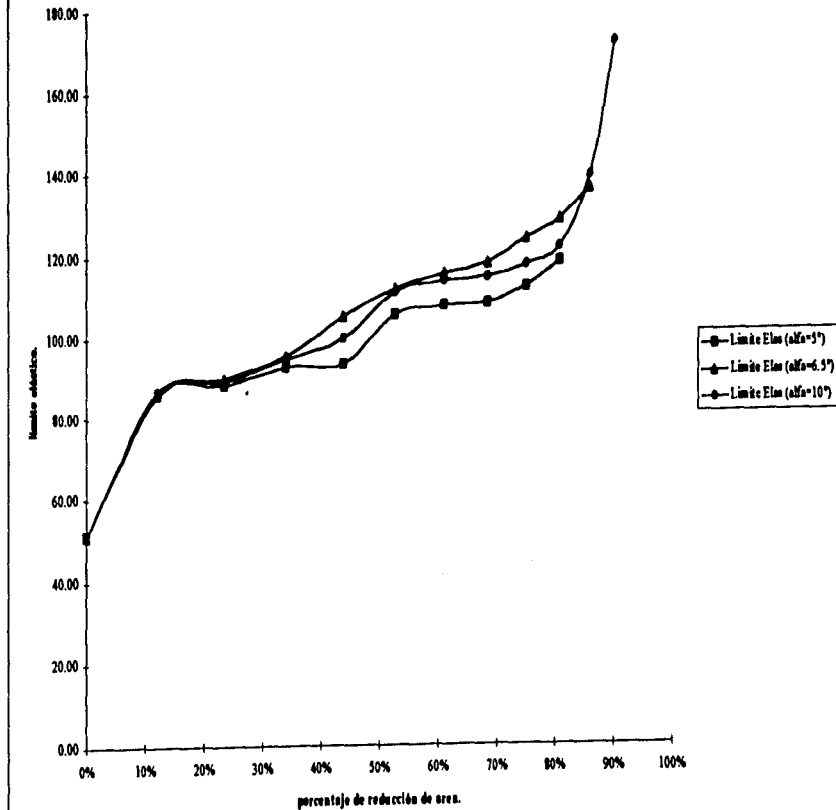
Grafica No.- 13

ACERO 1050 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO.

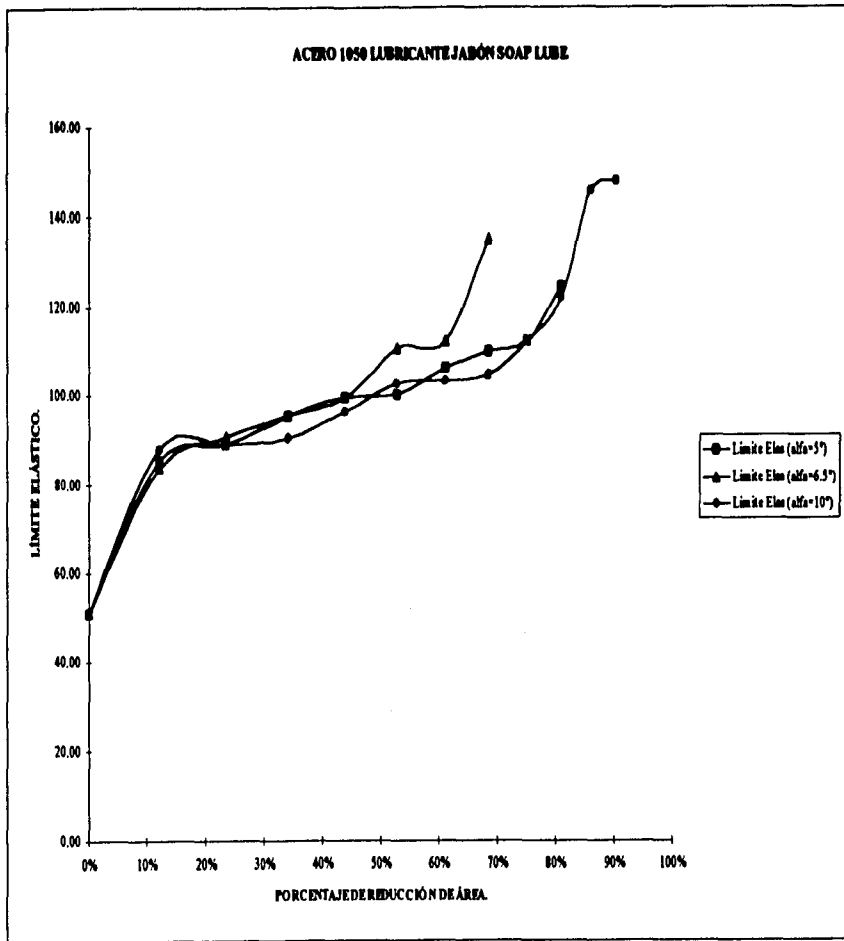


Grafica No.-14

ACERO 1050 LUBRICANTE JABÓN SÓDICO

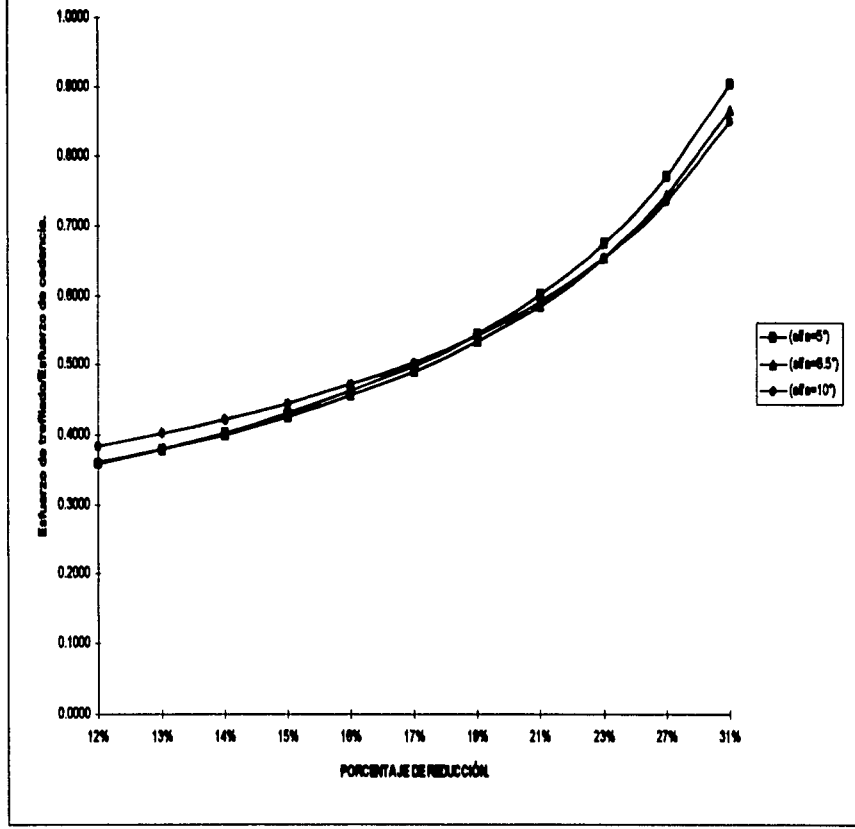


Grafica No.- 15



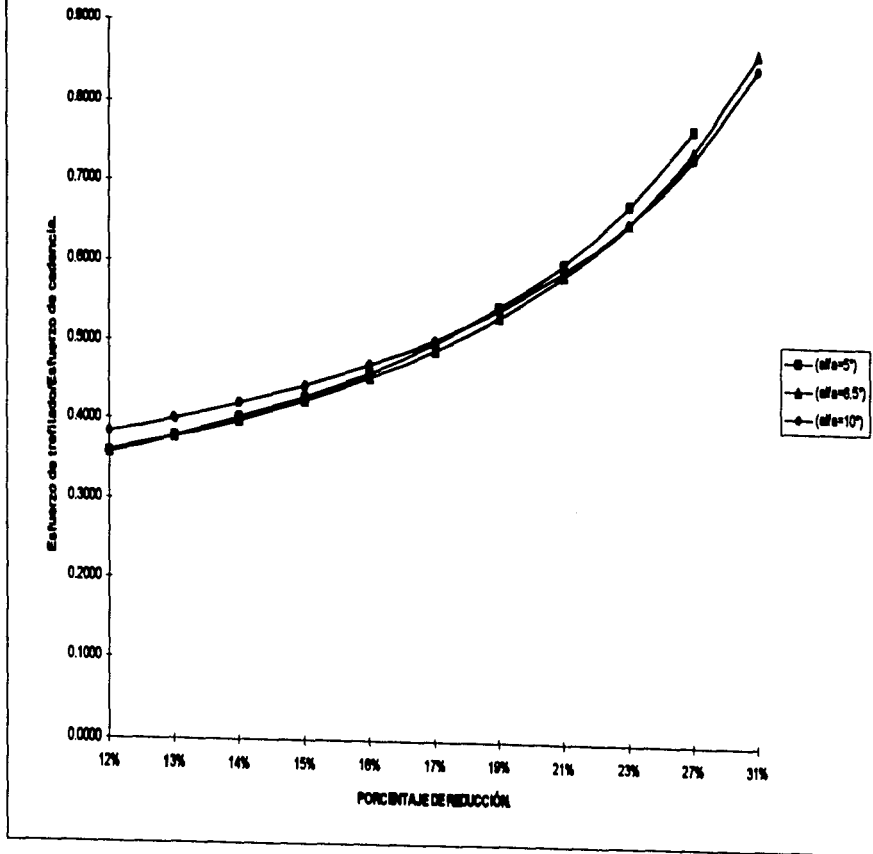
Grafica No.-16

ESFUERZO DE TREFILADO (ACERO 1080 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO).



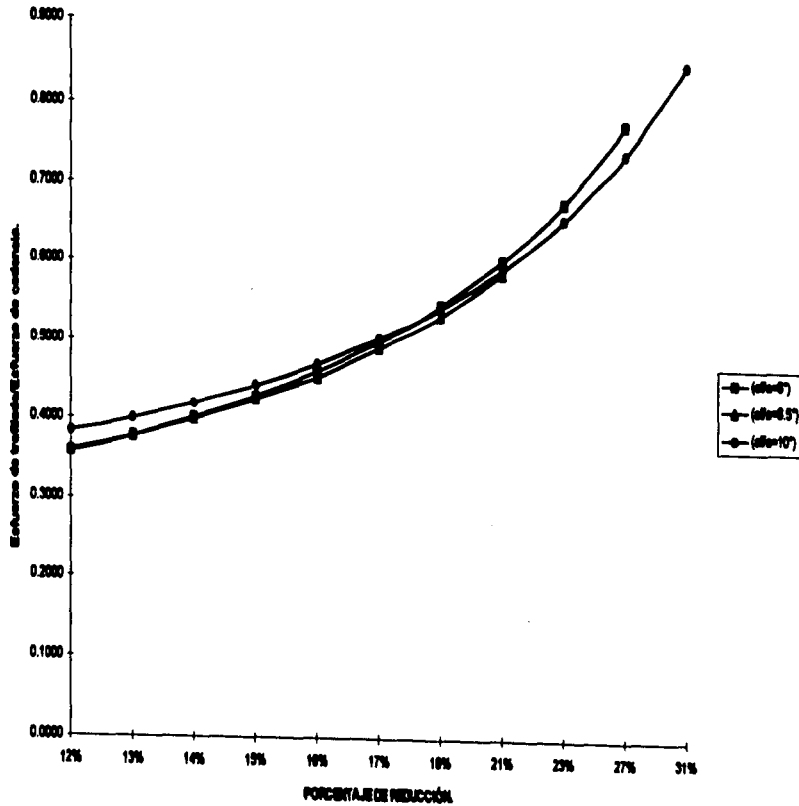
Grafica No. 17

ESFUERZO DE TREFILADO (ACERO 1080 LUBRICANTE JABÓN SÓDICO).



Grafica No.-18

ESFUERZO DE TREFILADO (ACERO 1008 LUBRICANTE JABÓN SOAP LUBE).



# **APÉNDICE**

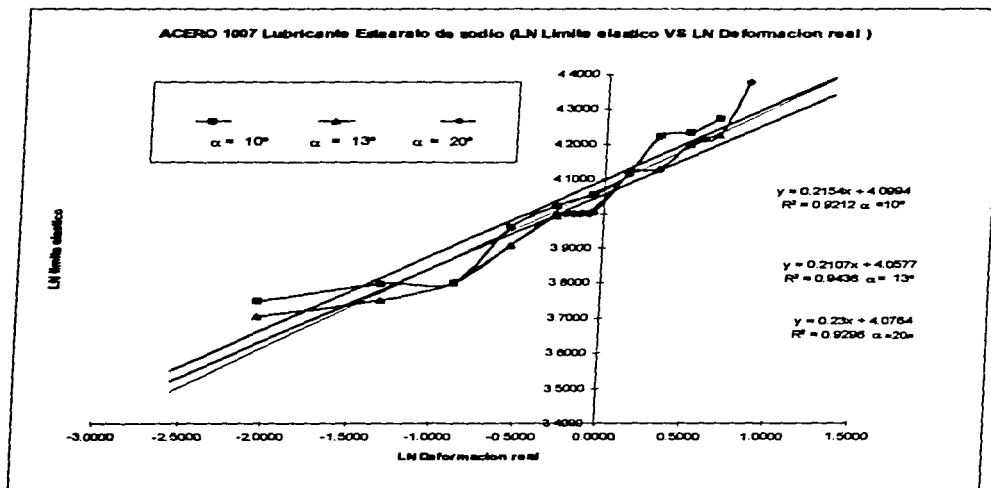
## **“B”**

## A P E N D I C E B

### TABLAS Y GRÁFICAS DE ENDURECIMIENTO POR DEFORMACIÓN

#### ACERO 1007 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO

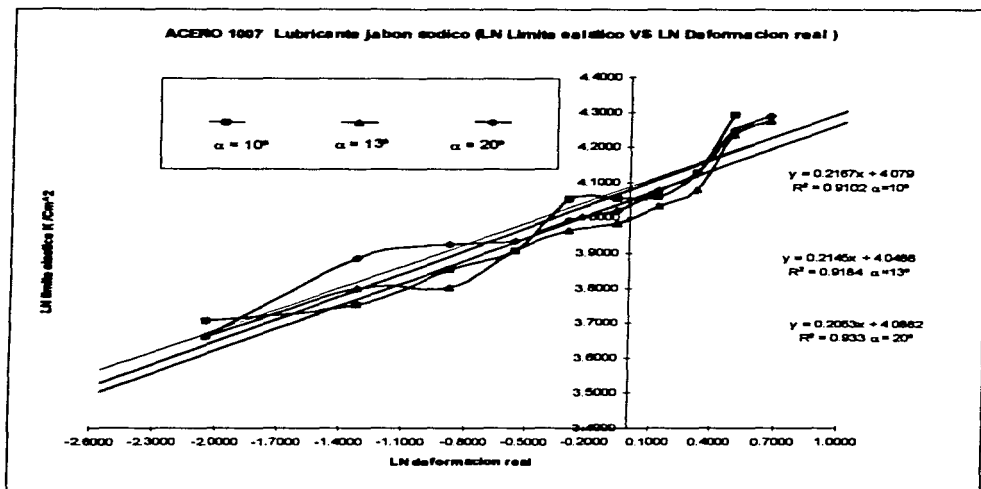
Área	Deformación	LN	LN Límite	LN Límite	LN Límite
mm <sup>2</sup>	real	ión real	Elástico 5°	Elástico 6.5°	Elástico 10°
28.27	0.1291	-2.0473	3.7481	3.7056	3.7056
24.63	0.2671	-1.3203	3.7991	3.7526	3.7526
21.24	0.4153	-0.8788	3.8007	3.8007	3.8007
18.10	0.5754	-0.5528	3.9608	3.9067	3.9067
15.21	0.7494	-0.2885	4.0236	3.9937	3.9998
12.57	0.9400	-0.0619	4.0551	4.0057	4.0129
10.18	1.1507	0.1404	4.1174	4.1174	4.1174
8.04	1.3863	0.3266	4.2252	4.1299	4.1299
6.18	1.6534	0.5028	4.2344	4.1985	4.1985
4.52	1.9617	0.6738	4.2744	4.2272	4.2272
3.1416	2.3263	0.8443			4.3767





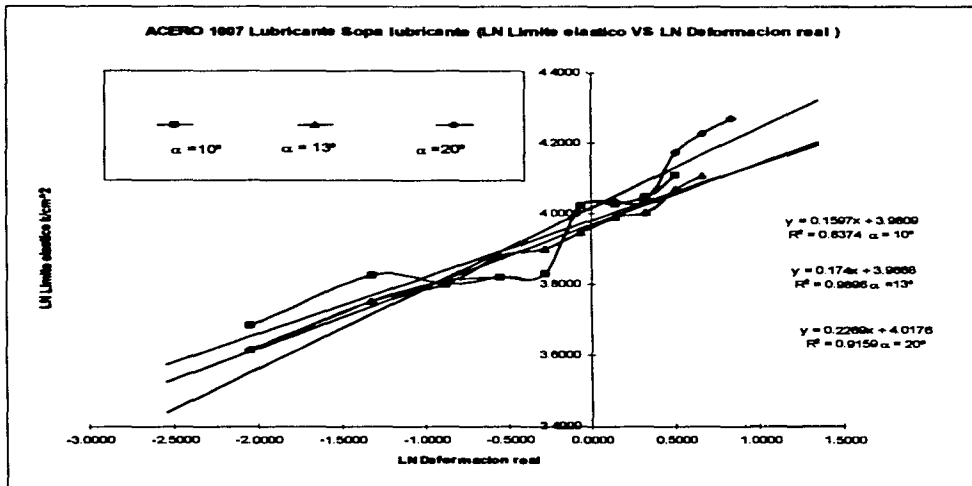
### ACERO 1007 LUBRICANTE JABON SODICO

Área	Deformación	LN Deformación real	LN Límite Elástico 5°	LN Límite Elástico 6.5°	LN Límite Elástico 10°
mm <sup>2</sup>	real				
28.27	0.1291	-2.0473	3.7056	3.6611	3.6611
24.63	0.2671	-1.3203	3.7526	3.7991	3.8861
21.24	0.4153	-0.8788	3.8526	3.8007	3.9243
18.10	0.5754	-0.5528	3.9067	3.9067	3.9341
15.21	0.7494	-0.2885	4.0526	3.9630	3.9937
12.57	0.9400	-0.0619	4.0551	3.9637	4.0201
10.18	1.1507	0.1404	4.0598	4.0341	4.0766
8.04	1.3863	0.3266	4.1299	4.0786	4.1299
6.16	1.6534	0.5028	4.2916	4.2344	4.2461
4.52	1.9617	0.6738		4.2744	4.2897
3.1416	2.3263				4.3565



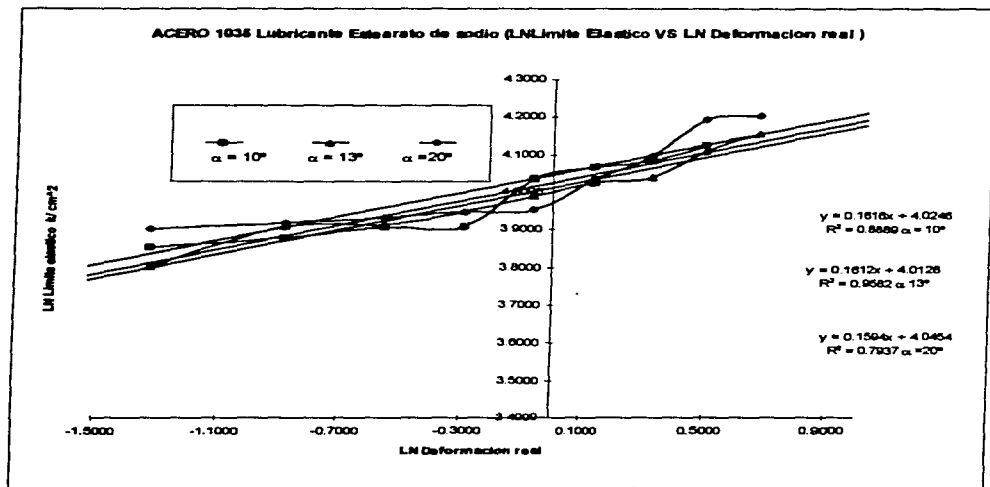
**ACERO 1007 LUBRICANTE JABON SOPA LUBRICANTE**

Área	Deformación	LN	LN Límite	LN Límite	LN Límite
mm <sup>2</sup>	real	Deformac ión real	Elástico 5°	Elástico 6.5°	Elástico 10°
28.27	0.1291	-2.0473	3.6836	3.6146	3.6146
24.63	0.2671	-1.3203	3.6260	3.7526	3.7526
21.24	0.4153	-0.8788	3.6007	3.8007	3.8112
18.10	0.5754	-0.5528	3.6197	3.8786	3.8197
15.21	0.7494	-0.2885	3.6294	3.6984	3.8294
12.57	0.9400	-0.0619	4.0201	3.9459	4.0201
10.18	1.1507	0.1404	4.0253	3.9896	4.0341
8.04	1.3863	0.3266	4.0465	4.0020	4.0356
6.16	1.6534	0.5028	4.1092	4.0684	4.1738
4.52	1.9617	0.6738		4.1074	4.2272
3.1416	2.3263	0.8443			4.2714



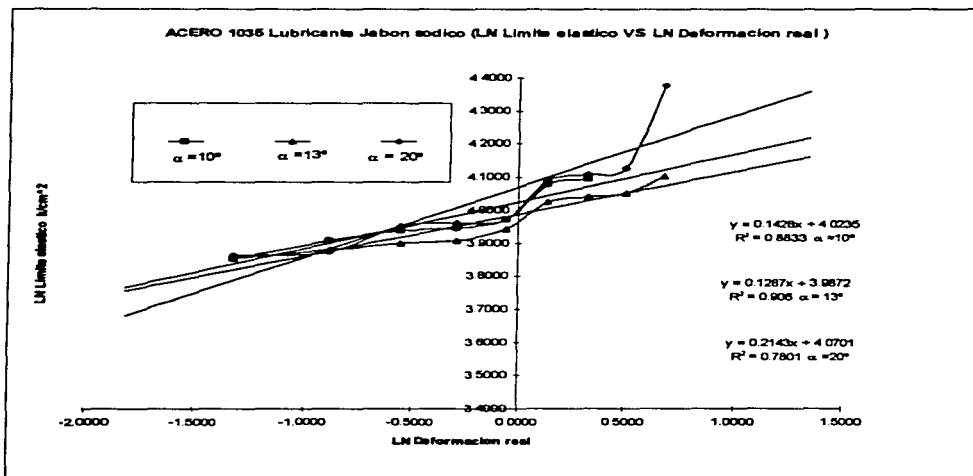
ACERO 1035 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO

Área	Deformación	LN	LN Límite	LN Límite	LN Límite
		Deformac			
mm <sup>2</sup>	real	ión real	Elástico 5°	Elástico 6,5°	Elástico 10°
28.27	0.1291	-2.0473	3.2338	3.3471	3.2730
24.63	0.2671	-1.3203	3.8520	3.8007	3.9008
21.24	0.4153	-0.8788	3.8786	3.9067	3.9178
18.10	0.5754	-0.5528	3.9051	3.9117	3.9312
15.21	0.7494	-0.2885	3.9067	3.9459	3.9459
12.57	0.9400	-0.0619	4.0341	3.9896	3.9526
10.18	1.1507	0.1404	4.0680	4.0245	4.0356
3.04	1.3863	0.3266	4.0822	4.0403	4.0958
6.16	1.6534	0.5028	4.1254	4.1074	4.1944
4.52	1.9817	0.6738		4.1536	4.2024
3.1418	2.3263	0.8443			



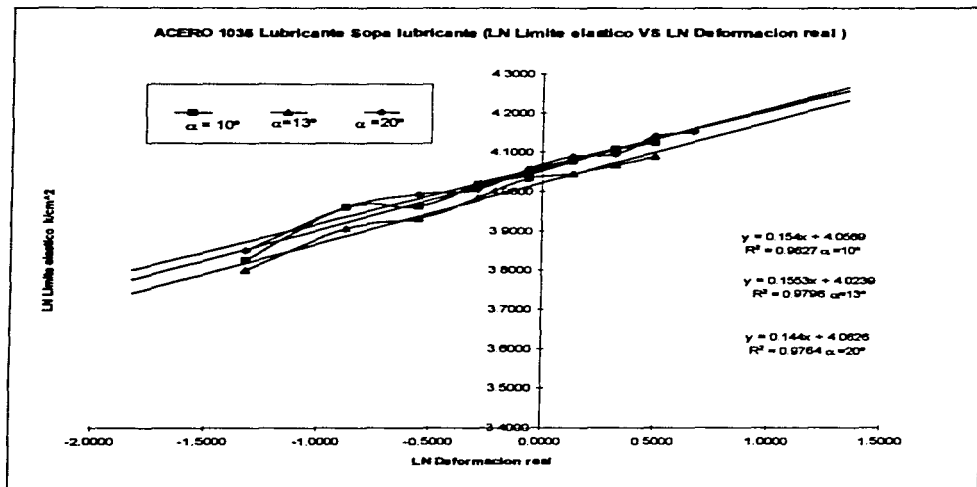
ACERO 1035 LUBRICANTE JABÓN SODICO

Área	Deformación	LN Deformación real	LN Límite Elástico 5°	LN Límite Elástico 6.5°	LN Límite Elástico 10°
mm <sup>2</sup>	real	ión real			
28.27	0.1291	-2.0473	3.3822	3.3471	3.4808
24.83	0.2671	-1.3203	3.8520	3.8520	3.8620
21.24	0.4153	-0.8788	3.9067	3.8786	3.8728
18.10	0.5754	-0.5528	3.9376	3.8984	3.9504
15.21	0.7494	-0.2855	3.9459	3.9067	3.9612
12.57	0.9400	-0.0619	3.9713	3.9431	3.9713
10.18	1.1507	0.1404	4.0786	4.0245	4.0890
8.04	1.3863	0.3266	4.0958	4.0403	4.1092
6.16	1.8534	0.5028		4.0513	4.1254
4.52	1.9617	0.6738		4.1023	4.3767
3.1418	2.3263	0.8443			



ACERO 1035 LUBRICANTE JABÓN SOPA LUBRICANTE

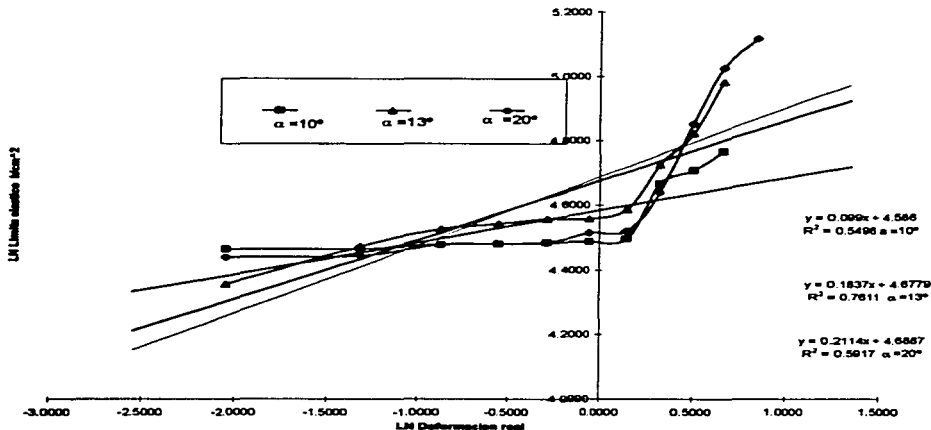
Área	Deformación	LN Deformación real	LN Limite Elástico 5°	LN Limite Elástico 6.5°	LN Limite Elástico 10°
mm^2	real	ión real			
26.27	0.1291	-2.0473	3.2730	3.1417	3.1930
24.63	0.2671	-1.3203	3.8267	3.8007	3.6520
21.24	0.4153	-0.8788	3.9608	3.9067	3.9608
18.10	0.5754	-0.5528	3.9830	3.9312	3.9937
15.21	0.7494	-0.2885	4.0201	3.9837	4.0057
12.57	0.9400	-0.0819	4.0427	4.0341	4.0598
10.18	1.1507	0.1404	4.0786	4.0465	4.0890
8.04	1.3863	0.3266	4.1092	4.0684	4.0958
6.16	1.6534	0.5028	4.1254	4.0890	4.1431
4.52	1.9817	0.8738			4.1536
3.1416	2.3263	0.8443			



### ACERO 1050 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO

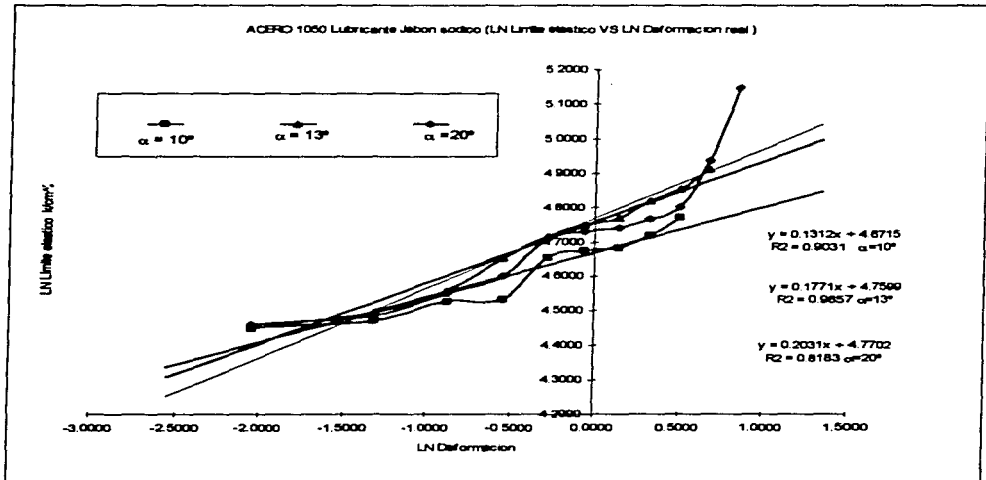
Área	Deformación	LN	LN Límite	LN Límite	LN Límite
mm <sup>2</sup>	real	Deformac ión real	Elástico 5°	Elástico 6.5°	Elástico10°
28.27	0.1291	-2.0473	4.4660	4.3565	4.4413
24.63	0.2671	-1.3203	4.4669	4.4739	4.4457
21.24	0.4153	-0.8788	4.4806	4.5275	4.4806
18.10	0.5754	-0.5528	4.4821	4.5427	4.4821
15.21	0.7494	-0.2885	4.4862	4.5577	4.4862
12.57	0.9400	-0.0619	4.4901	4.5591	4.5165
10.18	1.1507	0.1404	4.4988	4.5874	4.5224
8.04	1.3863	0.3266	4.6664	4.7254	4.6403
6.16	1.6534	0.5028	4.7088	4.8222	4.8518
4.52	1.9617	0.6736	4.7673	4.9829	5.0273
3.1416	2.3263	0.8443			5.1187

ACERO 1050 Lubricante Estearato de sodio (LN Límite elástico VS LN Deformación real)



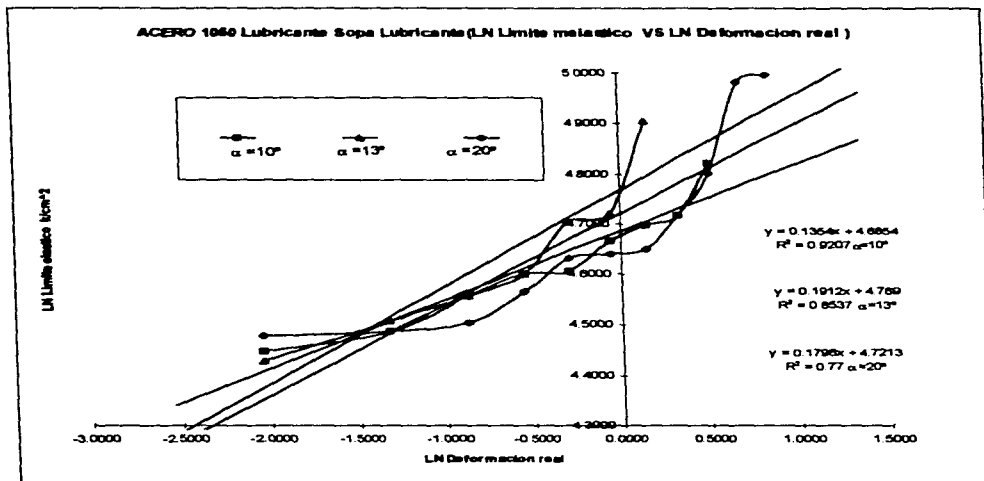
ACERO 1050 LUBRICANTE JABÓN SODICO

Área	Deformación	LN	LN Límite	LN Límite	LN Límite
mm <sup>2</sup>	real	Deformac ión real	Elástico 5°	Elástico 6.5°	Elástico 10°
28.27	0.1291	-2.0473	4.4537	4.4504	4.4598
24.63	0.2671	-1.3203	4.4739	4.4945	4.4877
21.24	0.4153	-0.8788	4.5275	4.5576	4.5501
18.10	0.5754	-0.5528	4.5339	4.6539	4.5999
15.21	0.7494	-0.2885	4.6561	4.7167	4.7108
12.57	0.9400	-0.0619	4.6768	4.7483	4.7309
10.18	1.1507	0.1404	4.6828	4.7698	4.7402
8.04	1.3863	0.3266	4.7177	4.8200	4.7664
6.16	1.6534	0.5028	4.7726	4.8544	4.8024
4.52	1.9617	0.6738		4.9122	4.9363
3.1416	2.3263	0.8443			5.1468



ACERO 1050 LUBRICANTE JABÓN SOPA LUBRICANTE

Área	Deformación	LN Deformación real	LN Límite Elástico 5°	LN Límite Elástico 6.5°	LN Límite Elástico 10°
28.27	0.1291	-2.0473	4.4475	4.4287	4.4781
24.63	0.2671	-1.3203	4.4877	4.5080	4.4877
21.24	0.4153	-0.8788	4.5576	4.5576	4.5043
18.10	0.5754	-0.5528	4.5999	4.5999	4.5660
15.21	0.7494	-0.2885	4.6061	4.7049	4.6308
12.57	0.9400	-0.0619	4.6657	4.7203	4.6391
10.18	1.1507	0.1404	4.6981	4.9059	4.6504
8.04	1.3863	0.3266	4.7177		4.7177
6.16	1.6534	0.5028	4.8222		4.8024
4.52	1.9617	0.6738			4.9829
3.1416	2.3263	0.8443			4.9973





**APENDICE B METODO DE HEYN  
ACERO 1007**

**MÉTODO DE HEYN**

**ACERO 1007 LUBRICANTE SOPA LUBRICANTE**

**MUESTRA BASE**

Evento n	Longitud L	ORDENADAS				ABSCISAS			Gradiente e	
		Granos n	L/N	$X=(EL/n)/N$	Longitud L'	Granos n'	L/n'	$Y=(EL'/n')/N$	Y/X	
1	5.5	14	0.393	0.372	7.8	23	0.339	0.363	0.977	
2	5.5	13	0.423		7.6	22	0.345			
3	5.7	14	0.407		7.8	19	0.411			
4	5.9	16	0.369		7.75	22	0.352			
5	5.4	18	0.300		7.75	21	0.369			
6	5.7	18	0.317							
7	5.9	15	0.393							
Sumatoria			2.602				1.816			

**MÉTODO DE HEYN**

**ACERO 1007 LUBRICANTE SOPA LUBRICANTE**

**MUESTRA PASO 2**

Evento n	Longitud L	ORDENADAS				ABSCISAS			Gradiente e	
		Granos n	L/N	$X=(EL/n)/N$	Longitud L'	Granos n'	L/n'	$Y=(EL'/n')/N$	Y/X	
1	5.84	18	0.327	0.305	7.755	20.2	0.384	0.401	1.314	
2	5.89	18	0.319		7.76	19.8	0.392			
3	5.94	19	0.311		7.765	19.4	0.400			
4	5.98	20	0.304		7.77	19	0.409			
5	6.03	20	0.297		7.775	18.6	0.418			
6	6.08	21	0.291							
7	6.12	22	0.285							
Sumatoria			2.134				2.003			

**MÉTODO DE HEYN**

ACERO 1007 LUBRICANTE SOPA LUBRICANTE

MUESTRA PASO 5

Evento n	Longitud L	ORDENADAS				ABSCISAS			Gradiente e	
		Granos n	L/N	$X=(\Sigma L/n)/N$	Longitud L'	Granos n'	L/n'	$Y=(\Sigma L/n')/N$	Y/X	
1	5.7	25	0.228	0.244	7.6	13	0.585	0.688	2.815	
2	5.8	24	0.242		7.7	13	0.592			
3	5.8	21	0.276		7.7	10	0.770			
4	6	25	0.240		7.6	11	0.691			
5	5.9	24	0.246		7.2	9	0.800			
6	6	28	0.214							
7	5.8	22	0.264							
Sumatoria			1.710				3.438			

**MÉTODO DE HEYN**

ACERO 1007 LUBRICANTE SOPA LUBRICANTE

MUESTRA PASO 8

Evento n	Longitud L	ORDENADAS				ABSCISAS			Gradiente e	
		Granos n	L/N	$X=(\Sigma L/n)/N$	Longitud L'	Granos n'	L/n'	$Y=(\Sigma L/n')/N$	Y/X	
1	5.6	38	0.147	0.152	7.5	8	0.938	1.048	6.882	
2	5.9	41	0.144		7.5	8	0.938			
3	5.85	39	0.150		7.4	7	1.057			
4	5.9	34	0.174		7.4	7	1.057			
5	5.5	34	0.162		7.5	6	1.250			
6	5.8	39	0.149							
7	5.9	42	0.140							
Sumatoria			1.066				5.239			

**APENDICE B METODO DE HEYN  
ACERO 1035**

MÉTODO DE HEYN										
ACERO 1035 LUBRICANTE JABÓN SÓDICO										
MUESTRA PASO 2										
	ORDENADAS					ABSCISAS				Gradiente e
Evento n	Longitud L	Granos n	L/N	$X=(EL/n)/N$	Longitud L'	Granos n'	L'/n'	$Y=(EL'/n')/N$	Y/X	
1	58	11	5.273	4.688	72	13	5.538	5.815	1.240	
2	56	12	4.667		73	13	5.615			
3	58	13	4.462		71	13	5.462			
4	60	13	4.615		70	10	7.000			
5	55	12	4.583		71	13	5.462			
6	57	13	4.385							
7	58	12	4.833							
Sumatoria			32.818				29.077			

MÉTODO DE HEYN										
ACERO 1035 LUBRICANTE JABÓN SÓDICO										
MUESTRA PASO 5										
	ORDENADAS					ABSCISAS				Gradiente e
Evento n	Longitud L	Granos n	L/N	$X=(EL/n)/N$	Longitud L'	Granos n'	L'/n'	$Y=(EL'/n')/N$	Y/X	
1	55	16	3.438	3.460	72	8	9.000	7.551	2.183	
2	58	17	3.412		68	9	7.556			
3	56	17	3.294		72	11	6.545			
4	53	16	3.313		71	10	7.100			
5	55	15	3.667		68	9	7.556			
6	56	17	3.294							
7	57	15	3.800							
Sumatoria			24.217				37.757			

MÉTODO DE HEYN										
ACERO 1035 LUBRICANTE JABÓN SÓDICO										
MUESTRA PASO 8										
		ORDENADAS				ABSCISAS				Gradiente e
Evento n	Longitud L	Granos n	L/N	$X=(\sum L/n)/N$	Longitud L'	Granos n'	L'/n'	$Y=(\sum L'/n')/N$	Y/X	
1	56	20	2.800	2.600	72	5	14.400	12.147	4.672	
2	57	21	2.714		70	6	11.667			
3	55	21	2.619		72	6	12.000			
4	54	21	2.571		64	6	10.667			
5	47	22	2.136		72	6	12.000			
6	59	24	2.458							
7	58	20	2.900							
Sumatoria			18.199				60.733			

**APENDICE B METODO DE HEYN  
ACERO 1050**

MÉTODO DE HEYN									
ACERO 1050 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO									
MUESTRA BASE									
Evento n	Longitud L	Granos n	ORDENADAS			ABSCISAS			Gradiente c
			L/N	$X=(\Sigma L/n)/N$	Longitud L'	Granos n'	L'/n'	$Y=(\Sigma L'/n')/N$	
1	58	15	3.867	4.090	75	18	4.167	3.865	0.945
2	56	14	4.000		76	20	3.800		
3	55	14	3.929		78	20	3.900		
4	56	13	4.308		70	18	3.889		
5	58	14	4.143		75	21	3.571		
6	55	14	3.929						
7	49	11	4.455						
Sumatoria			28.629				19.327		

MÉTODO DE HEYN									
ACERO 1050 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO									
MUESTRA PASO 2									
Evento n	Longitud L	Granos n	ORDENADAS			ABSCISAS			Gradiente c
			L/N	$X=(\Sigma L/n)/N$	Longitud L'	Granos n'	L'/n'	$Y=(\Sigma L'/n')/N$	
1	56	19	2.947	2.969	72	18	4.000	4.534	1.527
2	57	18	3.167		68	16	4.250		
3	58	18	3.222		72	16	4.500		
4	56	20	2.800		73	16	4.563		
5	55	20	2.750		75	14	5.357		
6	57	19	3.000						
7	58	20	2.900						
Sumatoria			20.786				22.670		

MÉTODO DE HEYN									
ACERO 1050 LUBRICANTE ESTEARATO DE SODIO									
MUESTRA PASO 5									
	ORDENADAS				ABSCISAS				Gradiente s
Evento n	Longitud L	Granos n	L/N	$X=(\Sigma L/n)/N$	Longitud L'	Granos n'	L/n'	$Y=(\Sigma L'/n')/N$	Y/X
1	50	19	2.632	2.521	74	13	5.692	5.529	2.193
2	52	20	2.600		70	14	5.000		
3	50	20	2.500		73	15	4.867		
4	52	19	2.737		72	11	6.545		
5	53	19	2.789		72	13	5.538		
6	50	28	1.786						
7	52	20	2.600						
Sumatoria			17.644				27.643		

## **BIBLIOGRAFIA.**

- 1.- Estiraje de Alambre de Acero. Manual de supervisores.**  
**Instituto Mexicano del Hierro y del Acero.**  
**México, 1974.**
- 2.- The Making, shaping and treating of steel.**  
**Harold E. Mc Gannon.**  
**United State Steel.**  
**Novena Edición. U.S.A., 1971.**
- 3.- Introducción a la Metalurgia Física.**  
**Sidney H. Avner.**  
**Editorial Mc Graw Hill.**  
**Segunda Edición. México, 1979.**
- 4.- Atlas of Microstructures. Metals Handbook No7.**  
**ASM.**  
**Eight Edition. U.S.A., 1972.**
- 5.- La Fatiga de los metales.**  
**R. Cazaud.**  
**Editorial Aguilar.**  
**España 1957.**
- 6.- Metalografía. Tomo I.**  
**A. P. Guliaev.**  
**Moscú. 1978.**
- 7.- Ciencia de los materiales. Tomo III.**  
**Propiedades Mecánicas. H. W. Haydel.**  
**Editorial Limusa. - Wiledy S.A.**  
**México 1968.**

- 8.- **Metalurgica Física para Ingenieros.**  
Albert G. Guy.  
Fondo Educativo Interamericano. S.A.  
Edición Bilingue.  
E. U. A. 1970.
- 9.- **Conformado de los metales.**  
Geoffrey W. Rome.  
Ediciones URMO.  
Bilbao España 1972.
- 10.- **Mechanical Metallurgy.**  
George E Dieter.  
International Student Edition.  
U. S. A. 1981.
- 11.- **Factor Affecting The Strenght and Power required for  
Drawing Steel Wire.** Brian F. Smith. Wire Journal.  
U. S. A., October 1977.
- 12.- **Factor Affecting the Strenght and Power required for  
Drawing Steel Wire.** Brian F. Smith. Wire Journal.  
U. S. A., November 1977.
- 13.- **Relaciones entre la microestructura de acero bajo carbono y sus  
propiedades mecánicas.** Tesis. Leopoldo Saldaña Cervantes.  
México. 1978.
- 14.- **Manual de Ingenieria de los recubrimientos electroliticos.**  
A. Kenneth Graham. H. L. Pinkerton.  
Editorial C.E.S.A. Junio 1967.
- 15.- **Esfuerzos requeridos en el proceso de trefilado.** E. R. Abril.  
Revista del centro de investigaciones metalurgicas de Cordoba,  
Argentina. Volumen 5, Número 4. 1969.



- 16.- **Lubrificación a Seco en trefilado de Arames de Aco Carbono.**  
Alvaro R. Zech Coelho e Eneas Magnavacca.  
Siderurgia Latinoamericana. No. 192. Santiago, Chile.  
Abril 1976.
- 17.- **Steel Wire Hand Book Volumén I y II.**  
The Wire Association, inc  
Edited by Allan B. Dove.  
Copyrigh 1969. New York Service inc.  
A. F. Michael Publications.
- 18.- **Lubricants and their aplicaciones.**  
Robert W. Miller.  
Editorial Mc- Graw- Hill, inc  
New York. Copyrigh 1993.
- 19.- **Metals Techniques For Craftsmen.**  
Untracht OPPI  
Doubleday Company inc  
Garden City New York.
- 20.- **International Metals Reviews Wire Manufacture.**  
G. W. Rowe.  
The Metals Society and the American Society for Metals.  
December 1977.
- 21.- **Melt- To- Tensile high carbon rods for direct drawn wire applications.**  
Robert J. Glodowski and Alleyen E. Wilson.  
Wire Journal International.  
November 1994.
- 22.- **Metals Forming Processes and Annalysis.**  
B. Avitzur.  
Mc -Graw- Hill.  
New York 1968.

- 23.- Norma oficial Mexicana. Metodos de prueba a la tension para  
Productos de Acero. NOM. B- 310- 1981.  
ASTM A 370 - 1977.
- 24.- Mechanical Working of metals.  
Harris.  
Editorial Pergamon press, 1a edicion.  
1983.
- 25.- Worked Examples in METALWORKING.  
G.J.RICHARDSON,D.N.HAWKINS and C.M.SELLARS.  
The Institute of metals, london  
1985.
- 26.-Practicas de Metalografia.  
Dr.Eduardo J. Dubox  
Ediciones Marimar.
- 27.- ANNUAL BOOK of ASTM STANDARDS  
Section 3 Metals Test Methods and Analytical Procedures  
Vlumen 03.01
- 28.- Tribology in Metal Working  
Friction Lubrication and Wear.  
SCHEY.