

T
621.854.
OLEAS

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

ESTUDIO DE UN SISTEMA DE TREFILACION DE ALAMBRO PARA
SOLDADURA

Tesis de Grado
Previo a la obtención del Título de

INGENIERO MECANICO

presentada por
CESAR OLEAS LINDAO

Guayaquil - Ecuador
1981

A G R A D E C I M I E N T O

El presente tema de tesis fue sugerido por el Ing. Gustavo Guerrero M., Profesor de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, a quien agradezco por su valiosa ayuda.

Agradezco también la ayuda prestada en forma desinteresada por el Ing. Antonio Viteri M.

DEDICATORIA

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral

A mis queridos Tíos, que errumbaron mi vida

A mis Padres, con cariño

A mi Padre político

A Delia, mi Esposa, signo de abnegación,

y a mis pequeños Hijos:

Nelson, Mónica y Fernando

A handwritten signature in dark ink, appearing to read "Gustavo Guerrero Macías", written in a cursive style. The signature is positioned above a horizontal dotted line.

Ing. Gustavo Guerrero Macías
DIRECTOR DE TESIS

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Cesar Oleas Lindao", is written over a horizontal dotted line.

CESAR OLEAS LINDAO

INDICE GENERAL

CAP. N°		Pág. N°
	Indice General.....	II
	Indice de Figuras.....	III
	Indice de Tablas.....	IV
	Indice de Gráficos.....	V
	Nomenclatura.....	VI
1	Introducción.....	1
2	Objeto.....	3
3	Trefilación	4
	3.1 Descripción del Proceso de Trefilado.....	4
	3.2 Pasos previos a la trefilación.....	5
	3.2.1 Decapado Químico con ácidos.....	5
	3.2.2 Decapado Mecánico.....	6
	3.3 Banco de Trefilar. Trefilación en Monobloque y Múltiple.....	9
	3.4 Hileras y Portahileras.....	16
	3.5 Lubricantes para trefilar.....	20
4	Ingeniería del Proyecto.....	24
	4.1 Esfuerzos que intervienen en el Proceso de Trefilado.....	24
	4.2 Determinación del Porcentaje de Reducción de Sección en Trefilación de Alambrón para Soldadura	33
	4.3 Cambios de las propiedades mecánicas del Alambre en el trefilado.....	39

4.3.1	Endurecimiento del Material.....	39
4.3.2	Efectos Generales del Trefilado sobre las Propiedades Físicas del Alambre.....	40
5	Aplicaciones Prácticas.....	42
5.1	Descripción del Equipo de Trabajo de Trefilación de Alambrón para Soldadura.....	42
5.1.1	Portarrollos.....	42
5.1.2	Dispositivo de Parada de Seguridad.....	45
5.1.3	Máquina Decalaminadora.....	45
5.1.4	Bancos de Trefilar.....	47
5.1.5	Banco de Recogida.....	51
5.2	Ajuste y Operación.....	53
5.2.1	Ajuste de Máquinas.....	53
5.2.2	Operación de Máquinas	55
6	Ensayos y Resultados.....	62
6.1	Ensayos Mecánicos y Microestructurales.....	62
6.1.1	Ensayos de Dureza.....	62
6.1.2	Ensayos de Tracción.....	64
6.1.3	Ensayos Metalográficos.....	68
6.2	Ensayos Mecánicos y Microestructurales del Alambre Trefilado en cada etapa.....	70
6.2.1	Ensayos de Dureza.....	71
6.2.2	Ensayos de Tracción.....	71
6.2.3	Ensayos Metalográficos.....	71

Cáp.Nº	Pág.Nº
7	Análisis de Resultados.....78
8	Conclusiones y Recomendaciones.....81
	Tablas.....83
	Gráficos.....94
	Referencias Bibliográficas.....108

INDICE DE FIGURAS

Nº	<u>T I T U L O</u>	Pág.
1	Máquina Sacapuntas. Esquema de rodillos con ranuras Helicoidales.....	10
2	Sección de una hilera tipo (montura cilíndrica).....	17
3	Portahileras.....	19
4	Distorsión no Homogénea de una rejilla inicialmente grabada en una varilla trefilada.....	25
5	Contacto de dos superficies metálicas pulidas, con lubricación.....	25
6	Demostración de los esfuerzos que actúan sobre un elemento de varilla trefilada a través de una hilera cónica.....	28
7	Elemento de área sobre la que actúa la fuerza P, y la fricción de arrastre u P.....	28
8	Reducción del diámetro del alambre al pasar por la hilera.	29
9	Bobina de dos pasos, con dos escalones de diámetros diferentes.....	35
10	Disposición del equipo de trefilar.....	43
11	Portarrollos.....	44
12	Dispositivo de parada de seguridad.....	45
13	Máquina Decalaminadora.....	48
14	Banco de trefilar. Vista superior.....	49
15	Banco de Recogida.....	52

INDICE DE TABLAS

Nº	<u>T I T U L O</u>	Pág.
I	Porcentajes de Reducción versus relación entre diámetros $a = \frac{d}{D}$83	83
II	Valores X para relaciones comprendidas entre 10 y 39%.....84	84
III	Relación de Reducciones de Area y Elongación durante el Trefilado.....85	85
IV	Banco de Trefilación. Características de velocidad en función de los engranes intercambiables (Versión Normal)..86	86
V	Banco de Trefilación. Características de velocidad en función de los engranes intercambiables (Versión Veloz)...87	87
VI	Composición química media del acero utilizado para la fabricación de electrodos.....88	88
VII	Ensayo de Dureza Longitudinal del Alambre.....89	89
VIII	Ensayo de Dureza Transversal del Alambre.....90	90
IX	Ensayo de Tracción del Alambre.....91	91
X	Ensayo de Dureza Longitudinal. Alambre Trefilado 4 pasos..92	92
XI	Ensayo de Dureza Transversal. Alambre Trefilado 4 pasos...93	93
XII	Ensayo de Tracción. Alambre Trefilado 4 pasos.....94	94

INDICE DE GRAFICOS

Nº	<u>T I T U L O</u>	Pág.
1	Porcentajes de Reducción versus número de pasos.....	94
2	Variación de Dureza Superficial del Alambre original, decapado y trefilado 4 etapas.....	95
3	Curvas comparativas del ensayo de tracción de probetas de alambón original y trefilado 4 pasos.....	96
4	Variación de Dureza Transversal del Alambón sin Trefilar	102
5	Variación de Dureza Transversal para el Primer Paso.....	103
6	Variación de Dureza Transversal para el Segundo Paso.....	104
7	Variación de Dureza Transversal para el Tercer Paso.....	105
8	Variación de Dureza Transversal para el Cuarto Paso.....	106
9	Relación entre la Dureza del material y la Reducción de Area %, al trefilar el alambre.....	107
10	Relación entre la Resistencia a la Tracción y Reducción de Area %, al ser trefilado el alambre.....	108

N O M E N C L A T U R A

- A Area seccional del alambre, mm^2
 a Relación de diámetros: $a = \frac{d}{D}$
 B Constante numérica
 D Diámetro inicial del alambrón
 D_b Diámetro mayor de la bobina de la trefiladora
 d Diámetro final del alambrón
 d_b Diámetro menor de la bobina
 E Elongación
 h Altura
 K_n Constante de la trefiladora
 n Velocidad en r.p.m.
 P Presión
 R Reducción (Ej.0.28) $\%R = 28$
 S_i Sección Inicial
 S_f Sección Final
 Y Esfuerzo límite
 Z Número de dientes de los engranajes intercambiables

LETRAS GRIEGAS

- α Angulo de entrada de la hilera
 μ Coeficiente de fricción
 σ Esfuerzos
 τ_{\max} Esfuerzo máximo de corte
 ϕ Diámetro del alambrón

C A P I T U L O I

I N T R O D U C C I O N

La función principal del trefilado de varillas es la obtención de alambre a medidas específicas.

Gran cantidad de varillas, tubos y alambres de secciones especiales son obtenidos por trefilación en frío. Barras de gran diámetro (8), superior a las 6" (150 mm.) son frecuentemente reducidas de sección por trefilado, pasándolas varias veces por hileras que son las matrices para reducir los diámetros.

A veces se dan pasos con reducciones ligeras, reduciendo el diámetro por pasada 1/16" (1,5 mm.) para mejorar el acabado de la superficie y las tolerancias dimensionales.

Muchas de las barras de diámetros pequeños son trefiladas con grandes porcentajes de reducción de área por paso, arriba del 50%, habiendo en términos generales, un alambre que se trefila puede ser reducido de diámetro en un 90% por sucesivas reducciones (8), necesitando recocidos intermedios.

Algunos alambres mucho más finos, de diámetro 0.001" (0.025 mm.) son trefilados a través de un gran número de hileras antes de alcanzar

su diámetro final.

Queda de manifiesto la gran utilización de la trefilación para producir alambre de diferentes diámetros, siendo múltiples los campos que abarca la trefilación, ya que este proceso es aplicado a barras para fabricar varillas de diferentes diámetros y diferentes usos, para tornillería, para fabricación de clavos, etc. En el presente estudio analizaremos el proceso de trefilación de alambre para producir electrodos para soldadura.

C A P I T U L O II

O B J E T O

El objetivo principal del presente trabajo es demostrar el aumento de dureza y la resistencia siempre creciente del material a ser deformado, dependiendo ésto del número de reducciones a que es sometido en el proceso de trefilado.

Se realizó un análisis de las fuerzas que intervienen, así como una comprobación experimental del comportamiento del material al ser sometido a estiramiento para lograr reducir su sección.

Para poder sacar conclusiones valederas ha sido necesario hacer ensayos de dureza, de tracción y metalográficos, para lograr nuestra meta.

En nuestro caso particular, las muestras son de alambón para fabricación de soldadura, el que fué trefilado 4 pasos, previo un proceso de decapado.

El trefilado se realizó en una firma local de fabricación de electrodos. Los ensayos de laboratorio fueron realizados en la ESPOL.

C A P I T U L O I I I

T R E F I L A C I O N

3.1 DESCRIPCION DEL PROCESO DE TREFILADO

Trefilación es la operación de estirar un material basada en la plasticidad que el metal posee en frío (4). Al trefilar reducimos de sección una varilla o barra laminada a través de sucesivas etapas de reducciones de sección.

Dentro de esta denominación podemos decir que trefilar es el proceso mediante el cual podemos fabricar alambre por estirado.

El trefilado o estirado del metal se consigue obligándolo a pasar por un agujero calibrado, obtenido en placas de acero o aleaciones especiales de resistencia y dureza muy elevadas. Estas matrices de estirar provistas de orificios calibrados toman el nombre de hileras en el proceso de trefilado. La fuerza de tracción se la ejerce a través de la mordaza por la bobina del banco de trefilación; ésta tira con gran fuerza para obligar al material a pasar por la hilera.

El proceso de trefilado también abarca el estiramiento de tubos, éstos pueden ser estirados con mandril que soporte al tubo inte -

rionmente, procedimiento llamado del banco de estirar, o sin mandril que soporte el interior del tubo, esta condición hace que se produzca un aumento o disminución del espesor de las paredes de acuerdo a como se realiza el proceso. El estirado sin mandril se lo usa sólo en la fabricación de tubos pequeños.

En el presente trabajo nos ocuparemos específicamente del trefilado de alambón para soldadura.

3.2 PASOS PREVIOS A LA TREFILACION

El almacenamiento del alambón debe hacérselo preferentemente en un lugar que sea cubierto, seco y a la misma temperatura ambiente. Antes de que el material pase por las máquinas trefiladoras es necesario preparar las superficies para que puedan tomar adecuadamente el lubricante. Esta preparación consiste en la limpieza de la superficie, eliminando la cascarilla o capa de laminación y recubriendo el material ya limpio, con un elemento que sirva de soporte a la capa de lubricación. Los sistemas de limpieza de la superficie del alambón son generalmente dos: Decapado Químico con Acidos y Decapado Mecánico.

3.2.1 Decapado Químico con Acidos

Para realizar el decapado químico con ácidos se procede de la siguiente manera: los rollos del material, convenientemente colgados son introducidos en grandes recipientes que con-

tienen agua con Acido Clorhídrico o Sulfúrico; el material permanecerá introducido en esta solución hasta que la cascarilla se desprenda (7) de la superficie.

Al sacar los rollos de material del baño ácido, se los introduce luego a una ducha de agua con el fin de eliminar los residuos de ácido que hayan podido quedar, y por último los introducimos en un baño neutralizante de cal.

El baño de cal, como ya anotamos anteriormente, sirve para neutralizar los residuos de ácido y además cuando se seca la cal sirve como portador de lubricante. Además, impide la oxidación del material. Como portadores de lubricante, aparte de la cal, también se utilizan el borax y los fosfatos de zinc.

En la trefilación del acero dulce y del acero con alto contenido de carbono y si las reducciones que se van a dar al alambre no son excesivas, el borax y la cal son los materiales adecuados para el recubrimiento del alambre a trefilarse.

3.2.2 Decapado Mecánico

El decapado mecánico tiene por objeto desprender la capa de laminación y el óxido que en forma de escamas se acumula en la superficie del alambre. La formación de esta capa se debe a las altas temperaturas que soporta el alambre en su fa-

bricación por laminado en caliente.

El método más común de decapado mecánico consiste en hacer pasar el alambón entre una serie de poleas de acero de eje horizontal y vertical, colocadas convenientemente en línea a la máquina de trefilar; la deformación ocasionada por estas poleas rompe la cascarilla de la superficie del alambón, la misma que cae con mucha facilidad.

Al ser estirado el alambre al pasar por las poleas, el alargamiento del acero es diferente al alargamiento del óxido, por lo tanto cuando el acero alcanza valores adecuados de alargamiento, el óxido se desprende de él.

El óxido (cascarilla) comienza a desprenderse cuando el alargamiento alcanza valores del 3 al 5%. Para alargamientos entre el 8 y 9% la cascarilla se ha desprendido (9), pero hay también casos en que ésta resiste hasta el 12% del valor del alargamiento.

Para un decapado adecuado y para evitar roturas del alambre al pasar por la decalaminadora, en la práctica se utiliza el valor del alargamiento del 8%.

Al pasar el alambre por la decalaminadora y al ser enrollado en un tambor, el alargamiento viene dado por la fórmula (5)

$$A\% = \frac{(D + 2d) - (D + d)}{D + d} \times 100$$

en donde:

D = diámetro de la Polea

d = diámetro del Alambre

Por lo tanto, se deduce que para cada diámetro de alambre será necesario un diámetro determinado de las ruedas de la decalaminadora.

En el caso estudiado, el diámetro del alambón era 5.5 mm. (7/32") y las poleas tenían un diámetro de 125 mm., con lo que se obtuvo un alargamiento del 4%.

Como anotamos anteriormente, si la temperatura de laminación del alambre ha sido muy elevada, esto hace que se produzca más oxidación, sucediendo lo contrario si la temperatura final de laminación ha sido baja, en este caso habrá menos cascarilla y su cohesión también será baja (cohesión de las partículas de óxido), facilitando de esta manera la operación de decapado.

Es de mucha importancia cuidar la lubricación del alambre decapado mecánicamente ya que la superficie no deberá quedar brillante porque esto dificultará que el lubricante se adhiera al alambre.

También será necesario verificar las cajas del lubricante ya que el alambre arrastra polvo de óxido (partículas de óxido)

lo que contaminaría el lubricante afectando ésto a las hileras.

3.3 BANCO DE TREFILAR. TREFILACION DE MONOBLOQUE Y MULTIPLE

Banco de Trefilar

El monobloque de trefilar es la máquina más adecuada para dar al material una o dos reducciones de sección en una sola operación.

Forma de trabajo del Banco de Trefilar

Antes de que el alambre pase por la hilera debemos afilar un extremo libre del rollo de alambre, operación efectuada con una máquina Punteadora provista de rodillos con ranuras helicoidales o ranuras circunferenciales. Ver figura Nº 1.

Al alambre sacado punta lo hacemos pasar a través de la hilera en una longitud adecuada para que pueda ser agarrado con la mordaza de enfilado. La mordaza está provista de una cadena en cuya parte posterior la unimos a la bobina; al girar la bobina tirará el alambre y lo enrollará en ella, es así como se inicia el proceso de trefilado.

Posteriormente, retiramos la mordaza cuando el alambre se ha enrollado en el Banco de Recogida.

Una vez llenada una bobina se la extrae por medio de un extractor

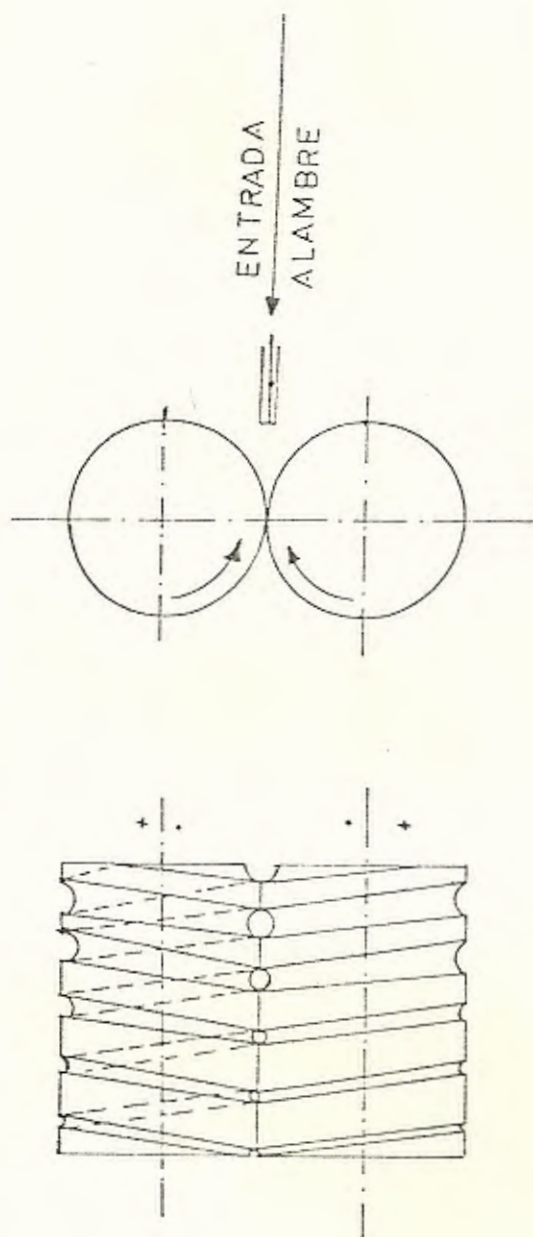


FIGURA Nº 1.—MAQUINA SACAPUNTAS. ESQUEMA DE RODILLOS
CON RANURAS HELICOIDALES

que se ajusta a la bobina por unas ranuras laterales. Para esta operación nos ayudamos de un teclé empotrado cerca de la máquina.

Para el cálculo del porcentaje de reducción de sección, empleamos la siguiente relación:

Reducción de sección:

$$\frac{S_i - S_f}{S_i}$$

S_i = Sección inicial del alambre

S_f = Sección final del alambre

Expresado en tanto por ciento

$$\% R = 100 \frac{S_i - S_f}{S_i}$$

En el presente trabajo, la sección es circular, de donde:

$$\% R = 100 \cdot \frac{\frac{\pi \cdot D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4}}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

D = diámetro inicial del alambre

d = diámetro final del alambre

$$\boxed{\%R = 100 \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^2 \right]} \quad (3-1)$$

Ecuación aplicable para trefilación en general, en uno o más pasos.

Trefilación con Monobloque de dos Pasos

Monobloques de dos pasos: Son monobloques dotados con bobina de dos fajas de trabajo, de distinto diámetro.

La operación descrita anteriormente, del paso a través de la hilera y el tiro del alambre con la mordaza necesariamente se lo hará dos veces. O sea que una vez que el alambre ha pasado por la primera hilera se enrolla al alambre unas cuantas vueltas en la parte de la bobina de menor diámetro, se para el banco y se desengancha la mordaza para poder pasar el alambre por la segunda hilera desviándolo por una polea; aquí volvemos a enganchar el alambre a la bobina del banco de recogida, continuando de esta manera el trabajo de Trefilación.

La reducción del diámetro del alambre en la segunda hilera está determinado por la relación de diámetros de las dos partes de la bobina.

La diferencia de diámetros de la bobina nos dá diferentes velocidades tangenciales del alambre que se enrolla en ella, y también absorberán el incremento de longitudes del alambre al pasar por la hilera.

Al terminarse un rollo, la operación de enfilado no es necesario repetirla, cuando es posible soldar los extremos de los rollos a trefilar.

En la Trefilación Múltiple son de importancia los siguientes puntos para trefilar alambre con estos equipos:

- a) Determinación del número de pasos y de las reducciones parciales de acuerdo con los diámetros inicial y final del alambre.
- b) Los diámetros de las hileras se pueden escoger de tal manera que las reducciones por paso sean todas iguales o escoger valores descendentes desde el primero al último paso.

Si escogemos el primer sistema, o sea que todas las reducciones sean iguales, sucederá que las potencias necesarias del trefilado en los primeros bancos serán inferiores a las que necesitarían los últimos bancos, con ésto se estaría desaprovechando la potencia de los motores.

*¿Pregunta 1
Porque?*

Si elegimos reducciones descendentes, según el alambre se aleje del primer paso, ésto hará que utilicemos mejor la potencia de los motores, además castigaremos menos el alambre en los últimos pasos ya que al pasar por las últimas hileras llega más debilitado debido a las fuertes reducciones recibidas. También podemos anotar que las hileras se gastan menos.

- c) Determinación de los esfuerzos de trefilación en cada paso. Estos valores no deben sobrepasar al máximo para el cual la máquina haya sido calculada.
- d) Determinación de la velocidad en el último paso y la relación

de engranajes intercambiables adecuada.

Para reducciones iguales, el valor del porcentaje de reducción se lo deduce de la siguiente forma:

Aplicando la ecuación (3-1)

$$\%R_1 = \left[1 - \left(\frac{d_1}{D_0}\right)^2\right] \cdot 100$$

$$d_1 = D_0 \sqrt{1 - R_1}$$

$$\%R_2 = \left[1 - \left(\frac{d_2}{D_1}\right)^2\right] \cdot 100$$

$$d_2 = D_1 \sqrt{1 - R_2}$$

$$\%R_3 = \left[1 - \left(\frac{d_3}{D_2}\right)^2\right] \cdot 100$$

$$d_3 = D_2 \sqrt{1 - R_3}$$

$$\%R_4 = \left[1 - \left(\frac{d_4}{D_3}\right)^2\right] \cdot 100$$

$$d_4 = D_3 \sqrt{1 - R_4}$$

Agrupando en función de los diámetros original -D- y final -d- del alambre, se tiene:

$$d_n = D \sqrt{1-R_1} \sqrt{1-R_2} \sqrt{1-R_3} \sqrt{1-R_4} \dots \sqrt{1-R_n}$$

de donde:

$$\left(\frac{d_n}{D}\right)^2 = (1-R_1)(1-R_2)(1-R_3)(1-R_4) \dots (1-R_n) \quad (3-3)$$

Ecuación que relaciona los diámetros inicial y final del alambre para n rebajes desiguales.

Para rebajes iguales se tiene:

$$R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_n = R$$

es decir,

$$\left(\frac{d_n}{D}\right)^2 = (1-R)^n$$

de donde el porcentaje de reducción será:

$$\%R = 100\left[1 - \sqrt[n]{\left(\frac{d_n}{D}\right)^2}\right] \quad (3-4)$$

Con la Tabla I que relaciona los diámetros de los alambres trefilados en función del % de Reducción, se pueden encontrar los diversos valores de los rebajes sucesivos.

3.4 HILERAS Y PORTAHILERAS

Se llaman hileras en el proceso de trefilación a las matrices que sirven para reducir de diámetro al alambón.

Una hilera es una pieza de material muy duro que está provisto de un agujero calibrado y que tiene la forma de un embudo. Están hechas de acero al 13% de cromo; también de aleaciones especiales a base de carburo de tungsteno y también se las fabrica de diamante.

Este último tipo de hilera se lo utiliza para trefilar alambre de diámetros pequeños. Su fabricación consiste en un diamante en bruto provisto de un orificio y que va encajado en un núcleo de latón.

Para mejor ilustración, se muestra una sección de la hilera en la Figura N° 2.

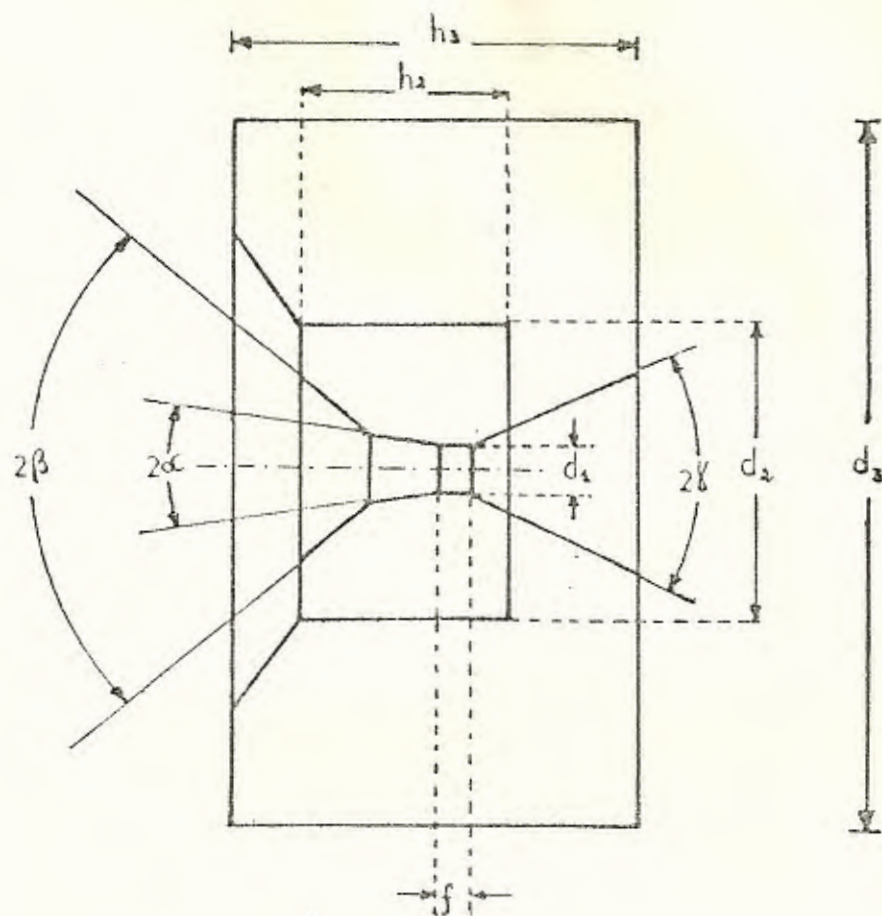


FIGURA N^o 2.- Sección de una Hilera tipo
(Montura cilíndrica)

- | | |
|---------------------------------------|------------------------------|
| 2β Angulo de entrada | d_2 Diámetro del Núcleo |
| 2α Angulo de Reducción | h_2 Altura del Núcleo |
| d_1 Diámetro de la Hilera | d_3 Diámetro de la montura |
| f Paso recto | h_3 Altura de la montura |
| 2γ Angulo de salida $< 2\beta$ | |

El ángulo de entrada será mayor que el de salida con la finalidad de que el lubricante pueda pasar con facilidad a la hilera. El ángulo de reducción o de ataque es el que determina la reducción del diámetro del alambre, cuyo valor final está dado por el diámetro de la hilera.

El paso recto es una guía para el alambre al salir éste de la hilera. Su longitud es un factor para la vida útil de la hilera en cada diámetro.

El portahilera es un instrumento de sujeción que posee un alojamiento adecuado para que pueda ser introducida la hilera, cuidando siempre de que ésta sea colocada en posición correcta, es decir que el alambre entre por el lado en que el ángulo es mayor, ya que por ese lado debe entrar el lubricante a la hilera (se asimila la hilera a un embudo). Ver figura N° 3. El portahileras puede ser regulado en el plano horizontal y en el plano vertical para dar los ángulos correctos de entrada y salida del alambre. La elevación del portahileras en el plano vertical del primer paso al segundo nivel de la bobina se realiza con la finalidad de enrollar el alambre en la parte superior del tambor y poder ejercer tracción con la mordaza para luego enfilear el alambre a la siguiente hilera (Ver numeral 5.2.2). También hacemos esta operación, de elevar el portahileras con el fin de trabajar con un solo paso en el banco de trefilar de dos pasos.

C A P I T U L O I V

INGENIERIA DEL PROYECTO

4.1 ESFUERZOS QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE TREFILADO

El trabajo de trefilación consiste de dos partes:

- a) El que se emplea en efectuar la deformación y
- b) La parte consumida en vencer la fricción entre las dos superficies del alambre y de la hilera.

Teóricamente las partes de la sección transversal deberían deformarse por igual pero en la práctica ocurren algunas distorsiones y deformaciones redundantes que demandan energía adicional sobre la necesaria para producir el cambio dimensional.

En trefilación las capas externas del alambre al pasar por la hilera sufren un retraso, respecto a las capas internas. Lo anotado puede verse claramente en la figura N° 4 (4), ya que estudios de deformación con retículas grabadas longitudinalmente en una barra estirada, ponen de manifiesto que la deformación no es homogénea cuando se produce el proceso de trefilado.

Importancia de la Lubricación en el Proceso de Trefilado

Las superficies del alambre y de la hilera poseen rugosidad a es-

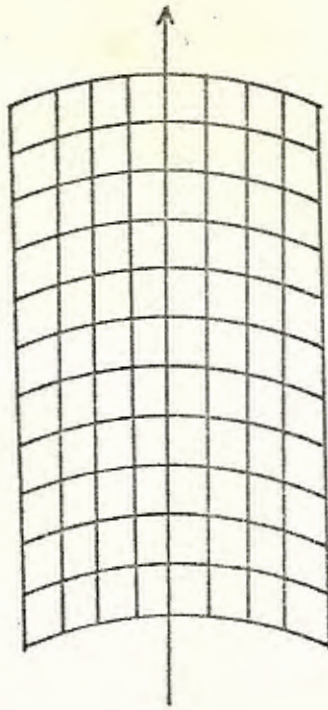


FIGURA N° 4.- Distorsión no Homogénea de una rejilla inicialmente grabada en una varilla trefilada.

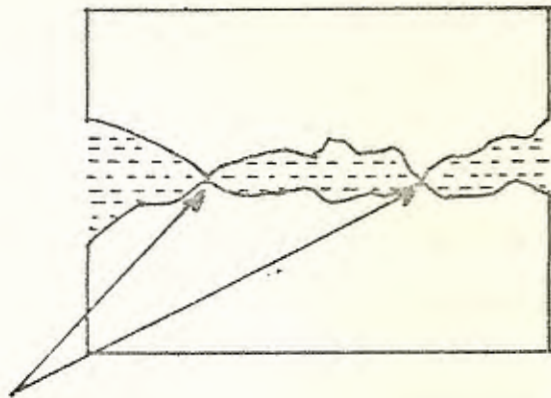


FIGURA N° 5.- Contacto de dos superficies metálicas pulidas, con lubricación. Vista magnificada.

cala microscópica. Hasta las más lisas superficies tiene rugosidades y al entrar dos superficies en contacto en realidad los puntos que entran en contacto son las elevaciones de cada superficie. Toda presión entre las superficies es soportada sobre los puntos que entran en contacto, (Ver Figura Nº 5), sobre estos puntos actúan esfuerzos más elevados que pueden causar soldamiento local (1).

Al moverse una superficie con relación a la otra, los puntos soldados se rompen y pueden causar rasgaduras del material de una o ambas superficies.

La función principal del lubricante es por tanto separar las dos superficies con suficiente espesor, de tal modo que los puntos no penetren la membrana lubricante.

ANALISIS DEL PROCESO

Teoría de la Plasticidad

La Teoría de la Plasticidad trata del comportamiento de los metales en la zona de deformación y en donde ya la ley de Hooke no es válida.

La ley de Hooke, establece que dentro del límite elástico, la deformación producida es proporcional al esfuerzo.

En la deformación elástica, ésta depende de las tensiones iniciales y finales y es independiente de las tensiones intermedias; en

cambio en la deformación plástica además de depender de la carga final, la deformación también depende de las tensiones intermedias.

En la región plástica de deformación no existen relaciones sencillas de tensiones y deformaciones, lo contrario que ocurre en la zona elástica, por lo tanto es preciso establecer ciertas hipótesis para simplificar el problema y así poder obtener una solución matemática manejable.

Determinación del Esfuerzo de Trefilado

Para determinar el esfuerzo necesario en el proceso de trefilación se asimila el alambroón a una varilla cilíndrica.

El método de evaluación de esfuerzos puede ser aplicado para condiciones de simetría axial. Del mismo modo ubicaremos el plano de esfuerzos de trefilado, (Figura N° 6) .

Llamemos 2α al ángulo de reducción, μ el coeficiente de fricción y Y el esfuerzo o carga de fluencia que soporta el alambre al ser trefilado.

En trefilación de alambre con hilera cónica tenemos que: α , μ , Y son constantes.

Consideraremos el equilibrio de un pequeño elemento de forma de cono truncado en la zona de trabajo (Figuras N° 7 y N° 8).

Un análisis de los esfuerzos que intervienen nos demuestra (8) que

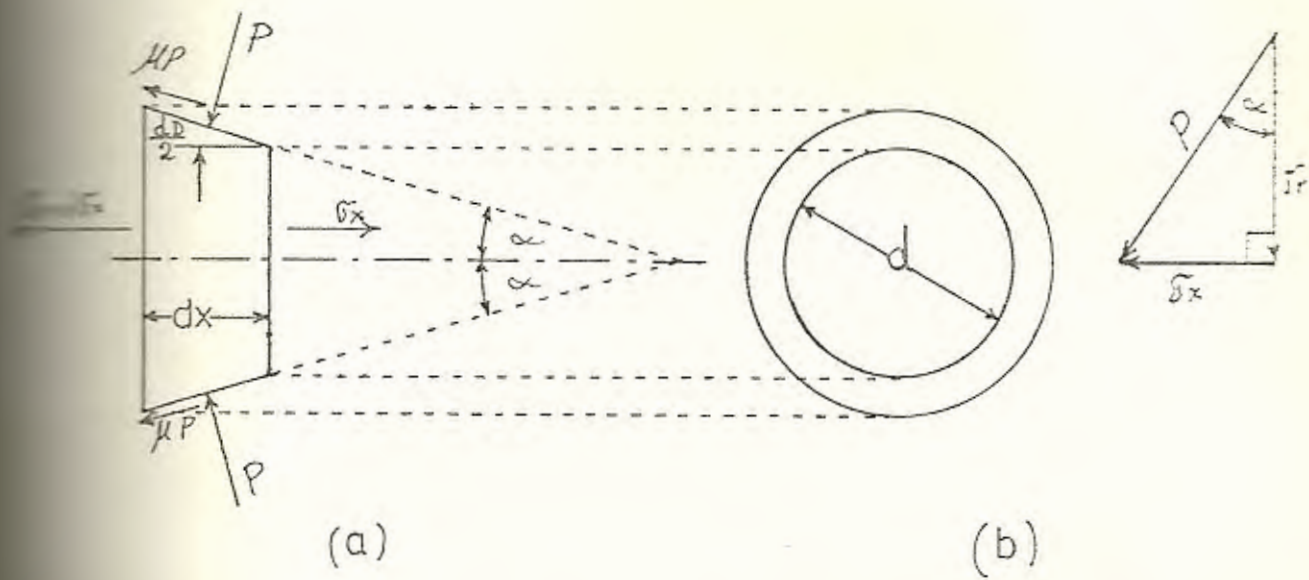


FIGURA N^o 6.- Demostración de los Esfuerzos que actúan sobre un Elemento de Varilla Trefilada a través de una Hilerá Cónica.

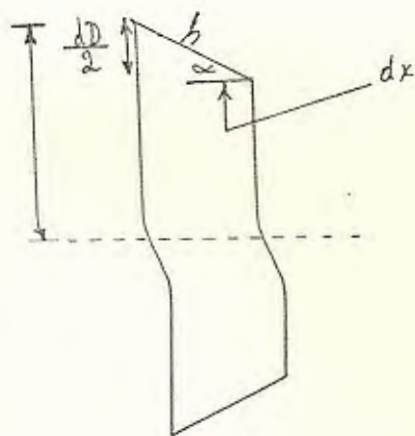


FIGURA N^o 7.- Elemento de Area sobre la que actúa la fuerza P , y la fricción de arrastre μP .

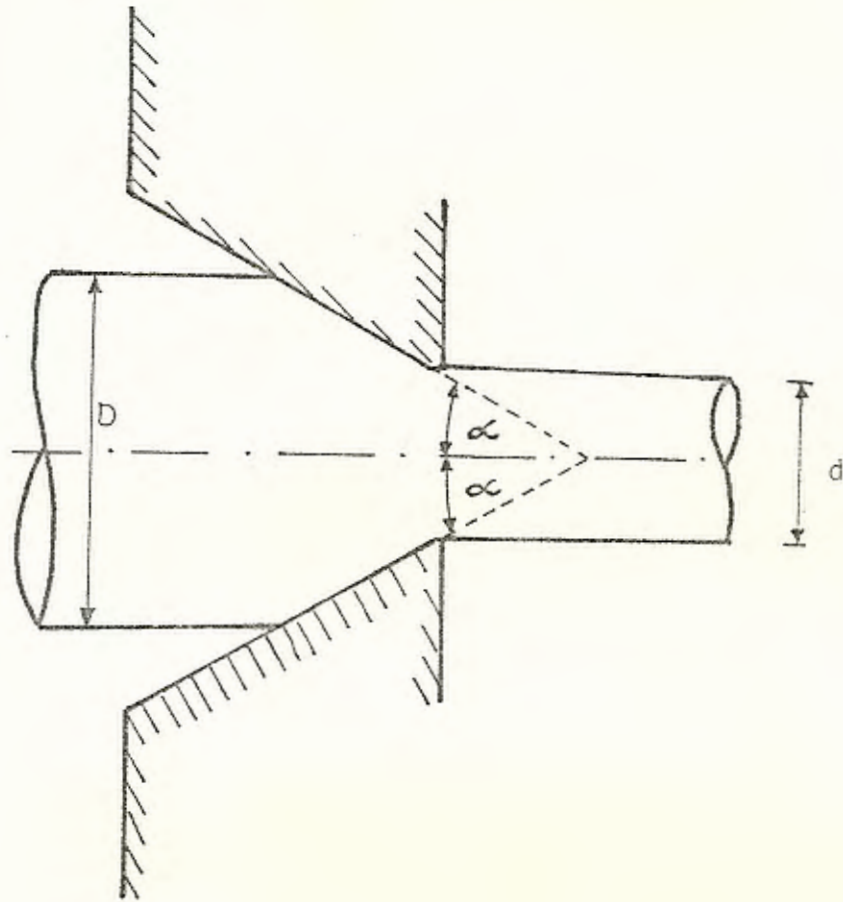


FIGURA N^o 8.- Reducción del diámetro del alambre al pasar por la hilera.

el esfuerzo de trefilado está dado por:

$$\sigma_{xa} = \frac{1+B}{B} \left[1 - \left(\frac{d}{D} \right)^{2B} \right] Y \quad (4-1)$$

en donde:

σ_{xa} = Esfuerzo de Trefilado

B = Constante, equivalente a: $\mu \cot \alpha$

d = Diámetro final del alambre

D = Diámetro inicial del alambre

Y = Esfuerzo o carga de fluencia

Esfuerzo de Tiro para pasar el Alambre por una Hilera

El esfuerzo de tiro, realizado por la máquina está dado (4) por la fórmula:

$$F_t = R_t \cdot S \cdot X \quad (4-2)$$

donde:

R_t = Resistencia del material después de pasar por la hilera en Kg./mm.^2

S = Sección del alambre después de pasar por la hilera, en mm.^2

X = Un factor en función del porcentaje de reducción %R (Tabla II) que tiene lugar en la hilera y su valor es:

$$X = 0,18 + 0,01385 \%R.$$

Como aplicación práctica en el presente estudio calcularemos el esfuerzo de tiro en la primera hilera con los datos obtenidos en el ensayo de tracción (Tabla XII).

$$R_t = 42,31 \text{ Kg./mm.}^2$$

$$S = 21,98 \text{ mm.}^2$$

para encontrar el valor de X supongamos que el valor de %R = 23 el valor encontrado para la primera reducción, es:

$$X = 0,18 + 0,01385 \times 23$$

$$X = 0,50$$

Por lo tanto, el valor del esfuerzo de tiro en la primera hilera será:

$$F_t = 42,31 \times 21,98 \times 0,5 = 465 \text{ Kg.}$$

La decalaminadora exige un esfuerzo de tiro adicional que deberá ser dado por el monobloque que le sigue.

El valor del tiro en la bobina correspondiente a la decalaminadora (4) se lo calcula por la siguiente expresión:

$$F_d = T_d(1-\%R) \quad (4-3)$$

donde:

F_d = tiro de la bobina

T_d = esfuerzo de pasar el alambre por la decalaminadora

%R = la reducción total en ese monobloque

Al valor del esfuerzo de tiro F_t habrá que añadirle F_d , para el cálculo, de donde el esfuerzo total F del primer banco de trefilación será:

$$F = F_t + F_d \quad (4-4)$$

Velocidad del Trefilado

Después de haber calculado el esfuerzo de tiro, se debe proceder al cálculo de la velocidad máxima a la que deberá pasar el alambre por la hilera. Para este cálculo se debe tener en cuenta la potencia del motor que tira de él. El valor de la velocidad es el siguiente:

$$V = \frac{CV \cdot 75 \cdot \eta}{F} \quad (4-5)$$

en donde:

V = Velocidad en m/seg.

CV = Potencia del motor en caballos vapor

75 = Factor de Conversión (Kg.m/seg.CV)

η = Rendimiento del banco de trefilar, estimado entre 0,80-0,90

F = Esfuerzo de trefilación en Kgs.

En la práctica, la velocidad de trabajo no podrá alcanzar el valor máximo que permitiría el motor, debido a ciertas limitaciones, como las siguientes:

- Características mecánicas de la máquina y sistema de trabajo
- Calidad y propiedades del alambre

- Lubricación
- Capacidad de evacuación de calor por parte de la máquina
- Roturas del alambre, etc.

4.2 DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE REDUCCION DE SECCION EN TREFILACION DE ALAMBRON PARA SOLDADURA.

Sabemos que el porcentaje de Reducción es igual a:

$$\%R = \frac{D^2 - d^2}{D^2} \times 100$$

$$\%R = \left[1 - \frac{d^2}{D^2} \right] \times 100$$

Si a la relación del diámetro final "d" sobre el diámetro inicial "D" la llamamos a tenemos:

$$\%R = 100(1-a^2)$$

$$a = \sqrt{1 - R} \quad (4-6)$$

El porcentaje de Reducción total lo podemos encontrar conociendo diámetro inicial "D" y el diámetro final "d" del alambre a trefilarse.

Como ejemplo práctico tenemos el alambraón para soldadura que lo vamos a trefilar en Monobloques MILL de doble rebaje.

Conociendo el %R total, podemos calcular los rebajes intermedios para los subsiguientes pasos e hileras a emplearse, utilizando

diagramas que proporciona el fabricante de la maquinaria. Ver Gráfico N° 1.

Diámetro del alambón a trefilarse

$$D = 5,56 \text{ mm. (7/32")}$$

Diámetro final del alambre

$$d = 3,18 \text{ mm. (aprox. 1/8")}$$

Número de pasos de Reducción = 4

$$\%R_{\text{total}} = 100[1 - (\frac{d}{D})^2]$$

$$\%R_{\text{total}} = 68,3\%$$

Para encontrar el % de Reducción en cada paso situamos este valor encontrado en el Gráfico N° 1 que relaciona los porcentajes de reducción total con el número de pasos y la reducción por cada paso.

Encontramos que el % de Reducción para cada paso según el Gráfico será 25%.

También podemos encontrar los valores de las reducciones intermedias haciendo el siguiente análisis, válido para la maquinaria analizada.

Para monobloques de dos pasos, la bobina tiene dos escalones de diámetros diferentes. Figura N° 9. Aquí tendremos en cuenta que la reducción del segundo paso (2a. hilera) está determinada por

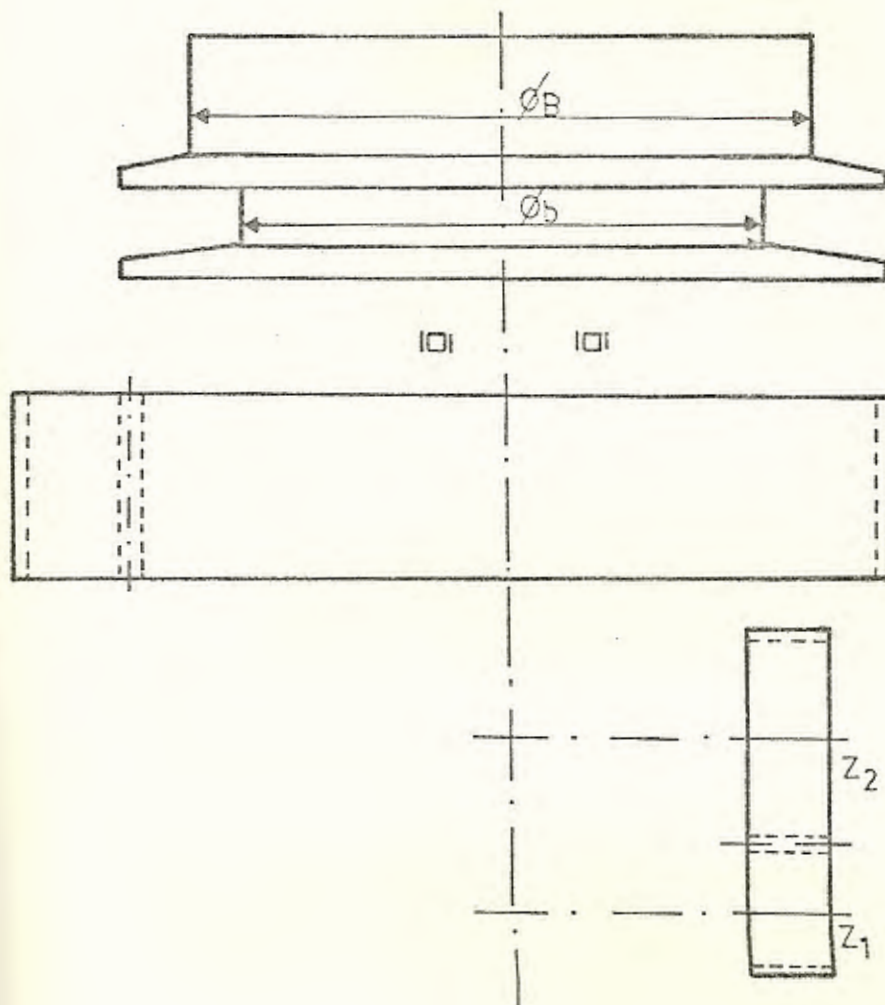


FIGURA N° 9.- Bobina de dos pasos, con dos escalones de diámetros diferentes.

los dos diámetros de los escalones de la bobina.

La expresión para la Reducción Mínima del segundo paso, si los dos diámetros de la bobina son ϕ_b y ϕ_B , es la siguiente:

$$\%R = \left(1 - \frac{\phi_b}{\phi_B}\right) \times 100$$

En nuestro caso y por observaciones en el equipo de trefilación utilizado, tenemos que los dos diámetros de la bobina son:

$$\phi_b = 450 \text{ mm.}$$

$$\phi_B = 600 \text{ mm.}$$

Reemplazando los valores de los diámetros de la bobina en la fórmula, tendremos:

$$\%R = 25\%$$

El fabricante recomienda para el segundo paso, tomar reducciones del 1 al 4% mayores que el valor mínimo, para evitar que el enrollamiento quede ajustado y se produzca un desgaste prematuro en la bobina.

En este cálculo tomaremos el 2% adicional para el segundo paso, por lo tanto tendremos:

$$\text{Reducción del 2º paso: } 25\% + 2\% = 27\%$$

Como en cada monobloque deberá reducirse el 50%, la reducción correspondiente al primer paso será:

Reducción del primer paso: $50\% - 27\% = 23\%$

Para el tercero y cuarto paso hacemos las mismas consideraciones de donde podemos hacer el siguiente cuadro de reducciones recomendadas para las hileras respectivas:

Primer Paso = 23%

Segundo Paso = 27%

Tercer Paso = 23%

Cuarto Paso = 27%

Para el cálculo de los diámetros correspondientes a los 4 pasos de acuerdo a los respectivos %R, utilizamos la expresión (4-6):

$$a = \sqrt{1 - R}$$

como $a = \frac{d}{D}$

tendremos:

$$\frac{d}{D} = \sqrt{1 - R} \quad , d = D\sqrt{1 - R} \quad (4-7)$$

en donde:

d = diámetro menor a encontrarse

D = diámetro de entrada

R = reducción recomendada

Reemplazando los valores correspondientes para un alambre a trefi-

larse de diámetro $D = 5,56$ mm., tendremos:

$$d = D\sqrt{1-R}$$

$$\text{Primer Paso: } d_1 = 5,56\sqrt{1-0,23}$$

$$d_1 = 5,56\sqrt{0,77} = 5,56 \times 0,877$$

$$d_1 = 4,88 \text{ mm.}$$

$$\text{Segundo Paso: } d_2 = 4,88\sqrt{1-0,27} = 4,88\sqrt{0,73}$$

$$d_2 = 4,88 \times 0,854$$

$$d_2 = 4,18 \text{ mm.}$$

$$\text{Tercer Paso: } d_3 = 4,18\sqrt{1-0,23}$$

$$d_3 = 4,18\sqrt{0,77} = 4,18 \times 0,877$$

$$d_3 = 3,66 \text{ mm.}$$

$$\text{Cuarto Paso } d_4 = 3,66\sqrt{1-0,27}$$

$$d_4 = 3,66\sqrt{0,73} = 3,66 \times 0,854$$

$$d_4 = 3,13 \text{ mm.}$$

Tabulando estos valores tendremos:

	<u>Reducción (R)</u>	<u>D</u>	<u>d</u>
Primer Paso	0,23	5,56	4,88
Segundo Paso	0,27	4,88	4,17
Tercer Paso	0,23	4,17	3,66
Cuarto Paso	0,27	3,66	3,13

Los valores de d son los valores de los diámetros sucesivos de

las hileras para trefilar alambón de diámetro $D = 5,56$ mm. a un diámetro final de $d = 3,13$ mm. en 4 pasos.

4.3 CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DEL ALAMBRE EN EL TREFILADO

Al trefilar alambre, éste sufre cambios en sus propiedades mecánicas, consideraremos en primer lugar la reducción de área que en trefilado la expresamos en porcentaje. En general se expresa en términos de áreas seccionales antes y después de trefilar:

$$\%R = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100$$

donde: A_1 es el área inicial y A_2 es el área final.

De la misma manera tenemos el porcentaje de alargamiento (Elongación) que Bonzel (1) lo representa de la siguiente forma:

$$\%E = \frac{A_1 - A_2}{A_2} \times 100$$

También del mismo autor incluimos una tabla que relaciona las Reducciones de Area y Elongación durante el trefilado. (Tabla III).

En la Tabla III notamos que la reducción de área se incrementa hacia el 100% pero naturalmente no alcanzará el 100%. Los valores de la elongación se incrementan al infinito y la relación de diámetros se hace progresivamente más pequeña.

4.3.1 ENDURECIMIENTO DEL MATERIAL

Al ser trefilados, los materiales aumentan su resistencia.

Es decir, al estirar un alambre éste sufre un endurecimiento que se opone al cambio de forma con una resistencia siempre creciente.

La resistencia final que toma el material que trefilamos dependerá (7) principalmente:

- del número de pasos de trefilación.
- del porcentaje de reducción total
- del tanto por ciento de cada reducción parcial cuando es trefilación múltiple.

Para un mismo material y para una reducción total determinada, la resistencia a ser deformado es más elevada cuando menor es el número de pasos que se trefila.

4.3.2 EFFECTOS GENERALES DEL TREFILADO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL ALAMBRE.

Las propiedades físicas del alambre trefilado son el resultado de su historia térmica y mecánica, lo cual difiere como es lógico de un alambre a otro. Sin embargo, un común denominador a estos fenómenos diversos se puede establecer por el efecto del trefilado sobre la estructura cristalina del alambre, la cual toma la forma de granos alargados y alineados preferentemente a los ejes de los cristales.

El cambio de propiedades es función principal de la reducción total. Y sobre este efecto de reducción también tiene influencia secundaria la geometría de la hilera, la retracción y la temperatura de trefilación.

Experimentalmente, el efecto del trefilado sobre las propiedades físicas de un acero blando es función del:

- número de pasos. El esfuerzo de tensión aumenta por cada paso.
- porcentaje de reducción. La resistencia del material se incrementa al aumentarse el porcentaje de reducción.
- porcentaje de reducción. La elongación aumenta con R.
Asímismo la elongación aumenta al disminuir el área.

C A P I T U L O V

APLICACIONES PRACTICAS

5.1 DESCRIPCION DEL EQUIPO DE TRABAJO DE TREFILACION DE ALAMBRON PARA SÓLDADURA.

Las observaciones y recopilación de datos para el presente trabajo han sido hechas en una planta industrial local que posee equipos de trefilación para la producción de electrodos para soldadura.

Para tener una idea clara del flujo que sigue el alambre al ser sometido al proceso de trefilación, observamos en la Figura N° 10, la disposición del equipo para trefilar.

5.1.1 PORTA-ROLLOS

El rollo de alambre que va a trefilarse va soportado por un mecanismo de estructura fuerte provisto de dos brazos giratorios, donde van colocados los rollos de alambre. Al terminarse el rollo que está trefilándose, para continuar el trabajo sin interrupción basta girar el portarrollos 180° y estará en posición de continuar el proceso, Figura N° 11.

La barra de soporte gira sobre rulimanes. Los datos técnicos del portarrollos en lo referente a dimensiones y capacidad

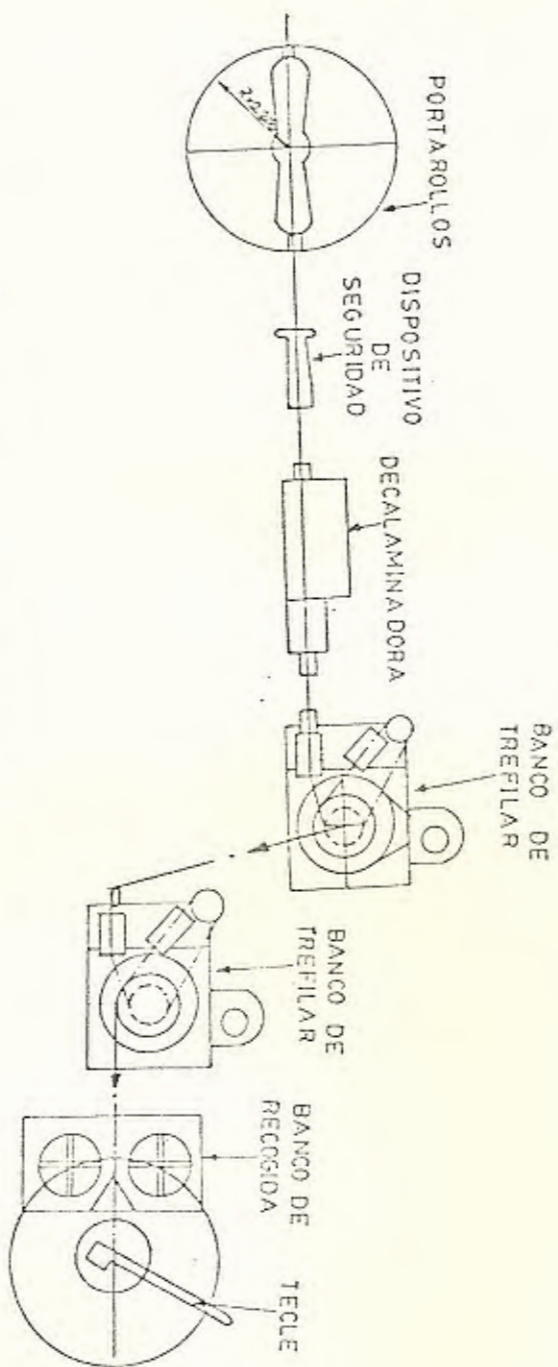


FIGURA 10.— DISPOSICION DEL EQUIPO DE TREFILAR

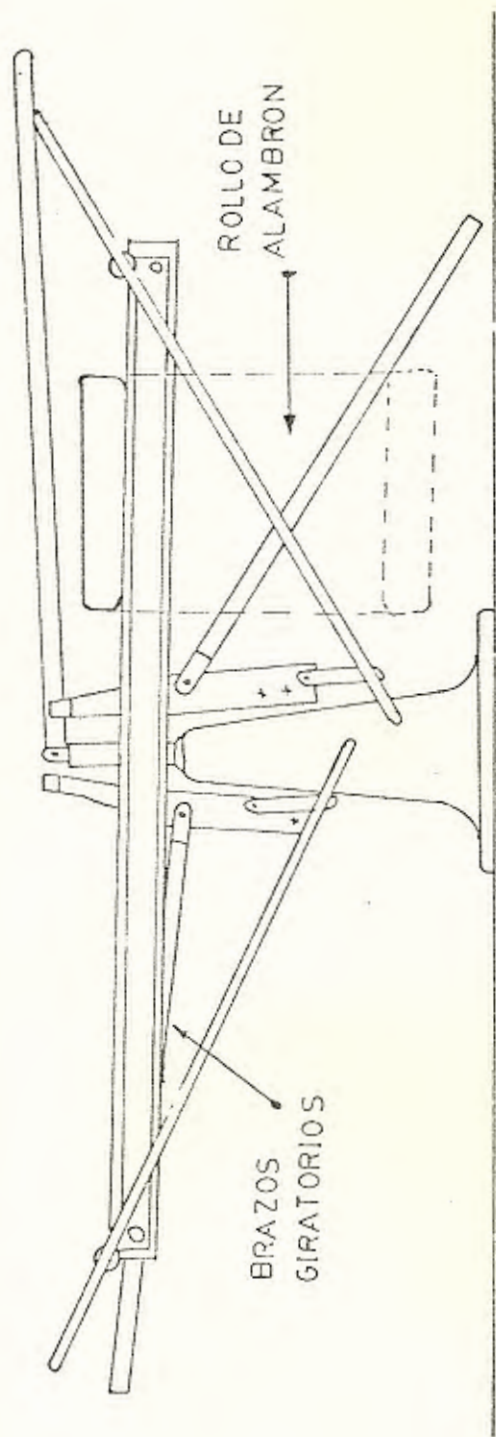


FIGURA 11 . — PORTA ROLLOS

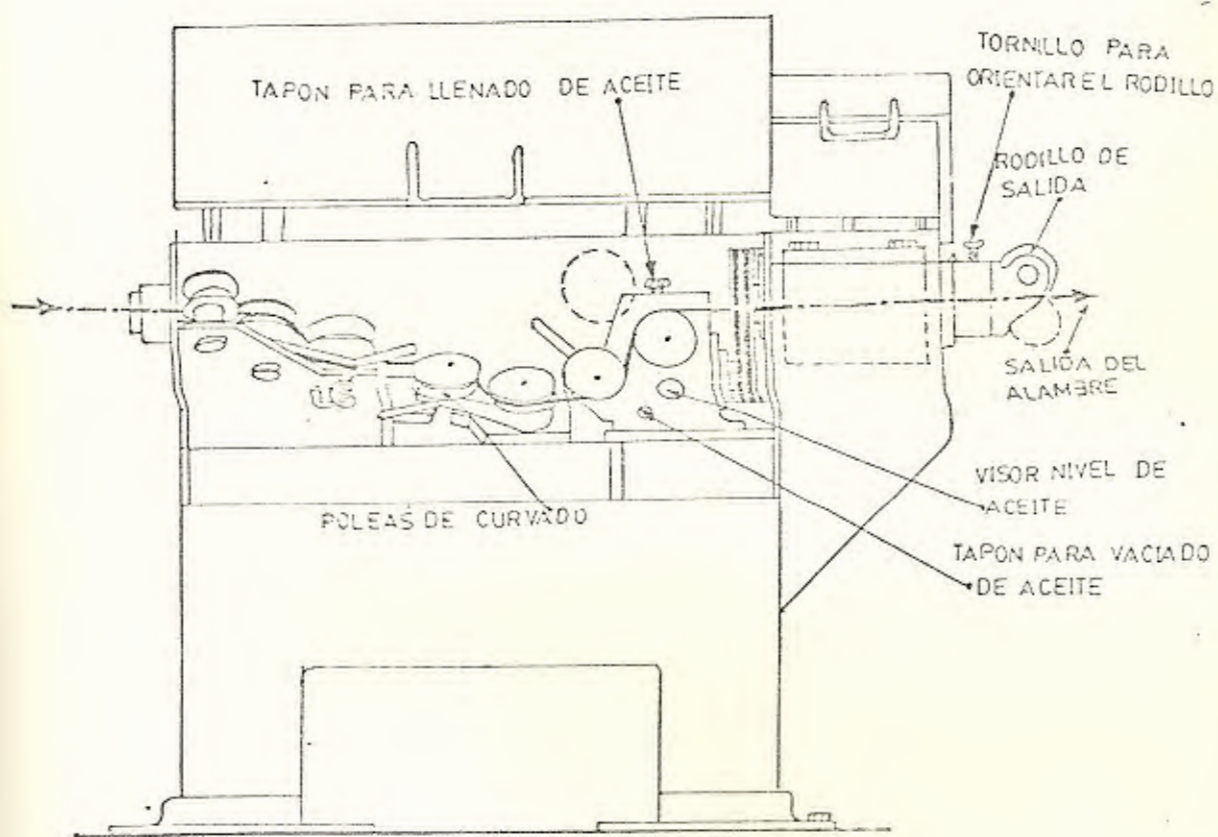


FIGURA 13--DECALAMINADORA

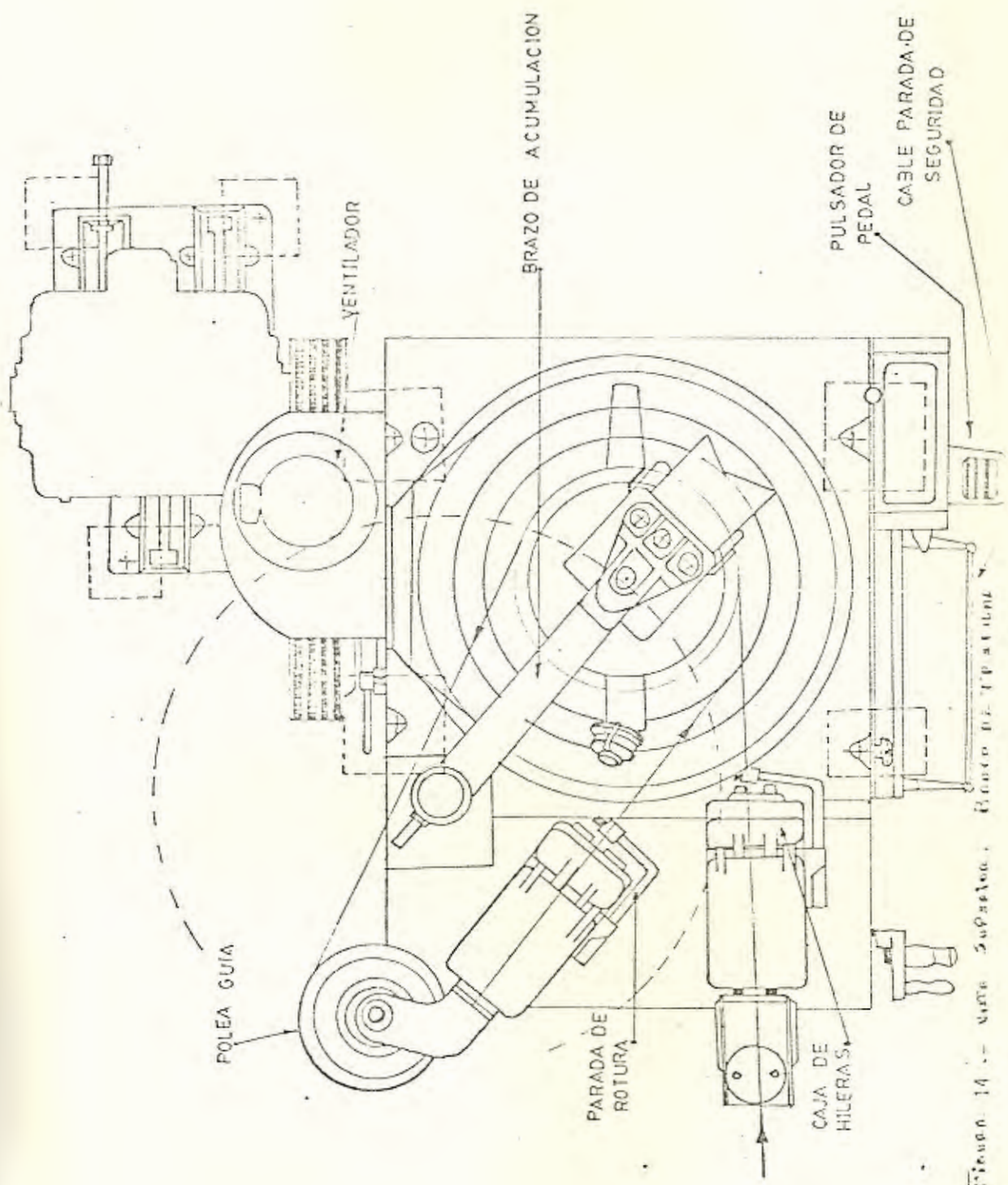


Figura 14. - Parte Superior. Grupo de Tratamiento

Es de mucha importancia vigilar la refrigeración correcta de las hileras. En los bancos de trefilar, la primera hilera es la que tiene mayor trabajo, desgastándose por esta razón más que las otras, por lo tanto, la conveniencia del uso de portahileras rotantes que evita el desgaste prematuro de la primera hilera y además ayuda a lubricar.

El primer banco de trefilar es el TV-22/2ar llamado Normal y el segundo TV-22/2r versión Veloz; cada uno tiene una bobina de ϕ 600 mm. y la velocidad de entrada es de 1.000 rpm. Si se desea un valor determinado de $N_b = \text{r.p.m.}$ de la bobina, se adoptarán los engranes intercambiables según la relación:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{N_b}{K_n} \quad N_b = K_n \frac{Z_1}{Z_2}$$

donde:

- Z_1 = Número de dientes del engrane conductor,
- Z_2 = Número de dientes en el engrane conducido
- K_n = Constante de la Máquina

El valor de la constante de la máquina K_n para los dos tipos de velocidad (7) son:

Tipo Normal $K_n = 76,22 \text{ r.p.m.}$

Tipo Veloz $K_n = 93,63 \text{ r.p.m.}$

Considerando siempre que: $Z_1 + Z_2 = 97$

y los límites Z_1/Z_2 son: 32/65 y 65/32

En las Tablas IV-V tenemos valores ya calculados (7) de N_b y V para valores dados de la relación de los engranes intercambiables Z_1/Z_2 , engrane conductor Z_1 y engrane conducido Z_2

5.1.5 BANCO DE RECOGIDA

El alambre ya trefilado es acumulado en el banco de recogida que tiene 2 bobinas de ϕ 600 mm. cada una.

Cada bobina está acoplada independientemente a un motor como se ve en la Figura N° 15.

El control del llenado de la bobina se lo hace por medio del aparato cuentavuelas. Este aparato es automático con micro-interruptor eléctrico de doble contacto. Su forma de contador es de tipo restante, esto quiere decir que para llenar una bobina marcamos un número determinado de vueltas en el aparato que según sigue acumulándose el alambre seguirá restando automáticamente el cuentavuelas, hasta llegar a 0, instante en que se cortará el alambre y enganchará para seguir enrollando en la bobina adyacente previamente preparada.

Las velocidades del banco de recogida se las puede variar cambiando el diámetro de las poleas de los motores y de las poleas impulsoras de las bobinas del banco de recogida.

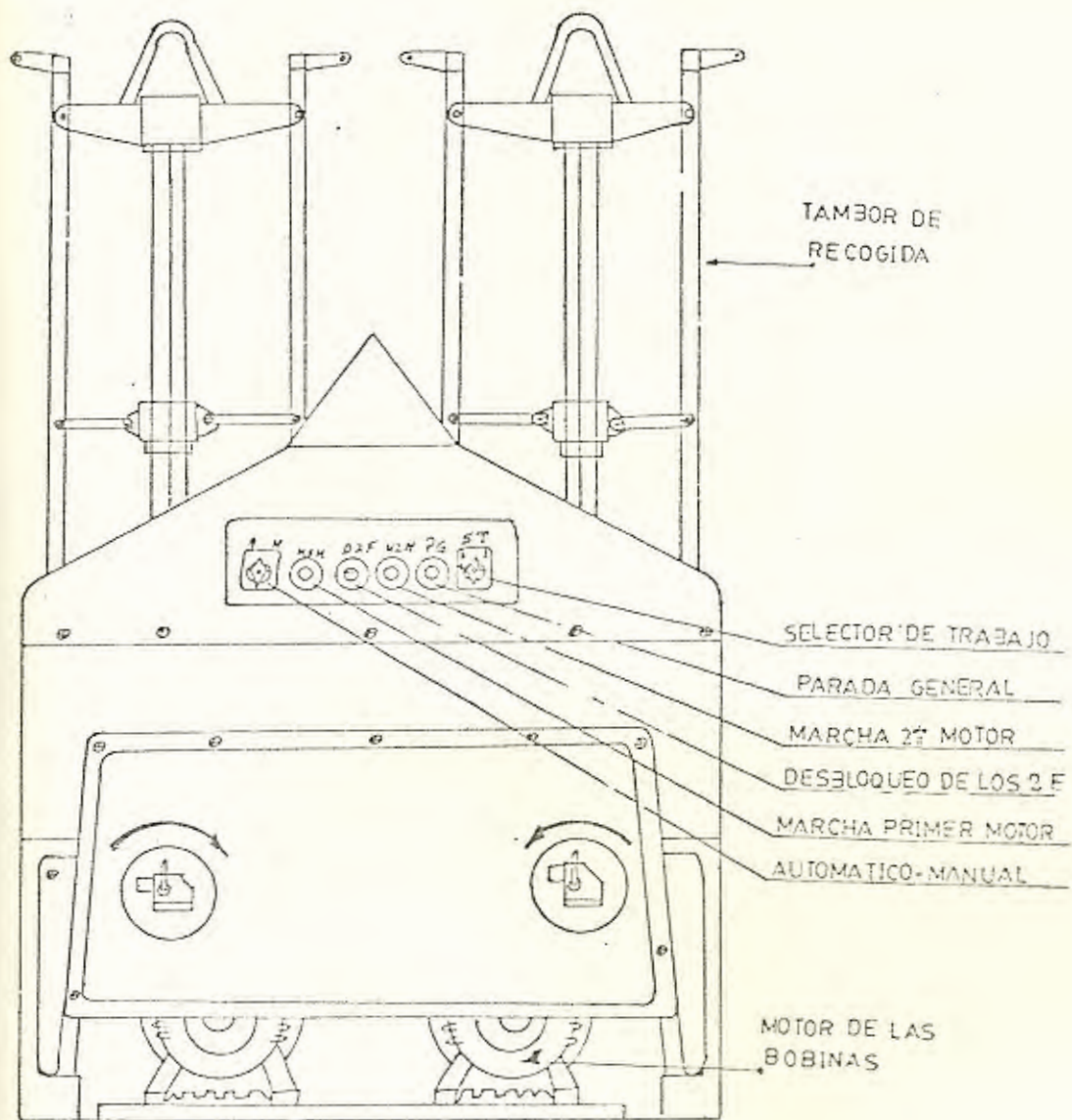


FIGURA 15 --BANCO DE RECOGIDA



FIGURA N° 16.- Tambor de almacenamiento de alambre del Primer Banco de Trefilar.

- b. La forma correcta de trabajo de los piñones en posición paralela, esto evita desgaste desigual de los dientes y el peligro de que se rompan.
5. Poner el freno del banco de recogida con el tambor vacío.

5.2.2 OPERACION DE LAS MAQUINAS

1. Colocar las hileras a usarse en posición de que el ángulo menor quede hacia adelante.
2. Colocar el jabón para el trefilado en los depósitos del portahileras de cada máquina. Ver Figura N° 17.

La cantidad de jabón lubricante que se debe colocar en la caja del portahileras es alrededor del 75% del depósito.

3. Colocar el rollo del alambre en el portarrollos.
Como ya hemos anotado, el portarrollos es un dispositivo giratorio. Ver Figura N° 18.
4. Pasar el alambre por las poleas de la decalaminadora. Ver

- ra. Además, tener en cuenta que la punta del alambre no tenga rebabas.
7. Prender la bomba de aceite en cada máquina. Lubricar los piñones de la máquina.
 8. Prender las máquinas de trefilación necesarias.
 9. Revisar las llaves que permiten el paso del agua para refrigerar las hileras y los tambores.
 10. Chequear el nivel de aceite.
 11. Pasar la punta del alambre por la hilera # 1.
 12. Colocar la mordaza en la punta del alambre, Figura N° 20 y elevar portahilera # 1 a nivel del tambor superior.
 13. Dar varias vueltas con máquina al tambor, para enrollarlo algunas vueltas. Se pasa el alambre al tambor inferior y se lo enfila por la segunda hilera mediante la mordaza, realizando así mismo varias vueltas con máquina. Se retira la mordaza y se procede a la operación normal.
 14. Si el proceso requiere más de 2 rebajes, el alambre pasa a un segundo banco de trefilación. Figura N° 21, en donde se repiten los pasos 11 y 13. Luego del último rebaje, el alambre sale del tambor respectivo al banco de recogida.

15. Enganchar el alambre al tambor del banco de recogida.
El tambor de recogida tiene un candado que sujeta el alambre al girar manualmente el tambor. En la Figura N^o 22 vemos como se enrolla el alambre en un tambor del banco de recogida.
16. Comprobar la medida del alambre con el micrómetro.
17. Poner en marcha la máquina.
18. Controlar que la hilera no raye el alambre.
19. Chequear periódicamente que el diámetro del alambre no varíe.



FIGURA Nº 17.- Portahileras con la Caja de Depósito del Jabón Lubricante.



FIGURA Nº 18.- Portarrollos con los respectivos rollos en cada brazo, listos para pasar por la decalaminadora.



FIGURA N° 19.- Alambre pasado por los rodillos de la decalaminadora.

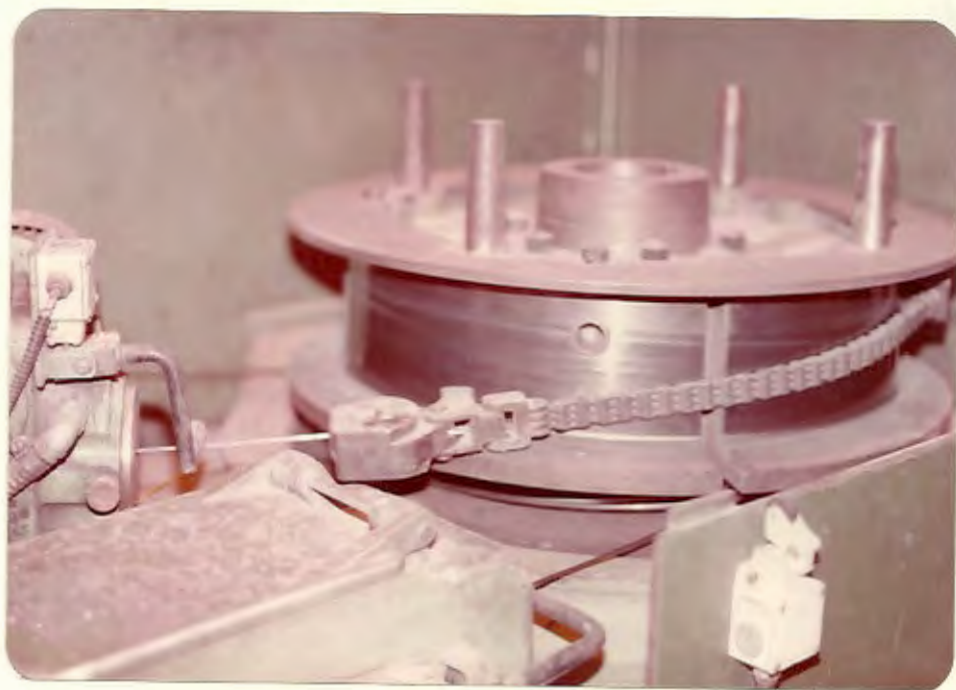


FIGURA N° 20.- Mordaza conectada al tambor para halar el alambre al comenzar a trefilar.

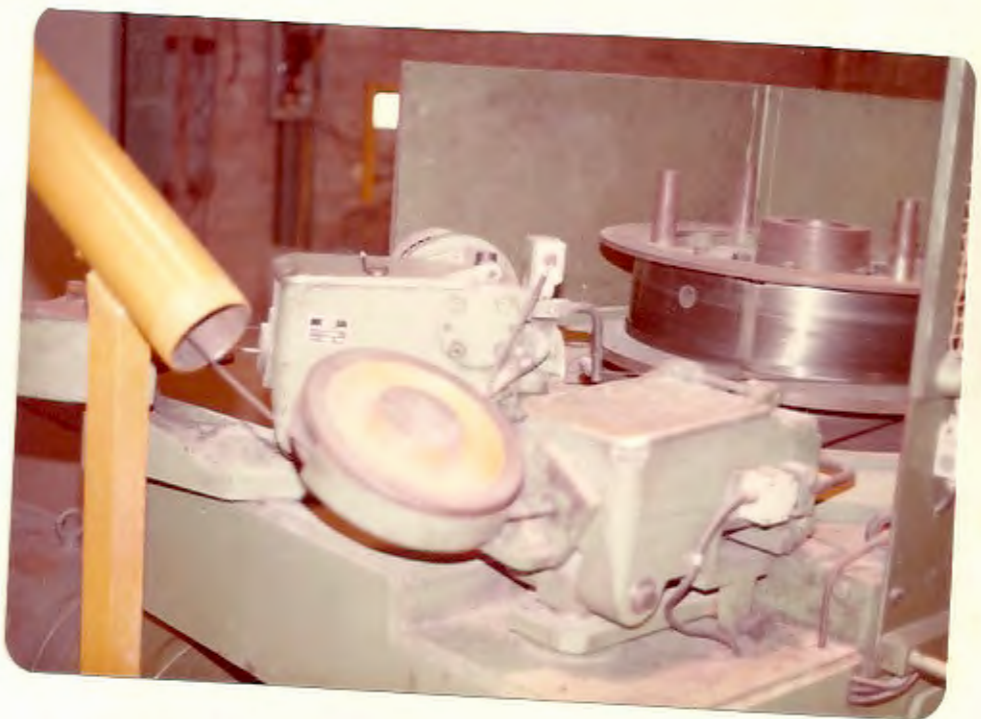


FIGURA N° 21.- Banco de Trefilación de dos pasos



FIGURA N° 22.- Banco de recogida enrollando una bobina

C A P I T U L O VI

ENSAYOS Y RESULTADOS

6.1 ENSAYOS MECANICOS Y MICROESTRUCTURALES DEL ALAMBRON

Para los ensayos experimentales se han tomado muestras del material usado en la fabricación de electrodos en una empresa local, siendo éste un alambón de bajo contenido de Carbono. La composición química media del alambón puede verse en la Tabla VI.

Comparativamente, estableceremos las diferencias que se observan entre el alambón antes de ser trefilado y luego el mismo alambre al pasar por 4 etapas de reducción de sección.

6.1.1 ENSAYOS DE DUREZA

La dureza de un material indica generalmente la resistencia que opone el cuerpo a ser deformado.

La probeta para nuestro ensayo está formada por un pedazo de alambón de diámetro 5,5 mm. del que mediremos su dureza longitudinal y dureza transversal.

Además, mediremos la dureza del mismo alambre al ser trefilado 4 etapas y así establecer experimentalmente que cuando un material es sometido a esfuerzos de tracción, éste adquiere

dureza creciente.

Los ensayos de dureza realizados en el presente trabajo son por el método Vickers, y han sido efectuados en el Laboratorio de Metalurgia Mecánica de la ESPOL.

El aparato utilizado para medir la dureza del material es un Microdurómetro que posee un penetrador (identador) de diamante de forma piramidal de base cuadrada. El ángulo que forman las caras opuestas de la pirámide que utilizamos como penetrador es de 136° .

Para controlar las distancias sobre las que actuará el penetrador, éste posee un micrómetro donde el tambor tiene graduaciones que equivalen a 0.001".

Luego de realizado el ensayo de dureza longitudinal del alambión, los datos obtenidos se observan en la Tabla VII, en la cual se ha incluido el valor de dureza del alambión decapado ya que es interesante anotar que al examinar dicho valor y compararlo con el de dureza del alambión original, éste se ha incrementado; demostrándonos además con el presente ensayo que al ser decapado mecánicamente el alambión, sufre un estiramiento producido por las poleas de la decalaminadora con el consiguiente endurecimiento. (Gráfico N° 2).

Ensayo de Dureza Transversal del Alambión

En el ensayo de dureza transversal como en el de dureza lon-

gitudinal utilizamos el Microdurómetro con lente 200x, y la carga que aplicamos con el indentador es de 300 gr.

Los valores de dureza transversal (Vickers) obtenidos a distancias de 0.025" a partir del borde del alambre hacia el centro mismo, se demuestra en la Tabla VIII.

El valor de dureza cerca de la periferia del alambón es mayor que los valores hacia el centro. Lo que quiere decir que ésta es la zona donde se producen mayores esfuerzos, ya que al trefilar el material las capas externas de la varilla sufren un retraso respecto a las internas debido a la fricción.

6.1.2 ENSAYOS DE TRACCION

El ensayo de tracción consiste en someter a una probeta a carga axial de tracción creciente, hasta que se produzca la rotura.

Con el ensayo de tracción obtenemos información sobre la resistencia mecánica de los materiales (4).

En el presente estudio, es de mucha importancia medir estos valores de resistencia, ya que al trefilar el alambón se lo somete a diferentes etapas de reducción de sección aplicando fuerzas de tracción para obligar a pasar el alambre por la hilera y como consecuencia tenemos un aumento creciente de dureza y mayor resistencia a la deformación.

Al realizar los ensayos de tracción de la probeta del alambón sin trefilar y de las probetas del alambón trefilado se han obtenido valores crecientes de resistencia a la tracción, cuanto mayor es el número de paso de reducción; necesitando por lo tanto mayores esfuerzos para deformarse y romperse.

El primer ensayo de tracción lo realizamos con la probeta del alambón antes de ser trefilado.

La máquina que posee la Escuela Superior Politécnica del Litoral, en la que hemos llevado a cabo los ensayos para el presente trabajo se denomina "Máquina Universal de Ensayos". INSTRON 1128. El rango de aplicación de carga es de 100 hasta 50.000 Kg. El rango del papel que hemos escogido para el ensayo es de 2.000,0 o sea que cada cuadro del papel que usa la máquina equivale a 20 Kg.

La velocidad del ensayo (del material) es de 5 mm./min. La velocidad del papel la calibramos en 50 mm./min. con la finalidad de dar más facilidad de lectura a los datos obtenidos.

Los valores que la máquina nos grafica son de carga en Kg., además podemos medir los alargamientos de cada probeta de la siguiente manera: marcamos en la probeta (alambón) distancias equivalentes a 5 veces el diámetro de la misma, des-

pués de producida la rotura del material volvemos a medir y por diferencia obtenemos el alargamiento producido.

Como quedó anotado anteriormente la máquina nos dá valores de carga aplicada en Kg. Así tenemos en las curvas de tracción que éstos valores de cargas aplicadas son: cargas de fluencia (P_e); cargas de tracción (P_t) y cargas de rotura (P_r). En el Gráfico N° 3 ilustramos en forma comparativa las curvas obtenidas en los ensayos de tracción.

Para el cálculo del límite de fluencia, resistencia a la tracción, y resistencia a la rotura, empleamos la fórmula:

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

donde

P = carga aplicada en Kg.

A_0 = Area transversal inicial del alambre.

Efectuaremos como ejemplo, el cálculo de los esfuerzos citados para el alambroón original que los tabularemos en la Tabla IX.

Límite de fluencia:

$$\sigma = \frac{P_e}{A_0} = \frac{600}{23,76} = 25,25 \text{ Kg./mm.}^2$$

Resistencia a la tracción:

$$\sigma = \frac{P_t}{A_o} = \frac{843}{23,76} = 35,48 \text{ Kg./mm.}^2$$

Resistencia la rotura:

$$\sigma = \frac{P_r}{A_o} = \frac{570}{23,76} = 23,99 \text{ Kg./mm.}^2$$

En la probeta que representa al alambión, la resistencia a la tracción tiene un valor 35,48 Kg./mm.² Este valor nos servirá como base para demostrar experimentalmente el aumento de la resistencia a la tracción de un material al ser sometido al proceso de trefilado. El alargamiento se lo ha calculado en porcentaje, es la relación entre al aumento de longitud de la distancia entre dos puntos de la probeta y la longitud original de estos dos puntos.

$$\text{Alargamiento \%} = \frac{L_f - L_o}{L_o} \times 100$$

donde:

L_f = distancia entre los dos puntos después de producirse la fractura.

L_o = distancia original entre los puntos.

Para la muestra del alambión tenemos:

$$\text{Alargamiento \%} = \frac{40,42 - 27,50}{27,50} \times 100 = 47\%$$

6.13. ENSAYOS METALOGRAFICOS

Los ensayos metalográficos consisten en el examen microscópico que se efectúa sobre zonas muy pequeñas del material metálico.

Este ensayo pone de manifiesto la estructura cristalina de los metales y aleaciones y permite reconocer la naturaleza de los diferentes elementos cristalinos y su influencia, además su forma, etc.

Nuestro ensayo consistirá en analizar microscópicamente y con tomas fotográficas el alargamiento del grano del material, antes y después de ser trefilado en 4 etapas.

Para preparar la probeta a ser examinada procedemos de la siguiente manera: se la lija con gran cuidado y seguidamente se la pule con un paño de piel de gamuza impregnada con un abrasivo fino. A continuación se procede al ataque con reactivos químicos, los cuales corroen los cristales en diferente medida; en nuestro ensayo utilizamos Nitral 3%.

El microscopio posee un lente que nos aumenta 200 veces.

La fotografía tomada a la probeta original (alambrón) con ayuda del microscopio se ve en la Figura N° 23. Esta toma

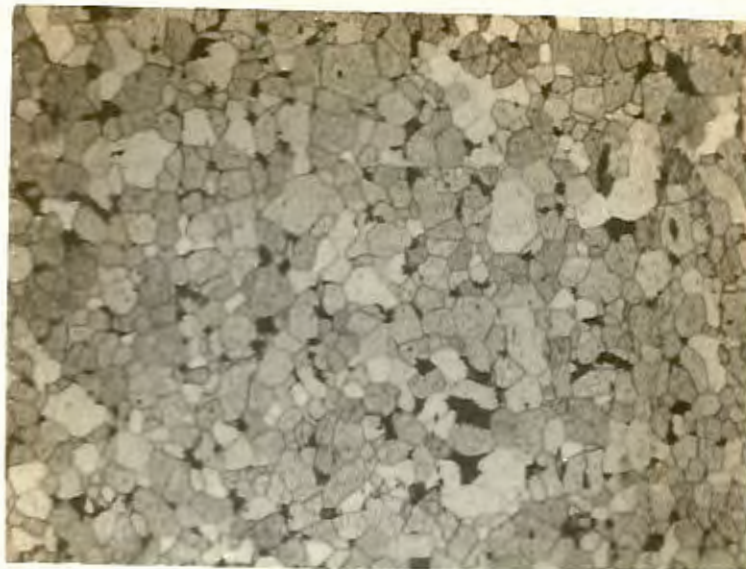


FIGURA N° 23.- Granos del Alambre original usado en la fabricación de electrodos. Sección Longitudinal (x200).



FIGURA N° 24.- Granos del alambre. Sección Transversal (x200).

es de la sección longitudinal.

La estructura de los granos de esta fotografía es la menos alargada por ser de la probeta de alambre original.

En la Figura Nº 24 vemos los granos del alambre original en una fotografía tomada a la sección transversal.

Los granos de la sección transversal, Figura Nº 23 comparados con los de la sección longitudinal, Figura Nº 24 son iguales porque el material no ha sido trefilado.

En la sección 6.2.3. podremos observar los granos del alambre trefilado.

6.2 ENSAYOS MECANICOS Y MICROESTRUCTURALES DEL ALAMBRE TREFILADO EN CADA ETAPA.

Las probetas de alambre trefilado han sido obtenidas del alambre que ha sido reducido de sección en 4 etapas, por lo tanto las muestras utilizadas en estos ensayos son del material que inicialmente comenzó a trefilarse.

Nuestro análisis siguiente será demostrar experimentalmente que al ser trefilado el alambre y al medir el valor de dureza para cada etapa de reducción se obtienen valores que van aumentando desde el primero al cuarto paso.

6.2.1 ENSAYOS DE DUREZA

El primer ensayo de dureza tomado a las muestras de alambre trefilado, es el de Dureza Longitudinal, valores que han sido tabulados como se indica en la Tabla X.

Ensayo de Dureza Transversal del alambre trefilado en cada etapa.

En el Ensayo de Dureza Transversal para el alambre trefilado hemos empleado el mismo equipo utilizado en los ensayos para el alambre. Las cargas aplicadas a las probetas con el indentador las efectuamos a distancias medidas desde el borde del alambre hacia el centro. Distancias medidas en milésimas de pulgada. (Tabla XI)

6.2.2 ENSAYOS DE TRACCION

Después de realizados los ensayos de tracción del alambre trefilado en cada etapa, los resultados obtenidos son los que se indican en la Tabla XII.

Los resultados experimentales presentados en esta tabla confirman nuestros enunciados teóricos. A mayor reducción, mayor resistencia a la tracción.

6.2.3 ENSAYOS METALOGRAFICOS

Al trefilar el material, sufre deformación plástica, por

lo tanto su estructura cristalina también experimenta cambios.

El objeto de nuestro estudio es analizar estos cambios producidos en las 4 etapas de reducción del alambre.

En la Figura N° 28 que nos muestra la sección longitudinal del alambón trefilado en el cuarto paso de reducción, observamos que la deformación plástica es mayor con relación a los pasos anteriores. (Figuras N° 25, 26 y 27); ésto lo demuestra el alargamiento progresivo del grano en cada paso.

A la probeta del tercer paso de reducción se le ha tomado una fotografía de la sección transversal como lo indica la Figura N° 29.

Si la Figura N° 29 la comparamos con la Figura N° 24 que es también una toma de la sección transversal del alambón sin trefilar, podemos apreciar claramente que en la Figura N° 29 el tamaño del grano es más pequeño con relación al tamaño del grano del alambón sin trefilar, ésta diferencia es notoria aún transversalmente ya que los granos se ven más pequeños, consecuencia del estiramiento en el proceso de trefilado.

No fué necesario tomar fotografías de la sección transversal resultante en los pasos intermedios.



FIGURA N^o 25.- Sección longitudinal del Alambrón
Trefilado.
Primer Paso de Reducción
(x200).



FIGURA N° 26.- Sección longitudinal del Alambrón
Trefilado.
Segundo Paso de Reducción
(x200).



FIGURA N^o 27.- Sección Longitudinal del Alambrón
Trefilado.
Tercer Paso de Reducción.
(x200).



FIGURA N^o 28.- Sección Longitudinal del Alambrón
Trefilado.
Cuarto Paso de Reducción
(x200).



FIGURA N° 29.- Sección Transversal del Alambrón
Trefilado.
El Tercer Paso
(x200).

C A P I T U L O VII

ANALISIS DE RESULTADOS

Para hacer un análisis de los ensayos experimentales a que fue sometido el alambón, procedemos a graficar los resultados obtenidos y podremos observar comparando los gráficos de las curvas de Dureza Transversal versus Distancias la disminución de Dureza Transversal al aumentar las distancias de aplicación de cargas desde el borde del alambre al centro del mismo.

Además, es importante observar que este valor de Dureza es cada vez más alto cuanto mayor es el número de reducciones a que es sometido el alambón.

Con estos análisis demostramos objetivamente la finalidad del presente trabajo como es obtener experimentalmente resultados reales del comportamiento del alambón al ser trefilado.

Una observación significativa puede apreciarse en el Gráfico N° 4 del alambón sin trefilar. A base de este gráfico estableceremos diferencias de resultados con los gráficos 5, 6, 7 y 8, los cuales nos muestran el incremento del valor de dureza transversal al ser trefilado el alambón 4 pasos.

Reducción de Area

Para establecer un estudio comparativo del aumento de Dureza e incremento de Resistencia a la Tracción versus Porcentaje de Reducción, graficaremos los valores obtenidos experimentalmente de Dureza y de Resistencia a la tracción del alambre trefilado 4 veces. Para analizar graficamente las curvas que obtendremos, primero Dureza versus Reducción de Area - % y luego Resistencia a la Tracción versus Reducción de Area-%, procedemos a calcular los porcentajes de reducción de cada etapa, tomando siempre como referencia el área original de la sección del alambón sin trefilar.

Sabemos que Reducción de Area es igual a:

$$\frac{A_1 - A_2}{A_1} \times 100$$

Para obtener los valores de reducción de área nos remitimos a los datos obtenidos anteriormente

Area Alambón	23,76 mm ²
Area Paso I	21,98 mm ²
Area Paso II	15,83 mm ²
Area Paso III	10,87 mm ²
Area Paso IV	7,94 mm ²

Aplicando la fórmula anterior obtenemos el % de Reducción de Area en cada paso.

$$\text{Paso I R} = \frac{23,76 - 21,98}{23,76} \times 100 = 7,49\%$$

$$\text{Paso II R} = \frac{23,76 - 15,83}{23,76} \times 100 = 33,38 \%$$

$$\text{Paso III R} = \frac{23,76 - 10,87}{23,76} \times 100 = 54,25 \%$$

$$\text{Paso IV R} = \frac{23,76 - 7,94}{23,76} \times 100 = 66,58 \%$$

Los valores obtenidos experimentalmente de Dureza y Resistencia a la Tracción los tenemos anotados en las Tablas X y XI. Con estos valores obtenemos las curvas para nuestro análisis, lo que podemos observar en los Gráficos 9 y 10.

C A P I T U L O V I I I

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Después de realizados los correspondientes análisis, tanto teóricos como experimentales, se pueden establecer las siguientes conclusiones y recomendaciones:

a.- La trefilación se emplea para reducir varillas o tubos de pequeño diámetro.

Para poder trefilar un material es necesario someterlo a esfuerzos de tracción, donde la matriz permanece fija.

El trabajo de trefilado se lo puede obtener con mucha precisión, incluso se pueden controlar medidas de 1/100 de milímetro o menos.

b.- Las velocidades de trefilación deben considerarse bajas, dada la fuerte tensión a que se someten las varillas y que podrían ocasionar su rotura.

c.- El problema de investigación del proceso de trefilado se lo puede reducir a un análisis geométrico, con lo que la trefilación de alambre se vuelve un problema atractivo para su investigación.

d.- Cuando una hilera para trefilar se ha gastado en forma pareja más allá de lo permitido, el alambre sale fuera de medida.

- e.- En los ensayos mecánicos se comprobó que la dureza transversal, sufre un incremento en su valor tomado del centro hacia el borde, en donde adquiere su valor máximo.
- f.- Los valores de dureza superficial coinciden con los de dureza transversal tomados a 0.025" del borde, indicándonos que existe una zona endurecida en la superficie hasta una cierta profundidad no especificada, disminuyendo luego progresivamente hacia el centro del alambre.
- g.- La variación de la dureza superficial es casi una recta, lo que quiere decir que existe un factor constante de variación que depende del porcentaje de reducción aplicado en cada paso.
- h.- Por efecto del trefilado los granos sufren un alargamiento axial sin llegar a romperse. Transversalmente los granos se contraen.
- i.- Es recomendable utilizar un lubricante seco, ya que al contener humedad se forman grumos y endurecimientos a la entrada del alambre a la hilera produciendo mayor tensión y roturas del material.
- j.- Sería recomendable un control constante en la calibración del alambre, para el control de la ovaladura que se produce por el desgaste disperejo de la hilera.
- k.- Es recomendable que el alambre rechazado por tener rayaduras se lo trate de recuperar trefilando a un diámetro menor.
- l.- La rayadura del alambre se la detecta cuando se produce un brillo en el mismo; sería en la práctica recomendable utilizar una lupa para detectar este defecto que es causal de rechazo de cualquier alambre.

T A B L A I

EN FUNCION DEL % DE REDUCCION, RELACIONES ENTRE LOS DIAMETROS DE LOS
ALAMBRES TREFILADOS. — $R = 100(1-a^2)$ — $a = \sqrt{1-R}$

% Red.	$a = \frac{d}{D}$	1/a	% Red.	$a = \frac{d}{D}$	1/a	% Red.	$a = \frac{d}{D}$	1/a
1	0,995	1,005	34	0,812	1,232	67	0,578	1,739
2	0,990	1,010	35	0,800	1,241	68	0,505	1,770
3	0,985	1,015	36	0,800	1,250	69	0,557	1,795
4	0,980	1,020	37	0,794	1,259	70	0,548	1,825
5	0,975	1,027	38	0,788	1,269	71	0,538	1,859
6	0,970	1,031	39	0,781	1,280	72	0,529	1,890
7	0,964	1,037	40	0,775	1,290	73	0,520	1,923
8	0,959	1,043	41	0,769	1,300	74	0,510	1,961
9	0,954	1,048	42	0,762	1,312	75	0,500	2,000
10	0,948	1,055	43	0,755	1,325	76	0,490	2,041
11	0,943	1,060	44	0,748	1,337	77	0,480	2,083
12	0,938	1,066	45	0,742	1,348	78	0,469	2,132
13	0,933	1,072	46	0,735	1,361	79	0,459	2,179
14	0,928	1,078	47	0,729	1,378	80	0,447	2,237
15	0,922	1,085	48	0,721	1,387	81	0,436	2,294
16	0,917	1,091	49	0,714	1,401	82	0,424	2,358
17	0,911	1,098	50	0,707	1,414	83	0,412	2,427
18	0,905	1,105	51	0,700	1,430	84	0,400	2,500
19	0,900	1,110	52	0,693	1,443	85	0,387	2,584
20	0,895	1,117	53	0,685	1,460	86	0,374	2,674
21	0,889	1,125	54	0,678	1,475	87	0,360	2,778
22	0,884	1,131	55	0,670	1,493	88	0,346	2,890
23	0,878	1,139	56	0,664	1,508	89	0,332	3,012
24	0,872	1,147	57	0,656	1,524	90	0,316	3,164
25	0,866	1,155	58	0,649	1,541	91	0,283	3,333
26	0,860	1,163	59	0,640	1,563	92	0,283	3,534
27	0,855	1,170	60	0,633	1,580	93	0,264	3,788
28	0,849	1,178	61	0,625	1,600	94	0,245	4,081
29	0,843	1,186	62	0,617	1,621	95	0,224	4,464
30	0,837	1,195	63	0,608	1,645	96	0,200	5,000
31	0,830	1,205	64	0,600	1,667	97	0,173	5,780
32	0,825	1,212	65	0,591	1,692	98	0,141	7,100
33	0,819	1,221	66	0,583	1,715	99	0,100	10,000

T A B L A II

VALORES DE X PARA REDUCCIONES COMPRENDIDAS ENTRE 10 y 39 %

(Para el cálculo del Esfuerzo de Tiro)

% R =	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
X =	0,32	0,33	0,35	0,36	0,37	0,39	0,40	0,42	0,43	0,45
% R =	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
X =	0,46	0,47	0,49	0,50	0,51	0,53	0,54	0,56	0,57	0,58
% R =	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
X =	0,60	0,61	0,63	0,65	0,65	0,67	0,68	0,70	0,71	0,72

T A B L A III

RELACION DE REDUCCIONES DE AREA Y ELONGACION
DURANTE EL TREFILADO

REDUCCION DE AREA $\frac{(A_1 - A_2)\%}{A_1}$	ELONGACION $\frac{A_1 - A_2\%}{A_2}$	RELACION DE DIAMETROS d/D
10	11	0,95
20	25	0,89
30	43	0,84
40	66	0,77
50	100	0,74
60	150	0,63
70	233	0,55
75	300	0,50
80	400	0,45
85	566	0,39
90	900	0,32
95	1.900	0,22
98	4.900	0,14

T A B L A IV

BANCO DE TREFILACION

Características de Velocidad en función de los
Engranajes Intercambiables

TV-22 (Versión Normal)
Bobina ϕ 600 mm.
Entrada 1.000 r.p.m.
Banco TV-22/2ar.

Z_1/Z_2	r.p.m. nb	m/seg. v	Z_1/Z_2	r.p.m. nb	m/seg. v	Z_1/Z_2	r.p.m. nb	m/seg. v
32/65	37,52	1,18	44/53	63,28	1,98	56/41	104,11	3,26
33/64	39,30	1,23	45/52	65,96	2,07	57/40	108,61	3,41
34/63	41,13	1,29	46/51	68,75	2,16	58/39	113,35	3,55
35/62	43,03	1,35	47/50	71,65	2,25	59/38	118,34	3,71
36/61	44,98	1,41	48/49	74,66	2,34	60/37	123,60	3,80
37/60	47,00	1,47	49/48	77,81	2,44	61/36	129,15	4,05
38/59	49,09	1,54	50/47	81,09	2,54	62/35	135,02	4,23
39/58	51,25	1,61	51/46	84,50	2,65	63/34	141,23	4,43
40/57	53,49	1,68	52/45	88,08	2,76	64/33	147,82	4,64
41/56	55,80	1,75	53/44	91,81	2,88	65/32	154,82	4,85
42/55	58,20	1,83	54/43	95,72	3,00			
43/54	60,69	1,90	55/42	99,81	3,13			

Constante del Banco $K_n = 76,22$; $K_v = 2,39$

Z_1/Z_2 : Relación de los engranes intercambiables conductor/conducido

nb : r.p.m. de la bobina de tiro

v : Velocidad de la bobina ϕ 600 en m/seg.

T A B L A V

BANCO DE TREFILACION

CARACTERISTICAS DE VELOCIDAD EN FUNCION DE LOS
ENGRANES INTERCAMBIABLES

TV-22 (Versión Veloz)
Bobina ϕ 600
Entrada 1.000 r.p.m.
Banco Tv-22/2r

Z_1/Z_2	nb	v	Z_1/Z_2	nb	v	Z_1/Z_2	nb	v
32/65	46,09	1,45	44/53	77,73	2,44	56/41	127,68	4,00
33/64	48,28	1,52	45/52	81,03	2,54	57/40	133,42	4,19
34/63	50,53	1,59	46/51	84,45	2,65	58/39	139,24	4,37
35/62	52,86	1,66	47/50	88,01	2,76	59/38	145,37	4,55
36/61	55,26	1,74	48/49	91,72	2,88	60/37	151,83	4,77
37/60	57,74	1,81	49/48	95,58	3,00	61/36	158,65	4,98
38/59	60,30	1,89	50/47	99,61	3,13	62/35	165,86	5,21
39/58	62,96	1,98	51/46	103,81	3,26	63/34	173,49	5,45
40/57	65,71	2,06	52/45	108,19	3,40	64/33	181,59	5,70
41/56	68,55	2,15	53/44	112,78	3,54	65/32	190,19	5,97
42/55	71,50	2,25	54/43	117,58	3,69			
43/54	74,56	2,34	55/42	122,61	3,85			

Constante del Banco $K_n = 93,63$; $K_v = 2,94$

Z_1/Z_2 : Relación de los engranes intercambiables conductor/conducido

nb : r.p.m. de la bobina de tiro

v : velocidad de la bobina ϕ 600 en m/seg.

T A B L A VI

COMPOSICION QUIMICA MEDIA DEL ACERO UTILIZADO
PARA FABRICACION DE ELECTRODOS

ELEMENTO		%
Carbono	C	0,10
Manganeso	Mn	0,50
Fósforo	P	0,020 máx.
Azufre	S	0,025 máx.
Silicio	Si	0,01 máx.
Cobre	Cu	0,08 máx.

T A B L A VIIENSAYO DE DUREZA LONGITUDINAL

PROBETA	DUREZA VICKERS (LONGITUDINAL)
Alambrón	116
Alambrón Decapado	132

T A B L A VIIIENSAYO DE DUREZA TRANSVERSAL

PROBETA	DISTANCIAS DEL BORDE	DUREZA VICKERS (TRANSVERSAL)
Alambrón	0.025"	116
	0.050"	94
	0.075"	94
	0.108"	94

T A B L A IX

ENSAYO DE TRACCION

PROBETA	DIAMETRO DE LA MUESTRA	SECCION DE LA MUESTRA	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL	LIMITE FLUENCIA	RESISTENCIA A LA TRACCION	RESISTENCIA A LA ROTURA	ALARGAMIENTO
	mm.	mm. ²	m.m.	m.m.	Kg/mm. ²	Kg./mm. ²	Kg./mm. ²	%
Alambrón	5.5	23.76	27.50	40,42	25,25	35,48	23,99	47,00

T A B L A X

ENSAYO DE DUREZA LONGITUDINAL

PROBETA	DUREZA VICKERS (Longitudinal)
Paso I	150
Paso II	165
Paso III	190
Paso IV	206

T A B L A X I

ENSAYO DE DUREZA TRANSVERSAL

Probeta	Distancias del Borde	Dureza Vickers
Paso I	0.025"	149
	0.050"	140
	0.075"	136
	0.100"	132
	0.103"	132
Paso II	0.025"	165
	0.045"	158
	0.065"	158
	0.085"	158
	0.088"	158
Paso III	0.025"	190
	0.040"	180
	0.055"	177
	0.070"	177
	0.073"	177
Paso IV	0.025"	198
	0.035"	184
	0.045"	171
	0.055"	171
	0.062"	171

T A B L A X I I

ENSAYO DE TRACCION

PROBETA	DIAMETROS DE LA MUESTRA	SECCION DE LA MUESTRA	LONGITUD INICIAL	LONGITUD FINAL	LIMITE FLUENCIA	RESISTENCIA A LA TRACCION	RESISTENCIA A LA ROTURA	ALARGAMIENTO
	m.m.	m.m. ²	m.m.	m.m.	Kg/m.m. ²	Kg/m.m. ²	Kg./m.m. ²	%
Paso I	5,29	21,98	26,45	33,61	40,04	42,31	27,75	27,00
Paso II	4,49	15,83	22,45	25,48	52,43	56,22	38,53	13,00
Paso III	3,72	10,87	18,60	20,78	57,04	62,10	44,16	12,00
Paso IV	3,18	7,94	15,90	17,20	60,45	66,75	49,12	8,00

GRAFICO Nº 1

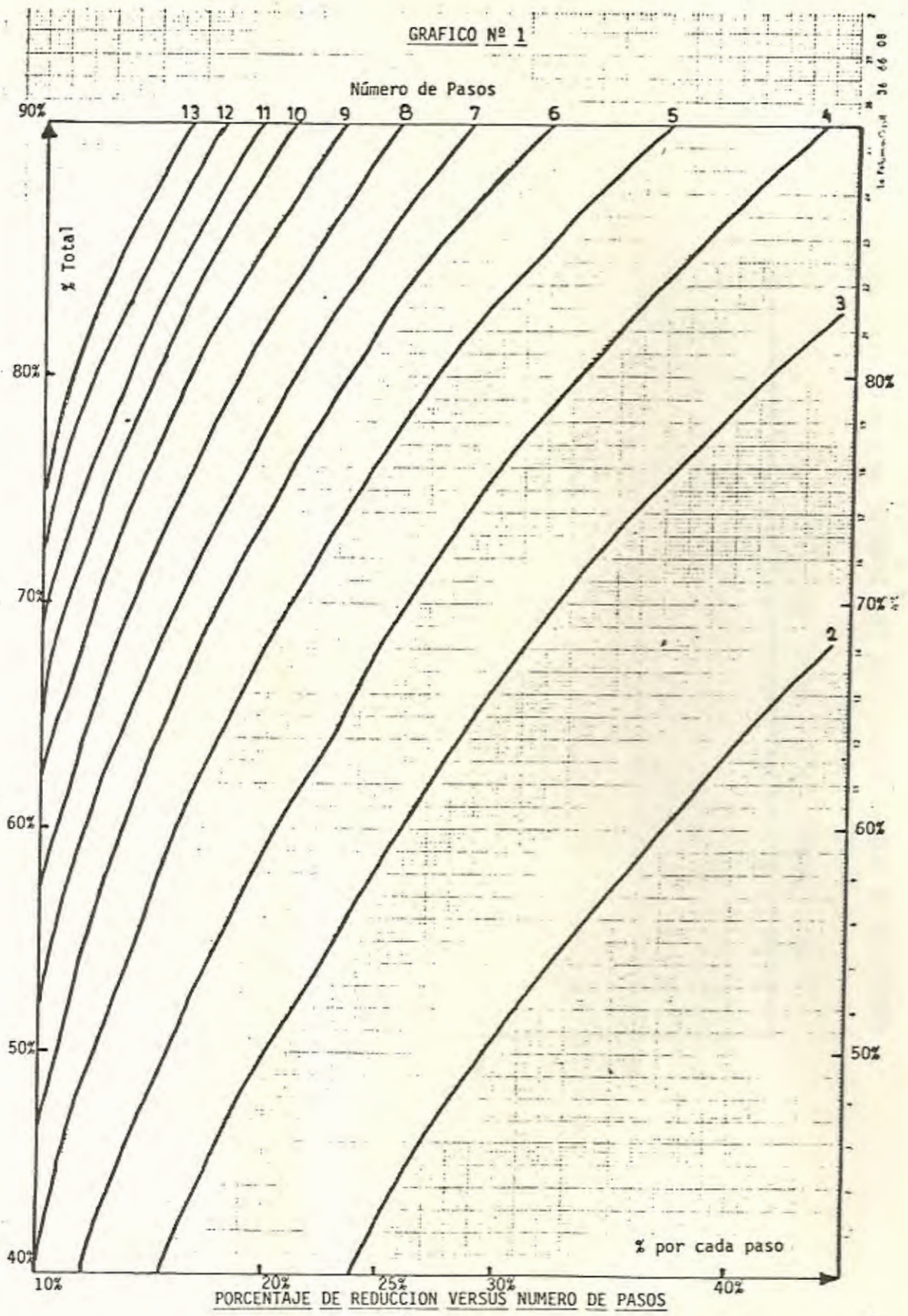
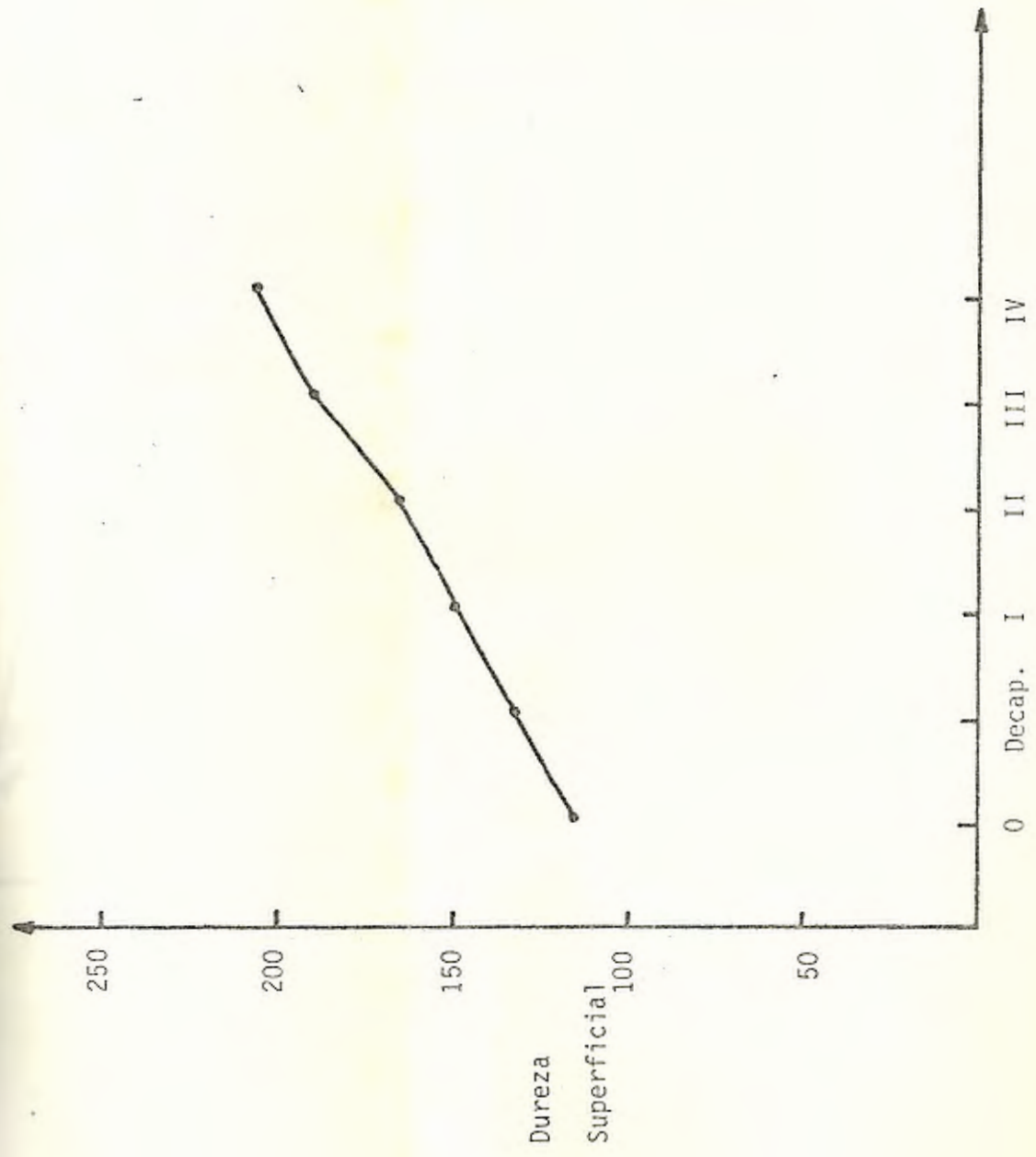
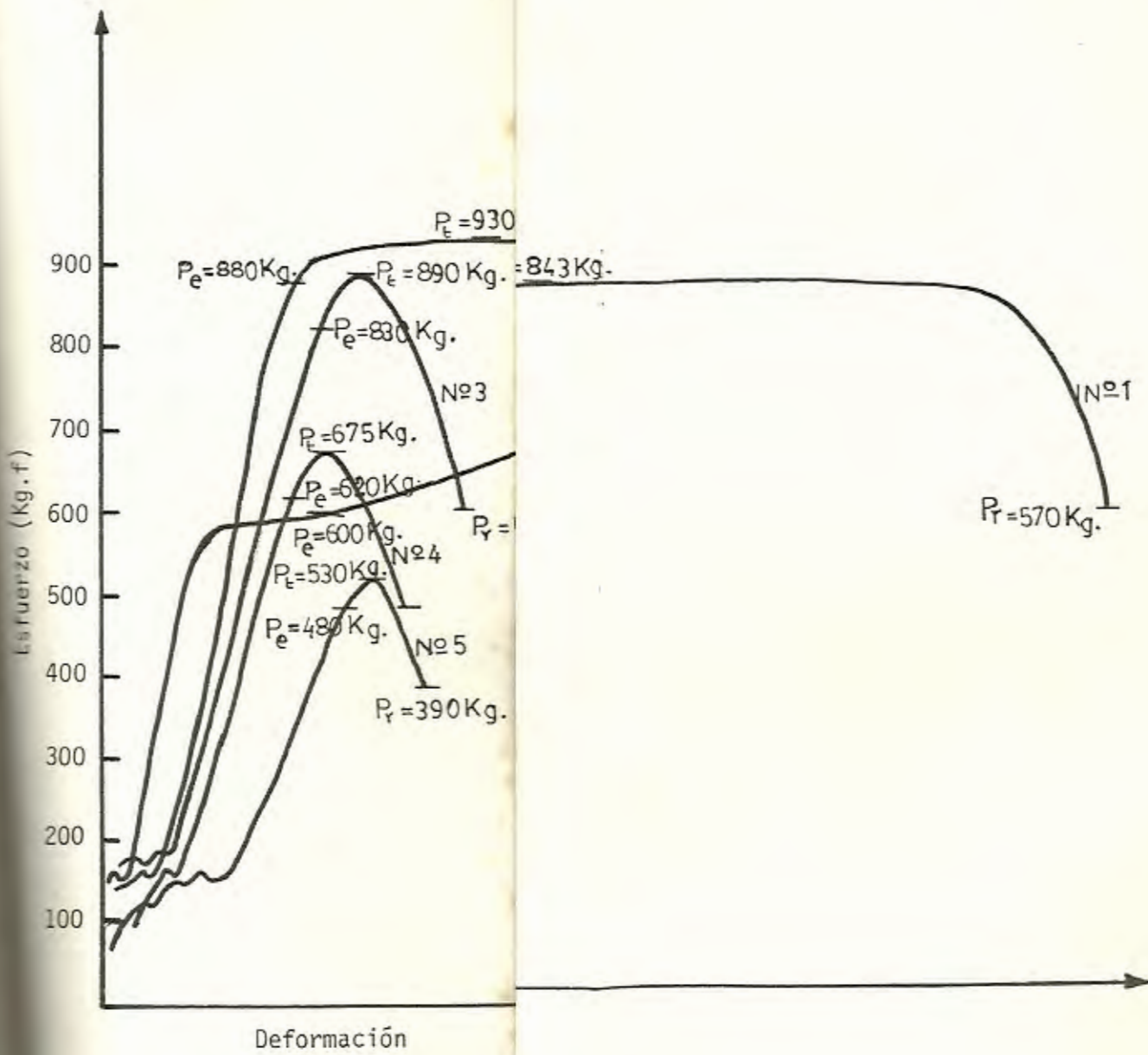


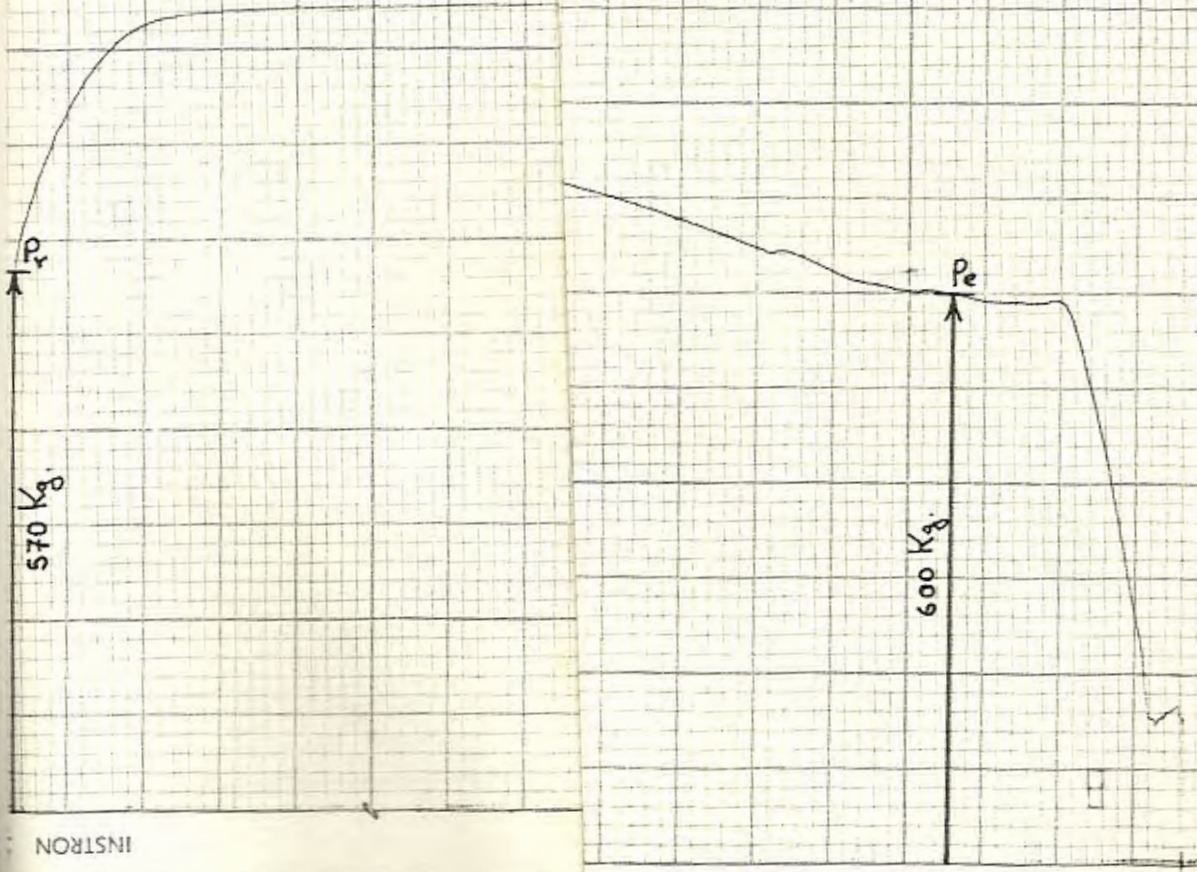
GRAFICO Nº 2



VARIACION DE DUREZA SUPERFICIAL DE ALAMBRE ORIGINAL, DECAPADO Y TREFILADO
III 4 ETAPAS,



Nº 1

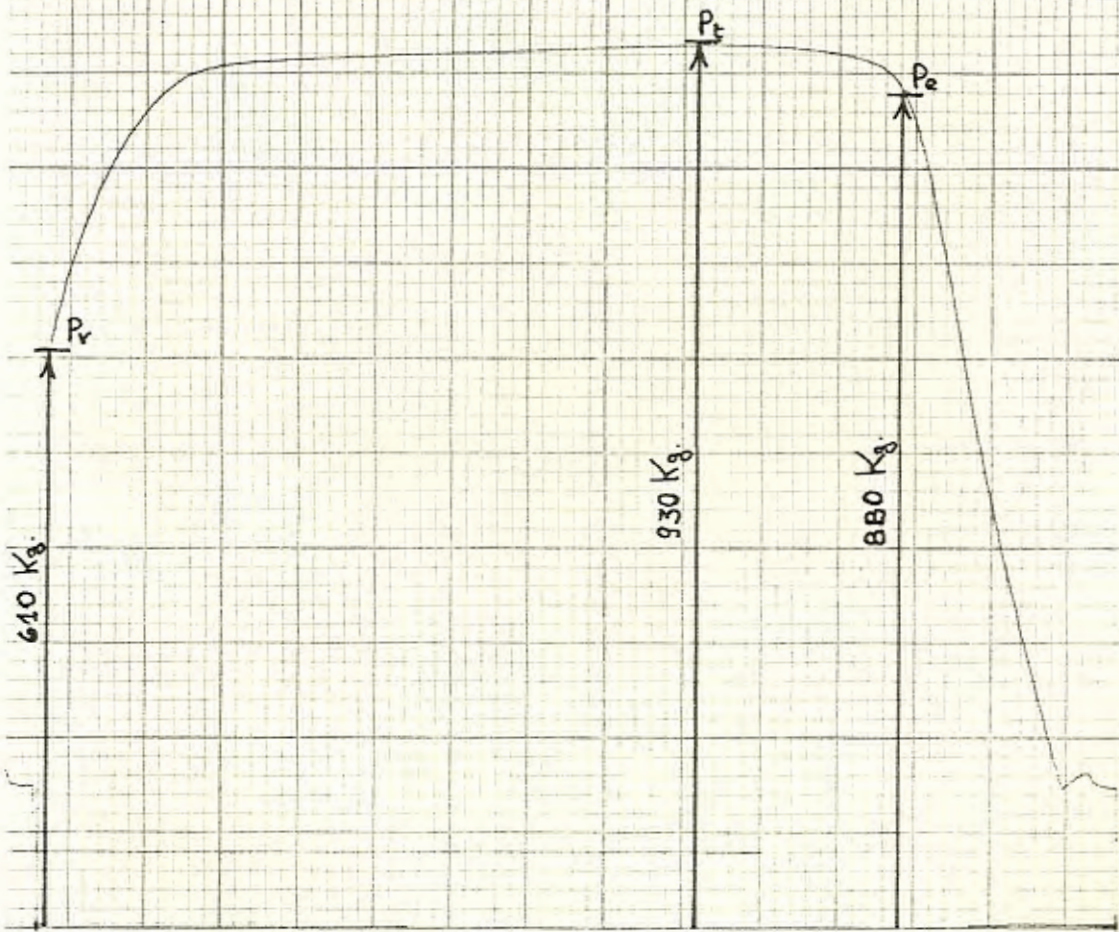


INSTRON

INSTRO

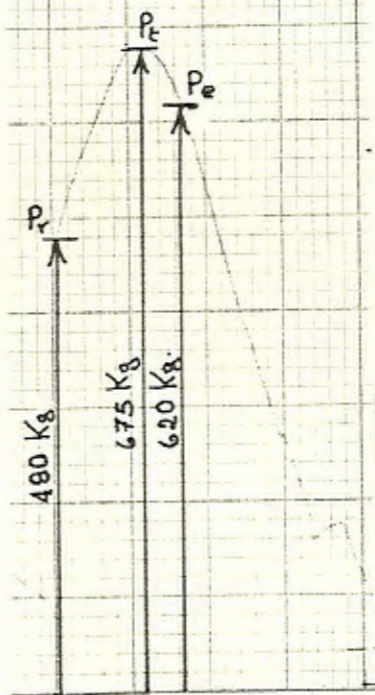
Curva de Trac

Nº 2



Curva de Tracción del Alambre Trefilado
el Primer Paso

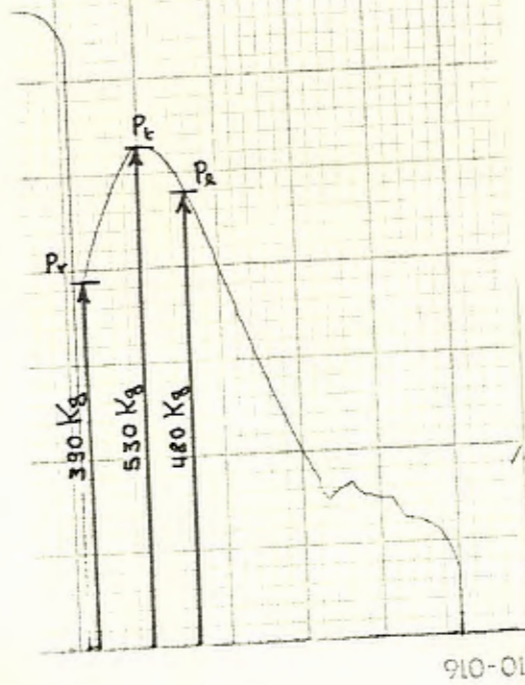
Nº 4



3710-016

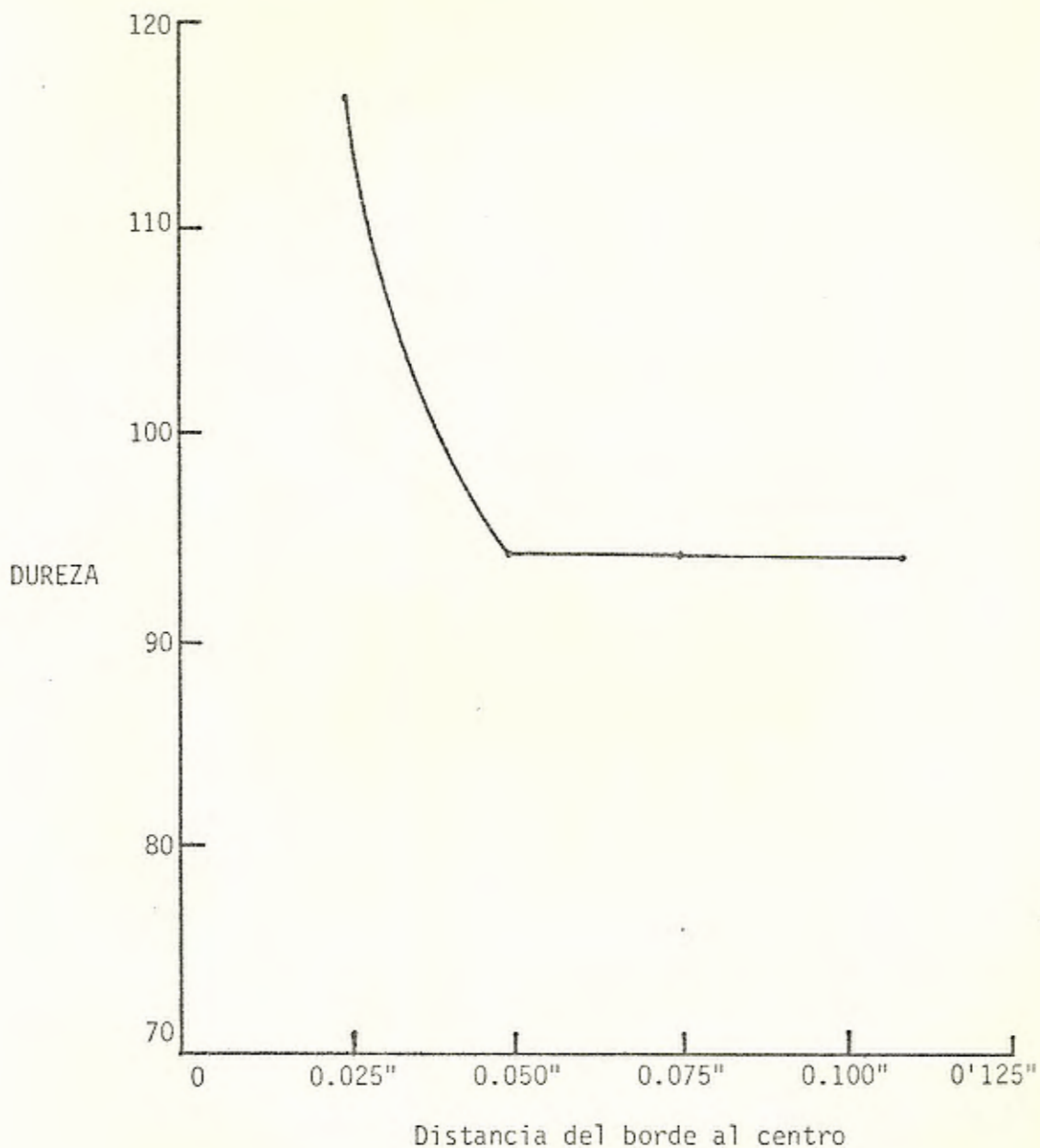
Curva de Tracción del Alambre Trefilado el Tercer Paso

Nº 5



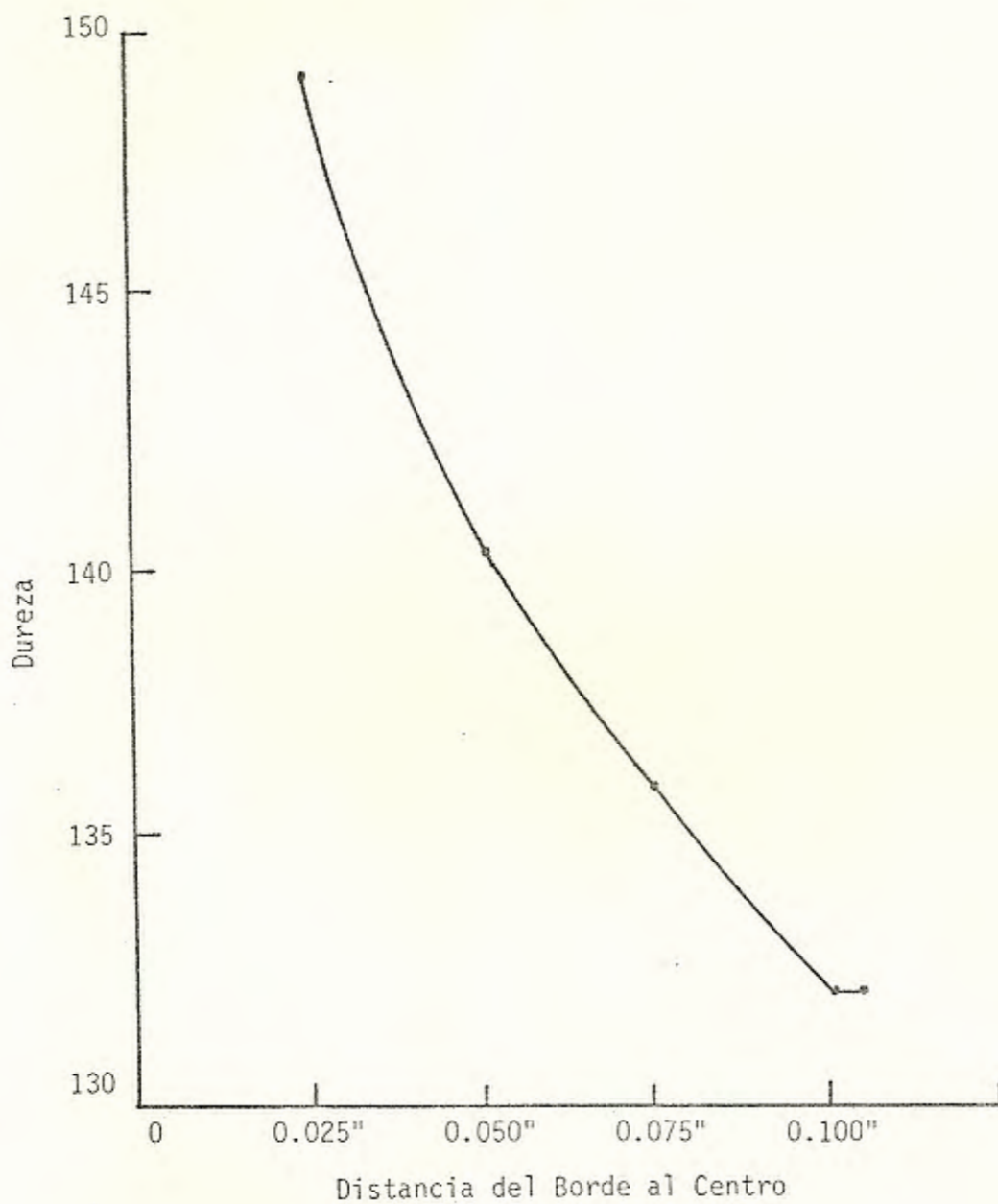
Curva de Tracción del Alambre Trefilado
el Cuarto Paso

GRAFICO N° 4



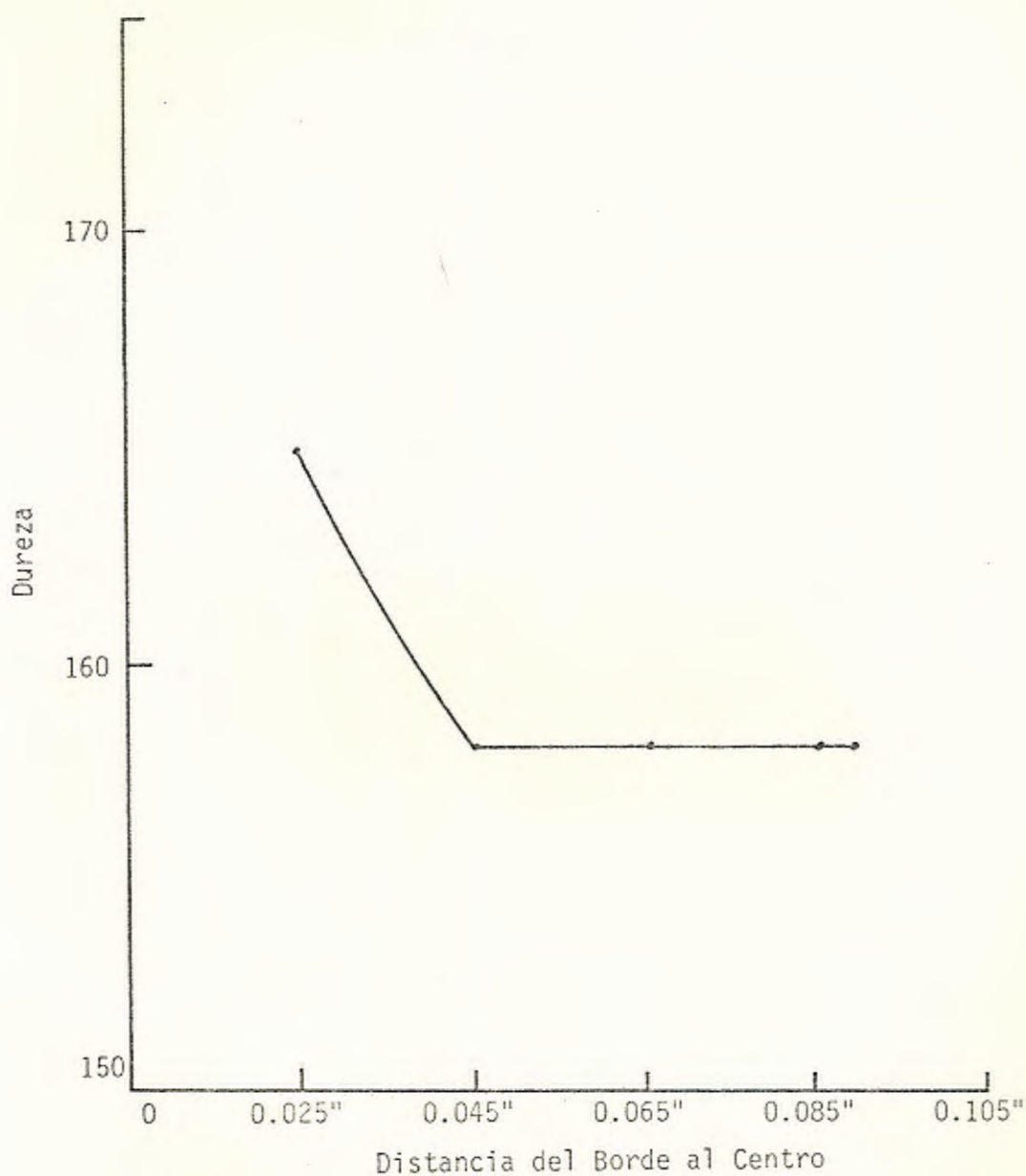
VARIACION DE DUREZA TRANSVERSAL DEL ALAMBRON SIN TREFILAR

GRAFICO N° 5



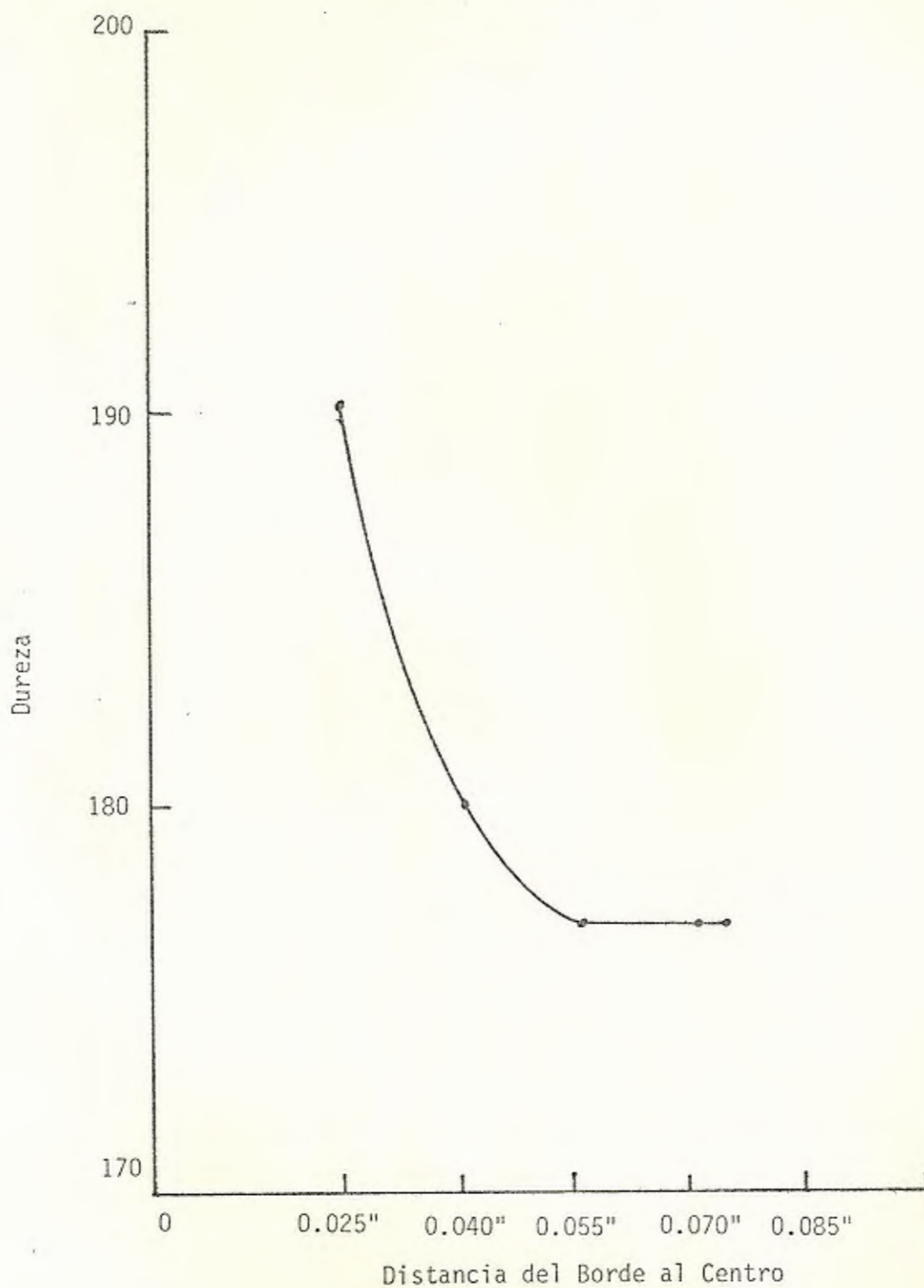
VARIACION DE DUREZA TRANSVERSAL PARA EL PRIMER PASO

GRAFICO N° 6



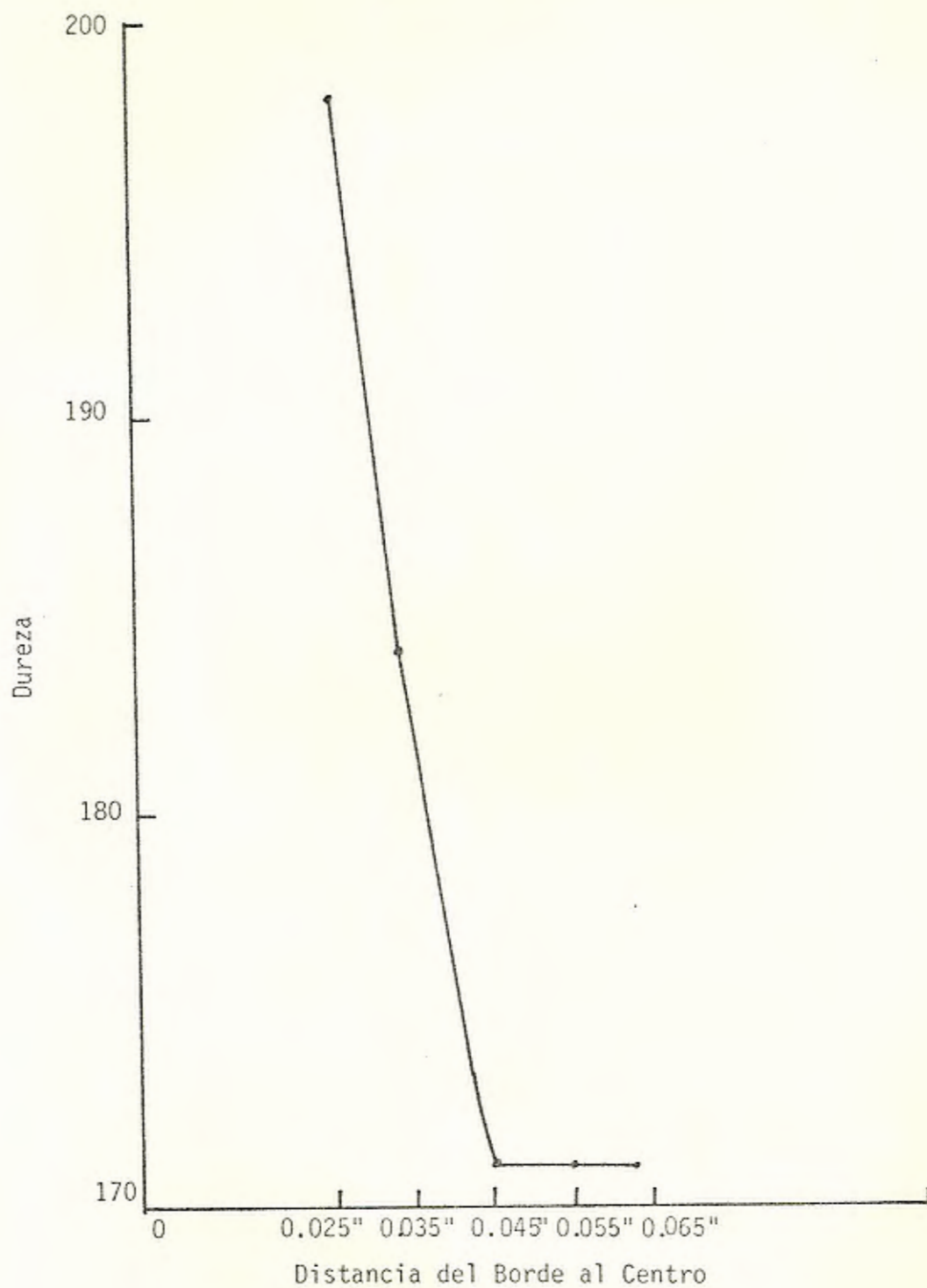
VARIACION DE DUREZA TRANSVERSAL PARA EL SEGUNDO PASO

GRAFICO N° 7



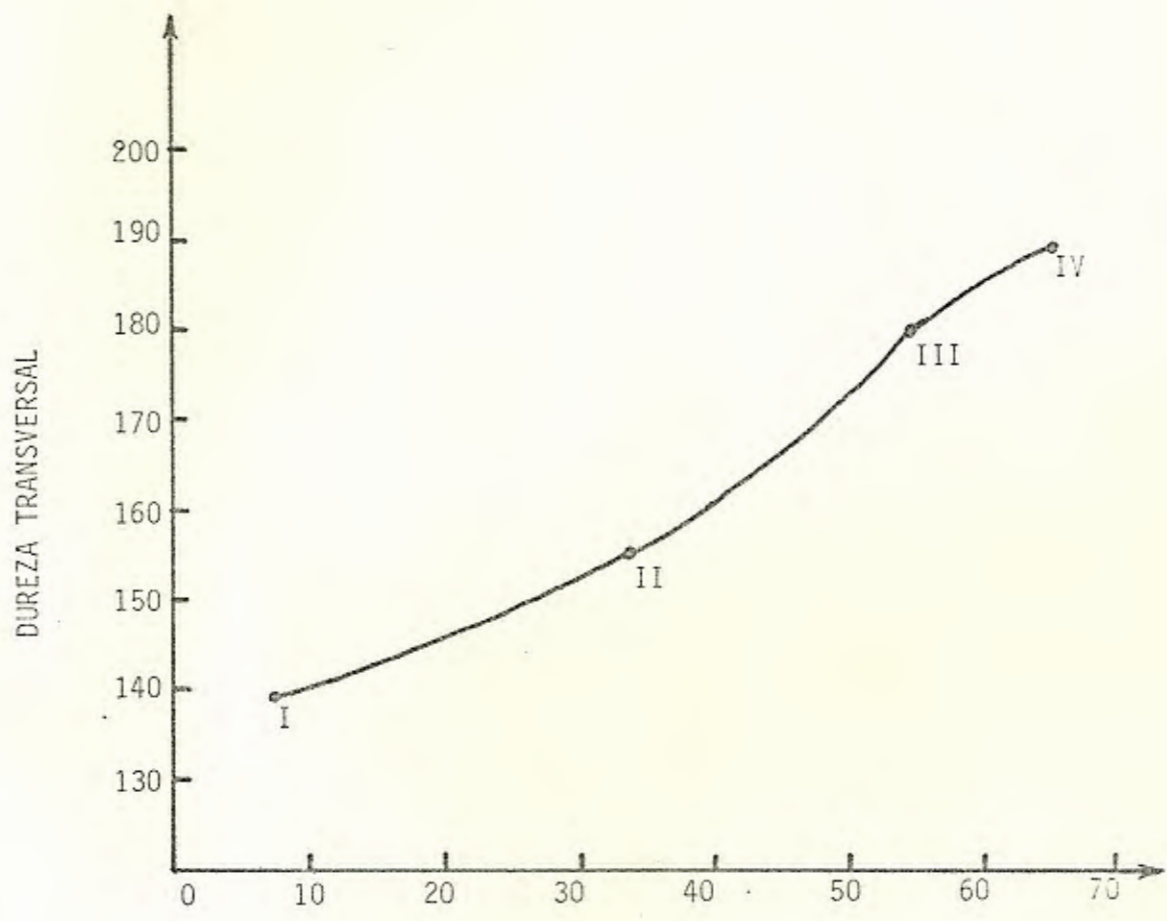
VARIACION DE DUREZA TRANSVERSAL PARA EL TERCER PASO

GRAFICO N° 8



VARIACION DE DUREZA TRANSVERSAL PARA EL CUARTO PASO

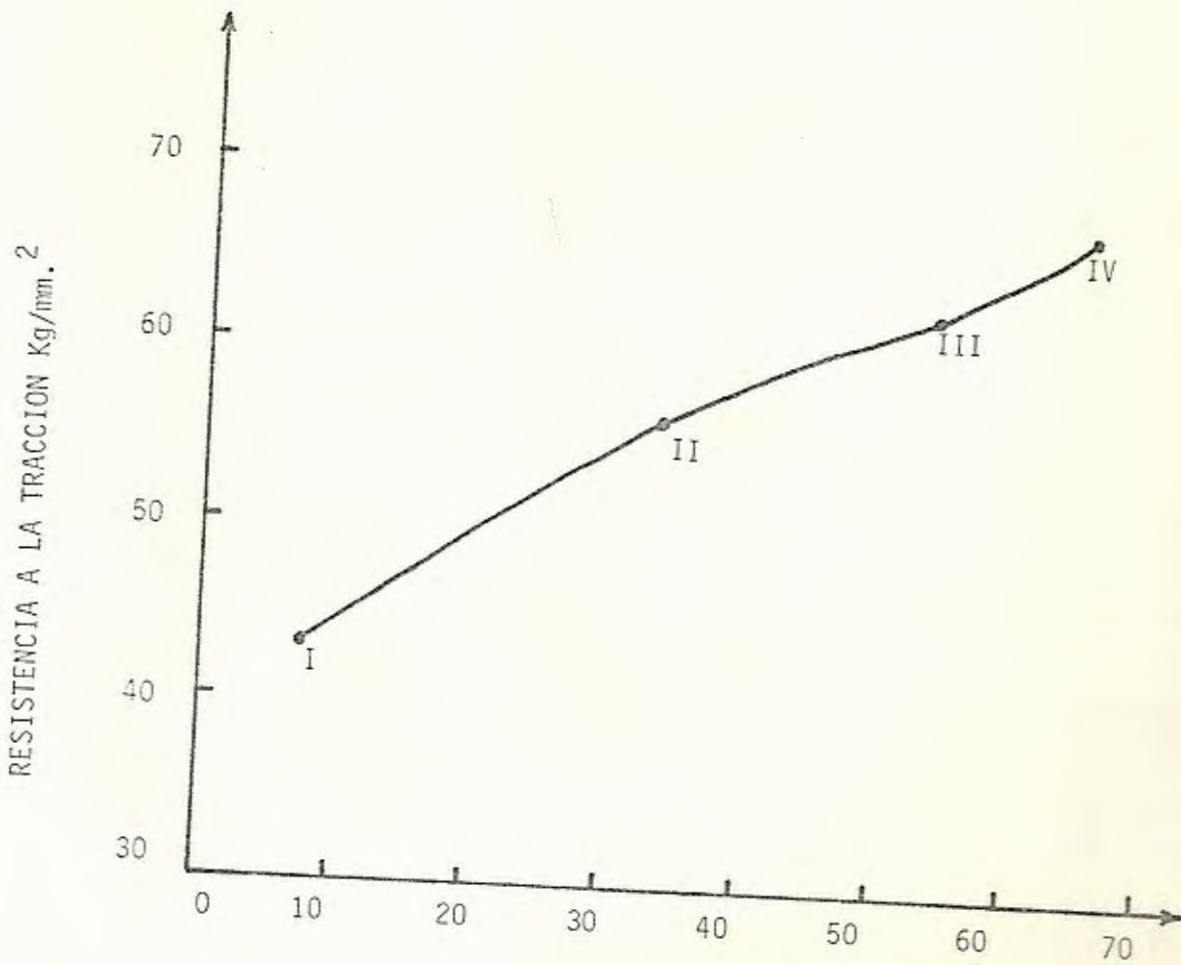
GRAFICO Nº 9



Reducción de Area % con relación al Area del Alambren Original.

RELACION ENTRE LA DUREZA DEL MATERIAL Y LA REDUCCION DEL AREA AL TREFILAR EL ALAMBRE. -

GRAFICO Nº 10



Reduccion de Area - % con relación al Area del Alambρόn Original.

RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A LA TRACCION Y REDUCCION DE AREA % AL SER TREFILADO EL ALAMBRE. -

B I B L I O G R A F I A

- 1.- Abril, Eduardo R., Esfuerzos requeridos en el Proceso de Trefilación. (Argentina: Universidad Nacional de Córdoba, 1968).
- 2.- Alambre, Revista Bimensual, Año 27, Enero/Febrero, 1977
Año 28, Mayo/junio, 1978
- 3.- Apraiz, José; Tratamientos Térmicos de los Aceros (Madrid: Patronato de Publicaciones de la Escuela Especial de Ingenieros Industriales, 1974).
- 4.- Dieter; Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1980
- 5.- Dove Allan B., Steel Wire Handbook, Vol. I (Stanford: The Wire Association, Inc., 1965)
- 6.- Linnert George; Welding Metallurgy, Vol. I (New York: American Welding Society, 1965)
- 7.- Mill, Catálogo de Equipo de Trefilar (San Sebastián, España: Sociedad Anónima de las Máquinas MILL, 1978).
- 8.- Rowe Geoffrey W., An Introduction to the Principles of Metalworking. (Londres: Edward Arnold. Publishers Ltd. 1968).