

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

"ESTUDIO COMPARATIVO DE LA PRODUCCION DE ALAMBRO  
NACIONAL E IMPORTADO"

TESIS DE GRADO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE :

INGENIERO MECANICO

PRESENTADA POR :

GERMAN VICENTE SARMIENTO VILLAVICENCIO



POLITECNICA DEL LITORAL  
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"  
F.I.M.C.P.

GUAYAQUIL-ECUADOR

1985

## AGRADECIMIENTO

A la Escuela Superior Politécnica del Litoral,  
y de manera especial a los directivos y personal  
de ANDEC - FUNASA, los mismos que estuvieron  
prestos a colaborar en todo momento.

Al Ing. HOMERO ORTIZ A., Director de Tesis,  
por su ayuda y colaboración para la realización  
de este trabajo.



## DEDICATORIA

A la memoria de mis padres :

ALBERTO Y JULIA

A mis hermanos :

LUIS

ELVIA

ALICIA

MARIA

YOLANDA

MARCELO



A mis sobrinos

*Eduardo Orcés Pareja*

.....  
Ing. Eduardo Orcés Pareja  
DECANO  
FACULTAD INGENIERIA MECANICA

*Homero Ortíz A.*

.....  
Ing. Homero Ortíz A.  
DIRECTOR DE TESIS



*Omar Serrano V.*

.....  
Ing. Omar Serrano V.  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

*Manuel Helguero G.*

.....  
Ing. Manuel Helguero G.  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

## 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).

  
Sarmiento V.

.....  
GERMAN VICENTE SARMIENTO VILLAVICENCIO



## RESUMEN

La presente investigación está encaminada a realizar un estudio comparativo de la producción de alambón nacional e importado.

El tema trata de justificar la sustitución del producto importado por el nacional, considerando que servirá como materia prima para el proceso de trefilación. Conviene señalar que se ha analizado desde el punto de vista de proceso de fabricación, en el caso del producto nacional, para luego investigar las propiedades químicas, físicas, mecánicas y metalúrgicas de los productos en mención.

El tema materia de este estudio se realiza en base al acero SAE 1008 y los diámetros del alambón usados están entre 5.5 mm y 12 mm; finalmente se presenta la síntesis de esta investigación y se dan las recomendaciones del caso.



## INDICE GENERAL

	<u>Pág.</u>
RESUMEN . . . . .	VI
INDICE GENERAL . . . . .	VII
INDICE DE FIGURAS . . . . .	X
INDICE DE SIMBOLOGIA . . . . .	XIII
INDICE DE TABLAS . . . . .	XV
INTRODUCCION . . . . .	16
I. FUNDAMENTOS TECNICOS DE LAMINACION . . . . .	18
✓ 1.1 Generalidades . . . . .	18
✓ 1.2 Conceptos básicos de laminación . . . . .	22
✓ 1.3 Factores importantes en un proceso de laminación . . . . .	30
✓ 1.4 Cálculo del ensanchamiento . . . . .	46
✓ 1.5 Presión de laminación . . . . .	49
✓ 1.6 Cálculo de la velocidad de laminación . . . . .	52
✓ 1.7 Esfuerzos mecánicos en los cilindros de laminación . . . . .	58
II. FABRICACION DEL ALAMBRON . . . . .	65
2.1 El alambón y sus aplicaciones . . . . .	65
2.2 Evolución de los trenes laminadores de barras y alambrones . . . . .	68
2.3 Laminador convencional como tren intermedio . . . . .	72
2.4 Tren terminador de alta velocidad . . . . .	74
2.4.1 Partes componentes del tren . . . . .	75
2.4.2 Sistema de enfriamiento "STELMOR" controlado . . . . .	95

por agua y aire

2.5 Calibrado de cilindros para trenes continuos de  
alambrón

95

2.6 Control de proceso del alambón

105

2.7 Cálculo y diseño de pasadas para laminar alambón

105

105

### ✓ III. PRUEBAS EXPERIMENTALES COMPARATIVAS

✓ 3.1 Ensayos químicos

110

✓ 3.1.1 Composición química de palanquillas de colada  
continua y laminada

110

110

3.1.2 Composición química de alambón nacional e  
importado

110

✓ 3.2 Análisis metalográfico y durométrico

111

× 3.2.1 Análisis macro y microscópico de la palanquilla  
de colada continua y laminada

111

× 3.2.2 Metalografía del material laminado en las dife-  
rentes pasadas

119

× 3.2.3 Cuadro de durezas de la materia prima

119

3.3 Ensayos físicos de control de masa, ovalidad y  
resaltes

127

3.3.1 En el alambón nacional

132

3.3.2 Alambón de fabricación extranjera

132

3.4 Ensayos mecánicos

132

3.4.1 Ensayo Charpy de palanquilla de colada conti-  
nua y laminada

132

Pág.

3.4.2 Pruebas de tracción de alambón nacional	141
3.4.3 Ensayo ténsil de alambón extranjero	141
3.4.4 Pruebas de doblado en el alambón nacional	148
3.4.5 Ensayo de doblez en el alambón importado	148
DISCUSION DE RESULTADOS . . . . .	151
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES . . . . .	156
APENDICES . . . . .	161
BIBLIOGRAFIA . . . . .	190





<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
1.1	PARTES COMPONENTES DE UN LAMINADOR	
1.2	BARRA ATRAVEZANDO DOS CILINDROS DE LAMINACION	20
1.3	ALTURA MEDIA DE UNA SECCION	23
1.4	DISTRIBUCION DE PLANTA DEL TREN DE LAMINACION	25
1.5	DISEÑO DE PASES ACTIVOS Y PASES MUERTOS	34
1.6	TIPOS DE PASES	38
1.7	ANGULO DE CONTACTO	39
1.8	COMPONENTES DE LA VELOCIDAD	42
1.9	PUNTOS DE CONTACTO MATERIAL-CILINDRO	53
1.10	DIAGRAMA DE EQUILIBRIO PRIMERA PASADA DEL DESBASTE	54
1.11	FACTOR RELEVANTE DE ESFUERZO	59
2.1	DISEÑO DE UNO DE LOS PRIMEROS TRENES LAMINADORES	64
2.2	ARRASTRADOR HORIZONTAL	69
2.3	POSICIONES DE LA CIZALLA DE DISCOS	86
2.4	BOBINADORA DE ESPIRAS	90
2.5	DISPOSITIVO FORMADOR DE ROLLOS	94
2.6	ATADORAS DE ALAMBRON	95
2.7	SISTEMA EVACUADOR DE ROLLOS	96
2.8	SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CONTROLADO POR AGUA	96
2.9	DISEÑO DE PASADAS PARA LAMINAR ALAMBRON	98
2.10	NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LA RELACION $hm/hm_{\text{máx.}}$ DE OVALOS EXAGONALES	108
2.11	NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LA RELACION $hm/hm_{\text{máx.}}$ DE OVALOS DE UN SOLO RADIO	174
		175

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
2.12	NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LA RELACION $hm/hm_{\acute{a}x.}$ DE CUADRADOS Y DIAMANTES <div style="text-align: center;">. . . . .</div>	176
3.1	ANALIZADOR DE CARBONO Y AZUFRE <div style="text-align: center;">. . . . .</div>	115
3.2	EQUIPO DE MICROFOTOGRAFIA <div style="text-align: center;">. . . . .</div>	115
3.3	MACROFOTOGRAFIA PALANQUILLA LAMINADA DEL ACERO SAE 1007 <div style="text-align: center;">. . . . .</div>	117
3.4	MACROFOTOGRAFIA PALANQUILLA DE COLADA CONTINUA DEL ACERO SAE 1007 <div style="text-align: center;">. . . . .</div>	117
3.5	MICROFOTOGRAFIA PALANQUILLA LAMINADA DEL ACERO SAE 1007 <div style="text-align: center;">. . . . .</div>	118
3.6	MICROFOTOGRAFIA PALANQUILLA DE COLADA CONTINUA DEL ACERO SAE 1007 <div style="text-align: center;">. . . . .</div>	118
3.7	MACROFOTOGRAFIA TERCERA REDUCCION, PROBETA Nº 2, ACERO SAE 1007 <div style="text-align: center;">. . . . .</div>	120
3.8	MACROFOTOGRAFIA CUARTA REDUCCION, PROBETA Nº 2, ACERO SAE 1007 <div style="text-align: center;">. . . . .</div>	121
3.9	MACROFOTOGRAFIA QUINTA REDUCCION, PROBETA Nº 2, ACERO SAE 1007 <div style="text-align: center;">. . . . .</div>	120
3.10	MICROFOTOGRAFIA QUINTA REDUCCION, PROBETA Nº 2, ACERO SAE 1007 <div style="text-align: center;">. . . . .</div>	122
3.11	PROBETA Nº 4, ACERO SAE 1008, TAMAÑO DE GRANO Nº 9 <div style="text-align: center;">. . . . .</div>	123
3.12	PROBETA Nº 5, ACERO SAE 1007, TAMAÑO DE GRANO Nº 9 <div style="text-align: center;">. . . . .</div>	123
3.13	PROBETA Nº 6, ACERO SAE 1008, TAMAÑO DE GRANO Nº 9 <div style="text-align: center;">. . . . .</div>	124

<u>Nº</u>	<u>Pág.</u>
3.14	PROBETA N° 7, ACERO SAE 1009, TAMAÑO DE GRANO N° 9 . . . . . 124
3.15	PROBETA N° 3, ACERO SAE 1008, TAMAÑO DE GRANO N° 9 . . . . . 125
3.16	PROBETA N° 2, ACERO SAE 1007, TAMAÑO DE GRANO N° 9 . . . . . 125
3.17	PROBETA N° 1, ACERO SAE 1007, TAMAÑO DE GRANO N° 9 . . . . . 126
3.18	PROBETA N° 1, ACERO SAE 1007, TAMAÑO DE GRANO N° 9 . . . . . 126
3.19	VARIACION DE LA DUREZA CON LA DISTANCIA EN PALANQUILLA LAMINADA Y DE COLADA CONTINUA . . . . . 128
3.20	VARIACION DE LA DUREZA CON LA DISTANCIA EN LAS PRIMERAS PASADAS DE PALANQUILLA LAMINADA . . . . . 129
3.21	VARIACION DE LA DUREZA CON LA DISTANCIA EN LAS PASADAS INTERMEDIAS DE PALANQUILLA LAMINADA . . . . . 130
3.22	PROBETAS UNA VEZ REALIZADO EL ENSAYO DE IMPACTO . . . . . 142
3.23	MAQUINA PARA EL ENSAYO DE DOBLADO . . . . . 150
3.24	MUESTRAS DE MATERIAL LAMINADO LUEGO DE REALIZAR EL ENSAYO DE DOBLADO . . . . . 150



## S I M B O L O G I A

- L1 : Largo inicial  
L2 : Largo final  
b1 : Ancho inicial  
b2 : Ancho final  
h1 : Altura inicial  
h2 : Altura final  
V1 : Volumen inicial  
V2 : Volumen final  
A1 : Area de la sección transversal de entrada  
A2 : Area de la sección transversal de salida  
hm : Altura media  
 $\gamma_m$  : Coeficiente de reducción de altura media  
 $\xi_m\%$  : Porcentaje relativo reducción de altura  
 $\lambda$  : Coeficiente de alargamiento  
v1 : Velocidad de entrada  
v2 : Velocidad de salida  
v<sub>p</sub> : Velocidad periférica de cilindros  
 $\Delta L$  : Alargamiento absoluto  
 $\Delta b$  : Ensanchamiento absoluto  
 $\Delta A$  : Reducción área absoluta  
R% : Porcentaje relativo reducción de área  
 $\beta$  : Coeficiente de ensanchamiento  
 $\gamma$  : Coeficiente de reducción de altura  
Dt : Diámetro de trabajo  
Dc : Diámetro de cilindro



- $R_c$  : Radio de cilindros  
 $e$  : Luz de cilindros o entrehierro  
 $D_{mt}$  : Diámetro medio de trabajo  
 $\alpha$  : Angulo de contacto  
 $\mu$  : Coeficiente de fricción  
 $P$  : Presión de laminación  
 $T$  : Temperatura del material  
 $\eta$  : Coeficiente de plasticidad  
 $v_n$  : Velocidad en el punto neutro  
 $\delta$  : Angulo neutro  
 $n$  : RPM del reductor  
 $N$  : RPM del motor  
 $S_f$  : Deslizamiento hacia adelante  
 $S_b$  : Deslizamiento hacia atrás  
 $M$  : Momento de flexión  
 $T$  : Momento torsor  
 $I$  : Momento de inercia  
 $\sigma_n$  : Esfuerzo de flexión  
 $\tau$  : Esfuerzo cortante  
 $I_p$  : Momento polar de inercia  
 $h_{1m}$  : Altura media inicial  
 $h_{2m}$  : Altura media final  
 $\Delta h_m$  : Coeficiente absoluto de altura media  
 $\xi_m$  : Coeficiente relativo de altura media





## INDICE DE TABLAS

POLITECNICA DEL LITORAL  
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"  
F. I. M. C. P.

<u>Nº</u>		<u>Pág.</u>
2.1	CARACTERISTICAS DE LOS ANILLOS DE CARBURO DE TUNGSTENO	79
2.2	TONELAJE APROVECHABLE DE LOS ANILLOS DE LAMINACION . . .	84
2.3	PORCENTAJE DE PERDIDAS POR OXIDACION EN LOS ACEROS . . .	99
2.4	INFLUENCIA DEL MEDIO DE ENFRIAMIENTO SOBRE LAS PROPIE- DADES MECANICAS . . . . .	100
2.5	CONTROL DE PROCESO DEL ALAMBON . . . . .	106
2.6	VALORES DEL ANGULO DE CONTACTO Y REDUCCION RELATIVA DE ALTURA . . . . .	172
2.7	VALORES DE ENSANCHAMIENTO, TREN DE PERFILES . . . . .	181
2.8	VARIABLES OBTENIDAS DEL TREN DESBASTADOR . . . . .	188
2.9	VARIABLES OBTENIDAS DEL TREN INTERMEDIO Y TERMINADOR . . . . .	189
3.1	COMPOSICION QUIMICA PALANQUILLA DE COLADA CONTINUA . . . . .	112
3.2	COMPOSICION QUIMICA PALANQUILLA LAMINADA . . . . .	112
3.3	COMPOSICION QUIMICA DE ALAMBON NACIONAL . . . . .	113
3.4	COMPOSICION QUIMICA DE ALAMBON IMPORTADO . . . . .	114
3.5	VALORES DE MICRODUREZA DEL ALAMBON NACIONAL E IMPOR- TADO . . . . .	131
3.6	RESULTADOS DE ENSAYOS FISICOS PARA ALAMBON NACIONAL . . . . .	133
3.7	RESULTADOS DE ENSAYOS FISICOS PARA ALAMBON IMPORTADO . . . . .	137
3.8	VALORES OBTENIDOS DEL ENSAYO CHARPY . . . . .	140
3.9	PRUEBAS DE TRACCION DE ALAMBON NACIONAL . . . . .	143
3.10	PRUEBAS DE TRACCION DE ALAMBON IMPORTADO . . . . .	145
3.11	DATOS PROMEDIOS DEL ENSAYO DE TRACCION DE ALAMBON NA CIONAL E IMPORTADO . . . . .	147



## INTRODUCCION

Desde hace un poco más de una década, una de las miniacerasías de nuestra región fabricaba exclusivamente varillas para la construcción. Conforme avanza el desarrollo en esta área, se trataba de obtener alambroón en trenes convencionales para cubrir la demanda industrial, pero sus experiencias no justificaban porqué se desabastecía el mercado de la construcción, debido a la capacidad instalada de la planta laminadora como también de la planta proveedora de palanquilla de colada continua.

Alrededor de 1981, se llegan a cristalizar los planes de expansión de la miniaceraía, instalándose un moderno tren de laminación de alambroón, con lo que en 1983 comienza a fabricarse este producto para la industria. Es así como nace la idea de desarrollar el presente tema de investigación, tratando de minimizar la dependencia de materia prima importada.<sup>(9)</sup>

El tema a tratarse en este trabajo comprende el estudio comparativo del alambroón nacional partiendo de palanquilla de colada continua, como también de palanquilla laminada y el alambroón importado como materia prima para la industria de la trefilación.

Para este efecto, se hace una recopilación de la bibliografía referente al tema, se analiza el proceso de fabricación y el trabajo experimental está basado en realizar los diferentes ensayos según los requerimientos de la norma INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) para alambión.<sup>(11)</sup>



## CAPITULO I

### FUNDAMENTOS TECNICOS DE LAMINACION

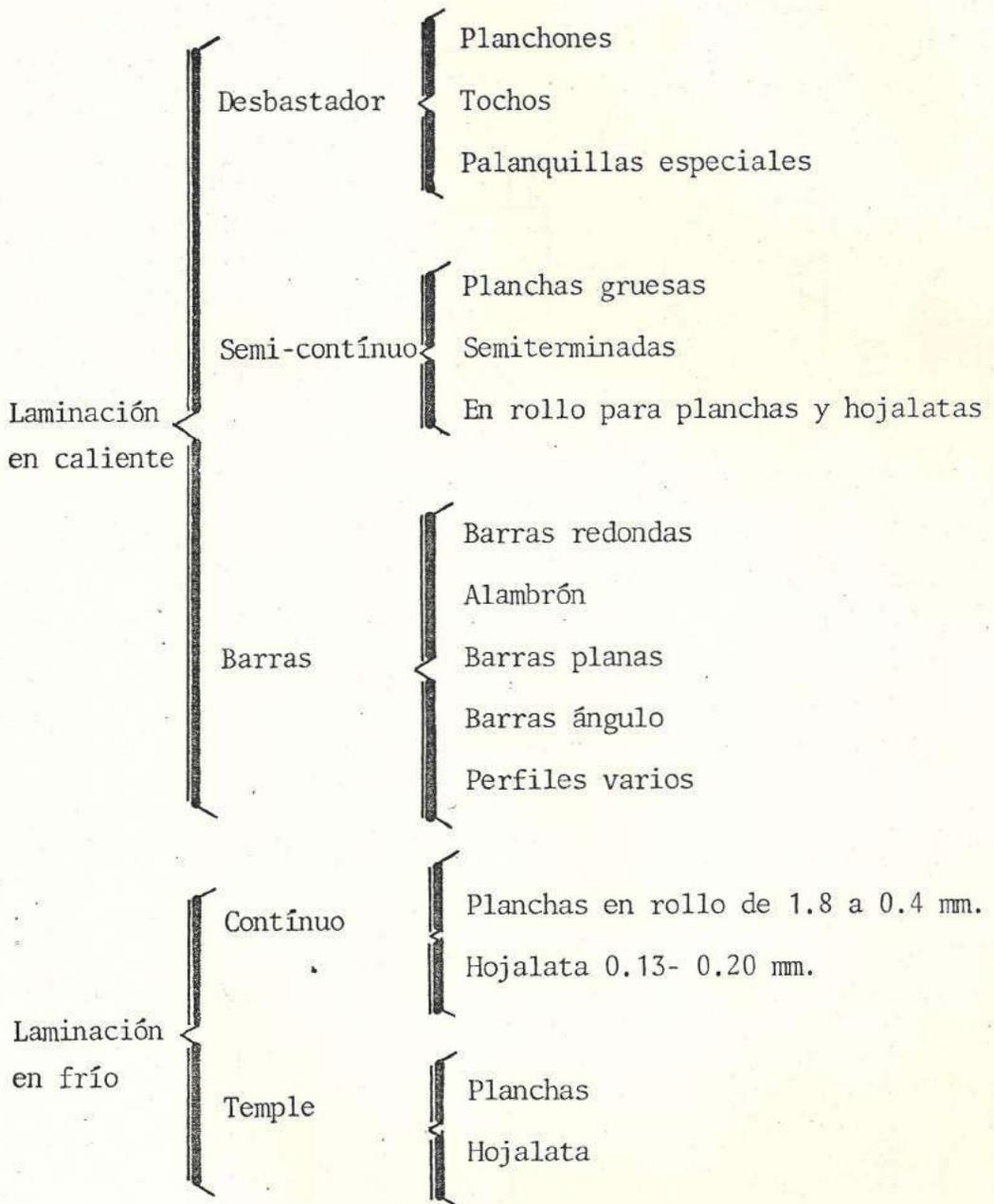
#### 1.1 GENERALIDADES

El proceso de laminación es el más empleado en el procesamiento del acero, ya que por su naturaleza permite una alta producción y un control muy aproximado del producto final. Este proceso puede definirse como la transformación de la forma inicial de un trozo de acero al producto final a través de deformaciones plásticas sucesivas al pasar entre dos rodillos en rotación, con una **separación** relativamente constante.

Al producirse la deformación, el material está sujeto a altos esfuerzos de compresión al ser arrastrados por los rodillos, como resultado, principalmente, de la fricción o roce producidos entre la superficie de los rodillos y el material. (7)

El proceso de laminación físicamente se divide en :

- a) Laminación en caliente
- b) Laminación en frío



Básicamente, un laminador está constituido por el motor, caja de reducción, caja de piñones, eje de transmisión con sus acoples, los rodillos montados sobre sus descansos fijos en los bastidores, como se puede apreciar en la Fig. 1.1



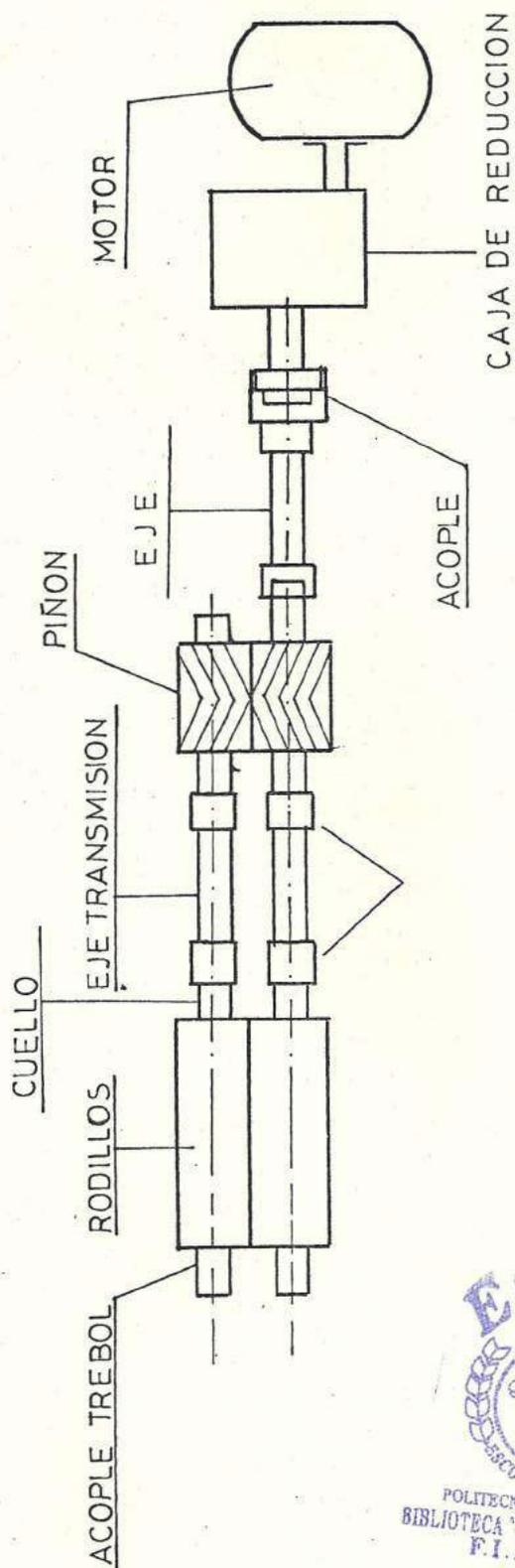


FIG. 1:1

Fig. 1.1 PARTES COMPONENTES DE UN LAMINADOR (7)

Considerando las fuerzas tan grandes que se desarrollan, el sistema debe ser muy rígido y los motores de gran capacidad.

Los laminadores se pueden clasificar de acuerdo al número y arreglo de los rodillos, como lo describimos a continuación :

- a) Dúo (2 Hi) irreversible tipo laminador antiguo de planchas, operación a mano. Se pasa el material por entre los dos rodillos y vuelve por encima del superior actuando éste como polín arrastrador.<sup>(3)</sup>
- b) Dúo (2 Hi) reversible tipo desbastador de 32 x 78. El material adquiere el movimiento de vaivén entre los dos rodillos que cambia su sentido de rotación en fracciones de segundo.
- c) Trío (3 Hi) irreversible (semi-contínuo). El material después de pasar entre el rodillo inferior y el medio, vuelve entrando la cola entre el rodillo medio y el superior.
- d) 4 Hi Contínuo. Constituído por tres o más bastidores, se emplean para laminación en caliente y laminación en frío de alta productividad.

El material pasa a través de los rodillos de trabajo, los cuales están sincronizados para tomar el material que sale del bastidor anterior, de tal manera que el volumen que entrega cada bastidor es constante.

e) Multi - Hi - reversible. El material pasa a través de dos rodillos de trabajo de diámetro pequeño soportados por una serie de rodillos.

## 1.2 CONCEPTOS BASICOS DE LAMINACION

El proceso de laminación en caliente es realizado mediante dos cilindros superpuestos a una altura constante que, girando en sentido contrario, agarran el material produciendo deformaciones plásticas, las mismas que están gobernadas por una serie de factores que inciden en la magnitud de dicha deformación.

En la Fig. 1.2, se muestra dos cilindros de laminación que tienen diámetros iguales y giran a un mismo número de revoluciones por minuto; por poseer parámetros similares, van a tener una misma velocidad periférica, los puntos de contacto del material en cada cilindro están equidistantes entre sí, el ángulo formado por la línea que une los dos centros de los cilindros y el radio del cilindro al punto de contacto del mate

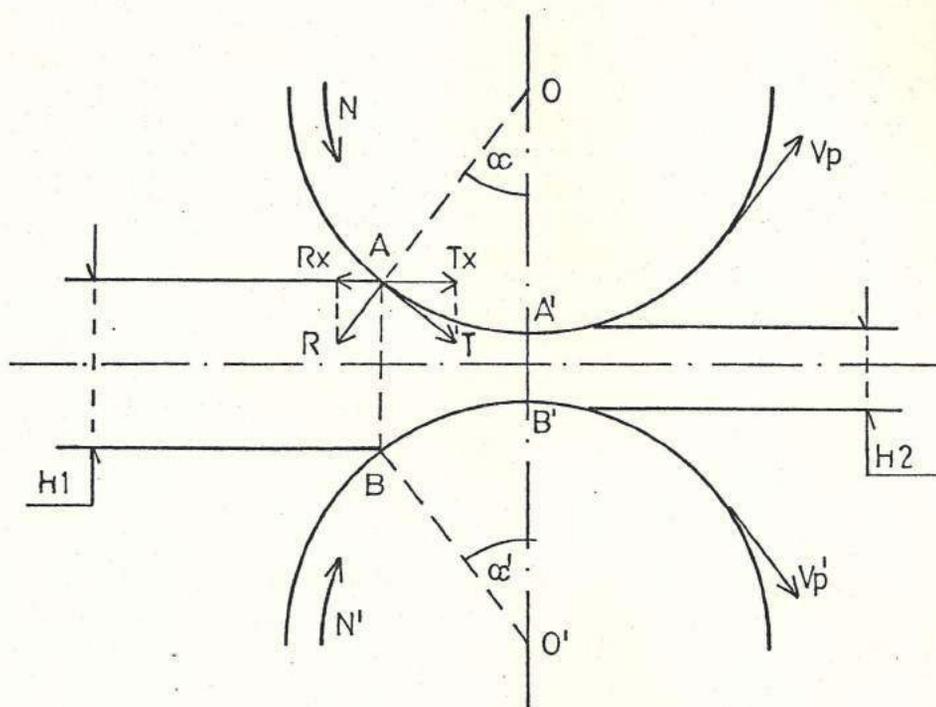


Fig. 1.2 BARRA ATRAVEZANDO DOS CILINDROS DE LAMINACION<sup>(7)</sup>

rial, se llama ángulo de contacto.

El incremento de este ángulo se hará a medida que aumente la altura inicial del material,  $h_1$ , hasta un límite tal en que la pieza no pueda ser tomada por los cilindros. A este ángulo límite se lo conoce como "Ángulo de mordida o de agarre" y depende fundamentalmente del coeficiente de fricción entre los cilindros y el material<sup>(7)</sup>.

La zona comprendida entre los puntos  $AA'$  y  $BB'$  es la zona donde se produce el proceso de laminación, es decir que en esta zona los cilindros ejercen fuerzas para producir las deformaciones plásticas debido a la

compresibilidad del material en las tres direcciones: alargamiento, ensanchamiento y reducción de altura.

Las deformaciones producidas en las tres direcciones son las que rigen el principio básico de laminación llamado principio de constancia de volumen, el mismo que enuncia que el volumen de entrada a un proceso de laminación es igual al volumen de salida, considerando las variaciones producidas en el material laminado.

De acuerdo a esto, si  $h$ ,  $b$ , y  $L$  llamamos altura, ancho y largo del material laminado respectivamente, por el enunciado de constancia de volumen, tenemos :

$$V1 = h1.b1.L1$$

$$V2 = h2.b2.L2$$

$$V1 = V2$$

$$h1.b1.L1 = h2.b2.L2$$

$$V1 = V2 = V3 = \dots = Vn$$



Por lo tanto el valor del área de la sección transversal del material será :

$$A1 = h1.b1$$

$$A2 = h2.b2$$

Cuando se trabaja con secciones que no son rectangu-

lares como redondos, óvalos, rieles, etc., se introduce otro elemento de cálculo conocido como altura media y es aquella altura de la sección transversal rectangular equivalente a la sección transversal laminada, como se puede apreciar en la Fig. 1.3.

La altura media de la sección transversal es calculada dividiendo el área para el máximo ancho del material.

El concepto de altura media ha sido introducido para mantener el principio de constancia de volumen y poder determinar los volúmenes equivalentes en cada una de las pasadas :

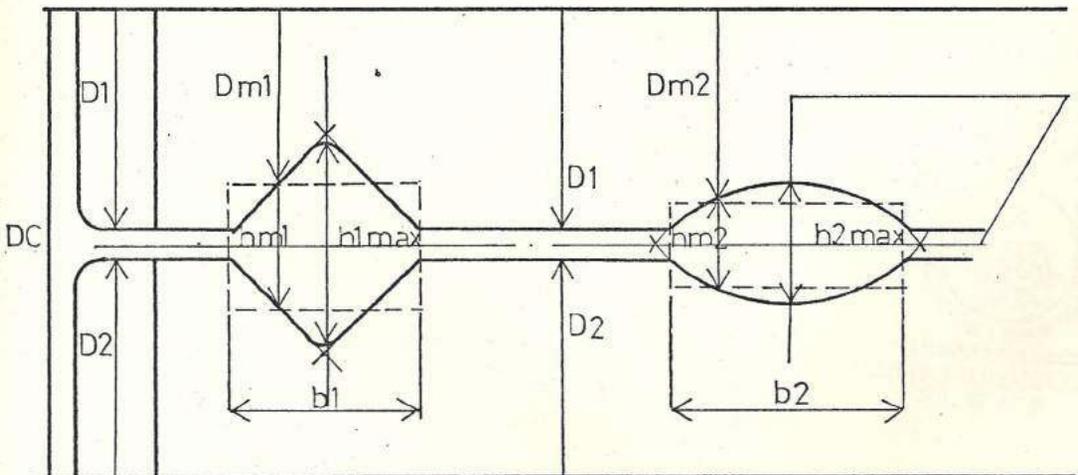


FIG.1:3

Fig. 1.3 ALTURA MEDIA DE UNA SECCION<sup>(7)</sup>

$$h_{1m} = \frac{A_1}{b_1} \qquad h_{2m} = \frac{A_2}{b_2}$$

De modo que el volumen de entrada y salida en términos de altura media será :

$$V_1 = A_1.L_1 = h_{1m}.b_1.L_1$$

$$V_2 = A_2.L_2 = h_{2m}.b_2.L_2$$

Si relacionamos los valores de dos pasadas consecutivas, podemos obtener valores de reducción de altura media en términos de :

a) Coeficiente de altura media;

$$\frac{h_{2m}}{h_{1m}} = \frac{A_2}{b_2} \cdot \frac{b_1}{A_1} = \gamma_m$$

b) Coeficiente absoluto de altura media;

$$h_{1m} - h_{2m} = \frac{A_1}{b_1} - \frac{A_2}{b_2} = \Delta h_m$$

c) Coeficiente relativo de altura media;

$$\frac{h_{1m} - h_{2m}}{h_{1m}} = \xi_m$$

d) Porcentaje relativo de altura media

$$\frac{h_{1m} - h_{2m}}{h_{1m}} \times 100 = \xi_m \text{ } 100\%$$



Si relacionamos los valores referentes al alargamiento y al ensanchamiento tenemos :

- Coeficiente de alargamiento

$$\lambda = \frac{A1}{A2} = \frac{h1m \cdot b1}{h2m \cdot b2} = \frac{L2}{L1} = \frac{v2}{v1}$$

donde :

v1 : velocidad de entrada

v2 : velocidad de salida

- Alargamiento absoluto :

$$\Delta L = L2 - L1$$

- Coeficiente de ensanchamiento :

$$\beta = \frac{b2}{b1}$$

- Ensanchamiento absoluto :

$$\Delta b = b2 - b1$$

Las relaciones de reducción de altura son complemento del alargamiento producido por lo que se define a continuación :

- Reducción área absoluta :

$$\Delta A = A1 - A2$$



- Reducción área relativa :

$$R = \frac{A1 - A2}{A1}$$

- Porcentaje de reducción :

$$R\% = \frac{A1 - A2}{A1} \times 100$$

Luego, las relaciones de coeficiente de alargamiento y reducción relativa de área pueden ser calculadas por una fórmula común :

$$\lambda = \frac{1}{1-R} = \frac{100}{100 - R\%}$$

$$R = 1 - \frac{1}{\lambda}$$

$$R\% = 100 - \frac{100}{\lambda}$$

De modo que, para que se produzca un determinado coeficiente de alargamiento, debemos tener una respectiva reducción de área.

Otro concepto que se define es el referente a diámetros, el mismo que se requiere para realizar los cál-

culos de las velocidades de laminación.

En vista de que se relaciona velocidades angulares con velocidades lineales, los diámetros de los cilindros serán los parámetros que nos permitan realizar las transformaciones necesarias.

El cálculo de las velocidades se realiza con los llamados diámetros de trabajo de los cilindros, los mismos que se los calcula en base a la sección que se lamine, ya sea óvalo, redondo o cuadrado, etc. <sup>(15)</sup>

El diámetro de trabajo viene dado por la siguiente fórmula :

$$D_t = D_c - h_2$$

donde:

$D_t$  : diámetro de trabajo

$D_c$  : diámetro de cilindro

$h_2$  : altura de salida de material

Como el diámetro medio de trabajo se determina a partir de la altura media de salida del material, se utiliza la siguiente fórmula :

$$D_{mt} = D_c - h_{2m}$$



El diámetro teórico de cilindro,  $D_c$ , es la distancia entre los ejes de los dos cilindros laminadores incluyendo el espacio de abertura entre ellos, conocido como entre hierro o luz ( $e$ ).

Si :

$$D_1 = D_2 = D$$

entonces:

$$D_c = \frac{D_1}{2} + \frac{D_2}{2} + e$$

$$D_c = D + e$$

reemplazando :

$$D_{mt} = D + e - h_{2m}$$



### 1.3 FACTORES IMPORTANTES EN UN PROCESO DE LAMINACION

Para laminar un producto hay que determinar un calibre que comprenda la elección completa y correcta de cilindros, diseño de un buen guiado de la barra a lo largo de todo el tren, y finalmente, diseño o trazado del calibre que comprende el diseño de todo el programa de pasadas, esto es, desbastadoras, intermedias, preparadoras, preterminadoras y terminadoras. Estos factores se analizan a continuación :

### 1.3.1 CILINDROS DE LAMINACION

La función principal del cilindro es la de llevar a cabo las deformaciones del material en el proceso de laminación. Desde años atrás la fabricación de cilindros ha estado rodeada de secretos en ciertos aspectos como moldeo, colado y tratamiento térmico.

El cilindro laminador está sujeto a soportar una serie de sollicitaciones desde el punto de vista mecánico-térmico que se enuncian a continuación :

- a) SOLICITACIONES MECANICAS: Tensiones originadas por flexión, torsión, corte por cizallamiento, impacto y fatiga<sup>(4)</sup>.
- b) SOLICITACIONES TERMICO-MECANICAS: Producidas principalmente por los ciclos alternados de bruscos calentamientos y enfriamientos en el laminado en caliente, asociados con el fisuramiento térmico, abrasión causada por la cascarrilla de laminación y presencia del vapor de agua de refrigeración.
- c) SOLICITACIONES TERMICAS : Causadas por inconvenientes en el laminado en caliente, resbalamiento brusco del material, etc. que someten al cilindro a esfuerzos mecánicos súbitos de origen térmico debido a elevados

calentamientos localizados, ablandamiento prematuro, etc.

La evaluación de los factores mencionados anteriormente nos lleva a considerar dos puntos fundamentales en el rendimiento de cilindros: Resistencia al desgaste traducida en un buen rendimiento de toneladas de material laminado, y el peligro de roturas de cilindros debidas a problemas de origen mecánico-térmico.

Estos son los criterios que se deben tener presente para definir tal o cual calidad de cilindro a montarse en cada caja o stand del tren, de acuerdo al trabajo que van a realizar éstos con un calibre específico.

### 1.3.2 GUIADO

Otro de los dispositivos o elementos necesarios para que los cilindros trabajen al máximo de su eficiencia es el "Guiado". Podemos definir como aquel elemento encargado de llevar el material desde y hacia los cilindros laminadores manteniéndolo en posición correcta.

De acuerdo a la distribución en planta (véase

Fig. 1.4), en un tren de laminación local, es decir, abierto y continuo, es sumamente importante asegurarse en que el material sea bien guiado en todo el recorrido, ya que se involucra muchas posibilidades de interrupción en el proceso, lo cual repercute directamente en el costo y calidad del producto terminado.

Por la disposición del tren, esto es, cilindros montados en forma horizontal, se hace necesario girar las secciones laminadas en cada stand de acuerdo al calibre utilizado.

Existen distintos tipos de trazado que dependen de las formas o configuraciones geométricas que va tomando el material en cada pasada, los más típicos son: secuencia óvalo-redondo-óvalo, secuencia óvalo-cuadrado-óvalo, secuencia diamante-cuadrado-diamante.<sup>(4)</sup>

En este estudio se usa el segundo trazado, en el que se determina la posición que debe tomar una sección cuadrada cuando va a entrar en un canal de óvalo, como también la posición que debe tomar el óvalo para entrar al siguiente canal cuadrado y así sucesivamente hasta lle

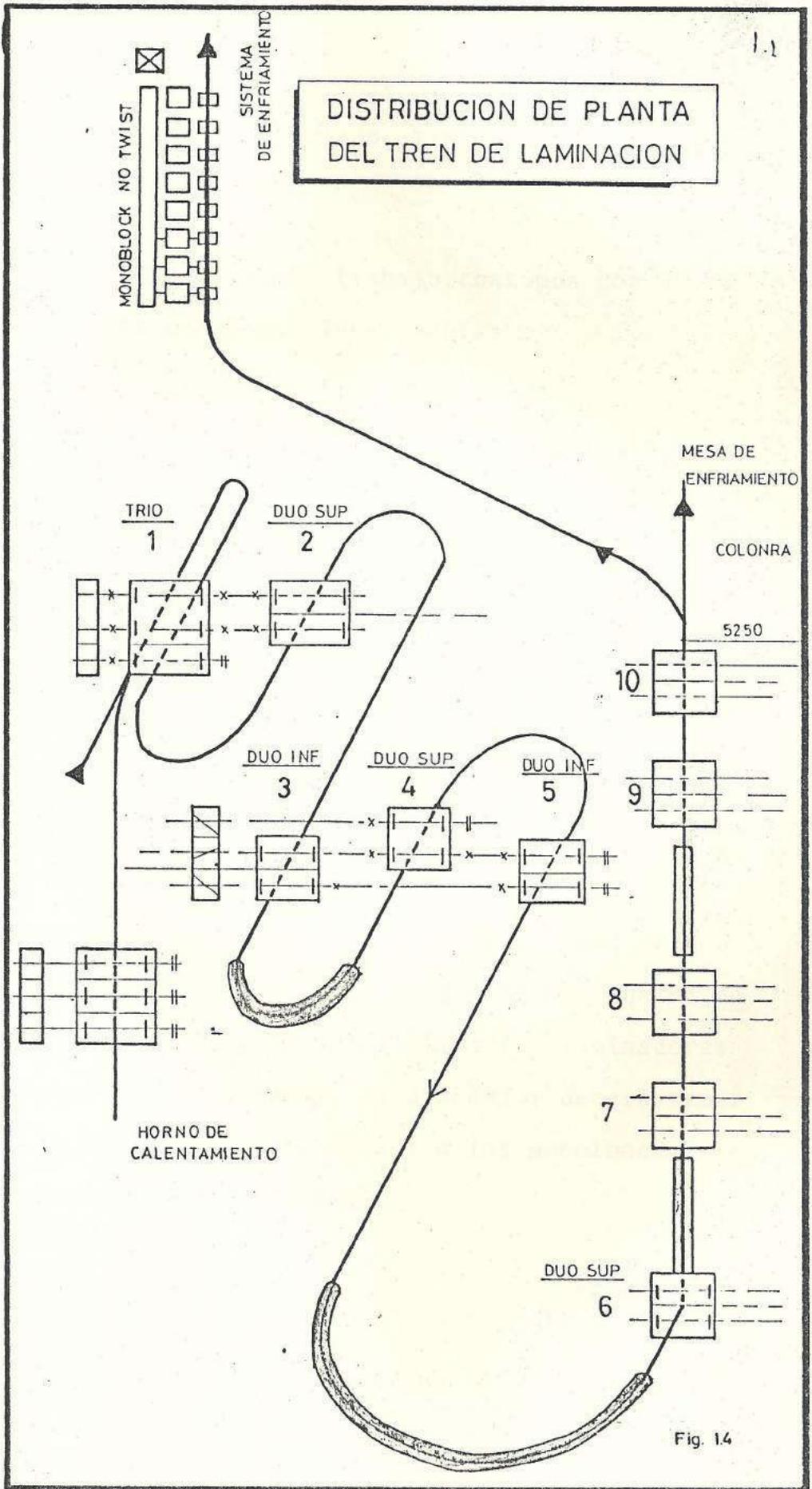
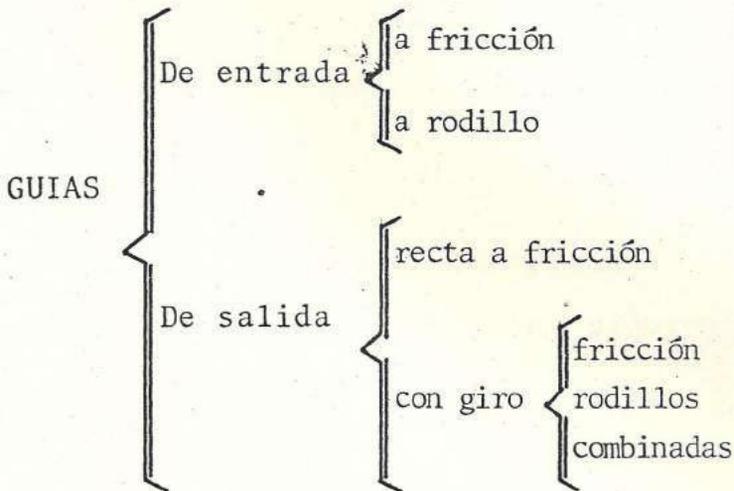


Fig. 14

Fig. 1.4 DISTRIBUCION DE PLANTA DEL TREN DE LAMINACION (12)

gar al canal de la caja terminadora, que por tratarse de un redondo, tiene que ser alimentado con un óvalo.

Para cumplir dicho trabajo contamos con la siguiente clasificación de guías :



### 1.3.3 TRAZADO

Se puede esperar resultados favorables cuando el trazado cumple a cabalidad su función en dependencia directa a los cilindros laminadores y al guiado; además, un diseñador deberá tomar en cuenta factores ajenos a los mencionados anteriormente, como son :

- Velocidad de laminación
- Temperatura de laminación



- Presión de laminación
- Fricción entre el material y los cilindros
- Composición química del material a laminarse
- Diámetro de cilindros
- Forma del canal
- Longitud del arco de contacto

Todos estos factores se cubrirán en detalle en otro capítulo.

En cuanto al diseño de los pases de laminación se deberá tomar en cuenta los siguientes puntos :

- a) La cantidad de pases necesarios para obtener el perfil deseado como producto final.
- b) La distribución de los pases a lo largo de las diferentes tablas del juego de cilindros.
- c) Decidir sobre formas y tipos apropiados de pases.<sup>(4)</sup>

Prosiguiendo con otros puntos influyentes para el trazado, sabemos que un pase o canal representa el borde límite de una determinada sección en caliente, tallada en la superficie de los dos cilindros laminadores que trabajan su-

perpuestos. Una sección en caliente se la calcula a partir de la dimensión en frío deseada y del coeficiente de expansión térmica lineal que se toma entre 1.013 y 1.015. Los pases pueden ser activos, los mismos que se encuentran en disposición de laminar y está formado por dos tallados activos (véase Fig.1.5).

Pases muertos son aquellos que no están en disposición para laminar, es decir poseen un tallado vivo en uno de los cilindros, mientras que en el otro no existe. Estos tipos de canales tanto vivo como muerto se encuentran generalmente en cajas tríos.

Las formas de los pases utilizados en el trazado son muy diversas y tienen su aplicación de acuerdo a las condiciones de operación de cada tren de laminación (véase Fig.1.6). Las más usadas son :

- Cajón
- Cuadrado
- Diamante
- Cuadrado gótico
- Ovalo
- Ovalo bastardo
- Redondo

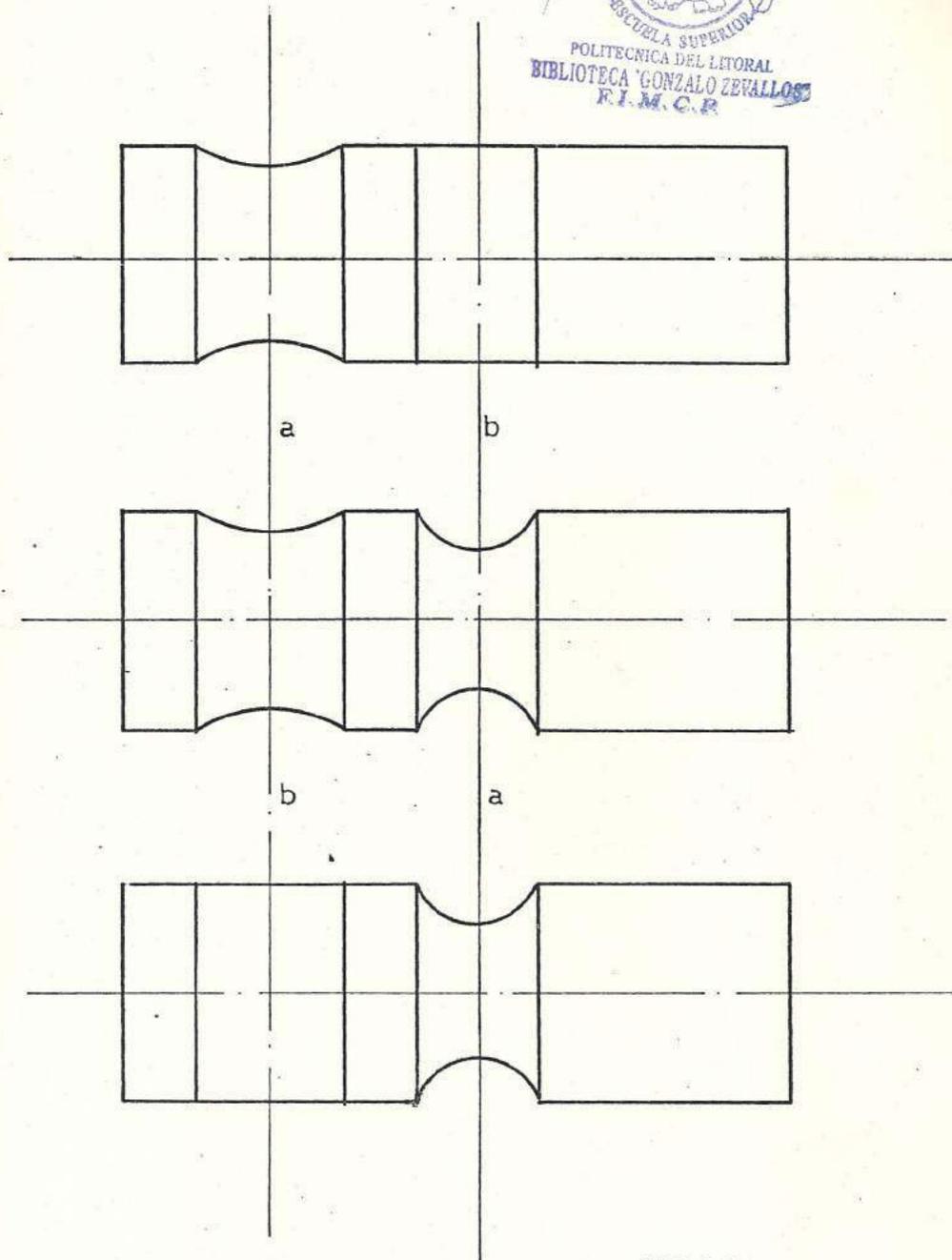


FIG. 1:5

Fig. 1.5 DISEÑO DE PASES ACTIVOS Y PASES MUERTOS <sup>(4)</sup>

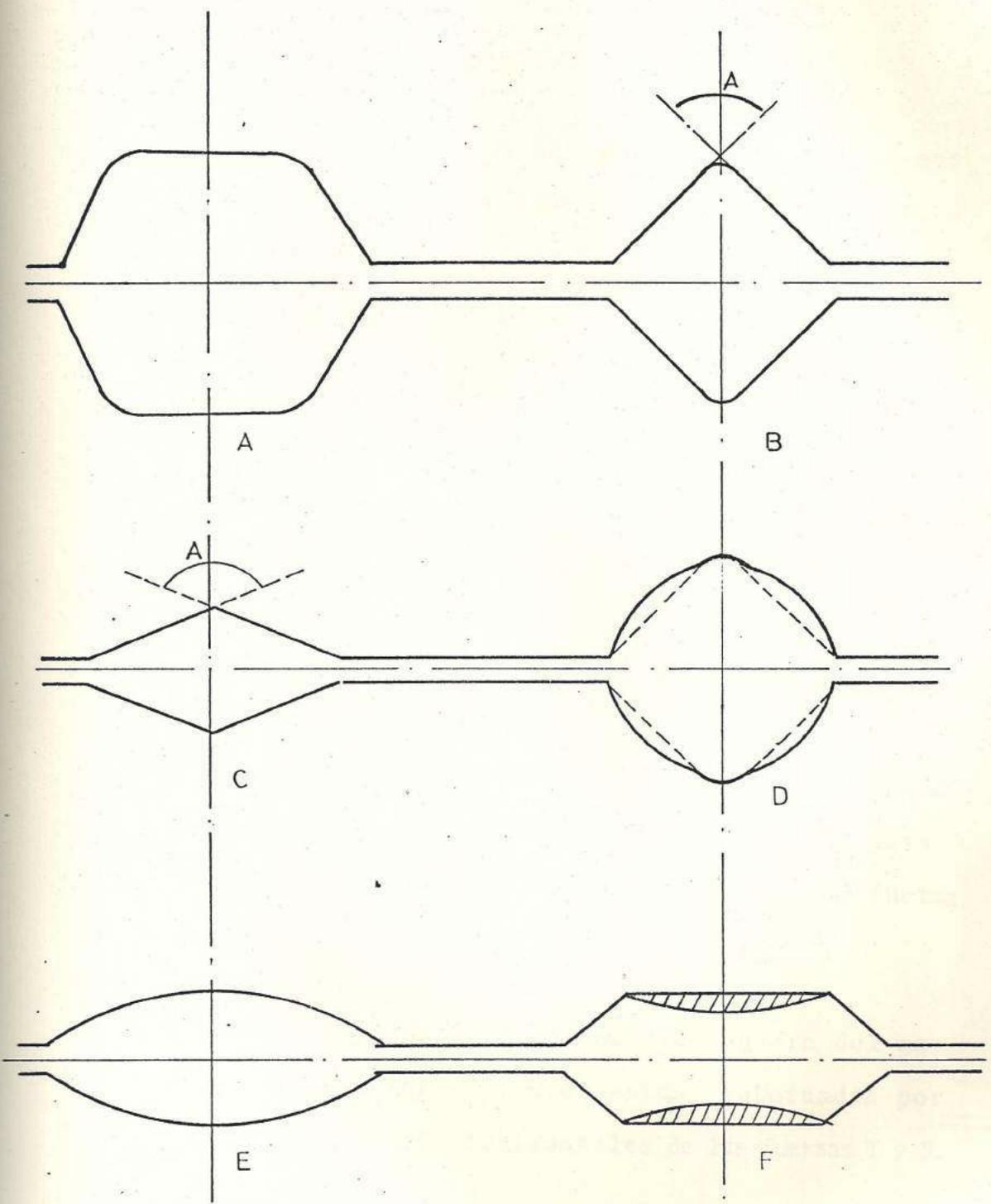


FIG. 1:6

Fig. 1.6 TIPOS DE PASES (4)

#### 1.3.4 ANGULO DE CONTACTO

Con respecto al ángulo de contacto, analizamos las fuerzas que actúan en el punto de contacto y sus magnitudes para que se produzca el agarre del material por parte de los cilindros.

Como podemos apreciar en la Fig. 1.2, el proceso de laminación se inicia cuando el material entra en contacto con los cilindros en los puntos A y B, ejerciéndose una presión determinada P sobre los cilindros, los mismos que ejercen una fuerza de reacción R sobre el material. En los puntos A y B se produce a su vez una fuerza tangencial por efecto del contacto del material con los cilindros, la misma que para nuestro análisis se denomina fuerza T, o fuerza de arrastre. (7).

Por tanto, las posibilidades de agarre del material por los cilindros están gobernadas por las componentes horizontales de las fuerzas T y R.

Donde:

$$T_x = T \cos \alpha$$

$$R_x = R \sin \alpha$$

Se determina que existirá agarre del material por parte de los cilindros si se cumple la siguiente condición :

$$T_x > R_x$$

$$T \cos \alpha > R \sin \alpha$$

Así mismo, si observamos la Fig. 1.7 el arco de contacto en cada cilindro tiene su proyección horizontal, para fines de cálculo identificamos la altura  $h$  del material dentro de la zona de deformación a una distancia  $x$  desde la salida de los cilindros y su correspondiente ángulo de laminación  $\delta$ , pudiendo este ángulo ser menor o igual que el ángulo de contacto.

Con esta hipótesis, la reducción total en altura y la debida a un solo cilindro será :

$$\Delta h = h_1 - h_2 \quad \text{y} \quad \frac{\Delta h}{2} = \frac{h_1 - h_2}{2}$$

Aplicando relaciones trigonométricas en los triángulos formados tenemos :

$$R \cos \alpha = R - \frac{h_1 - h_2}{2}$$

o factorando :

$$1 - \cos \alpha = \frac{h_1 - h_2}{2R}$$

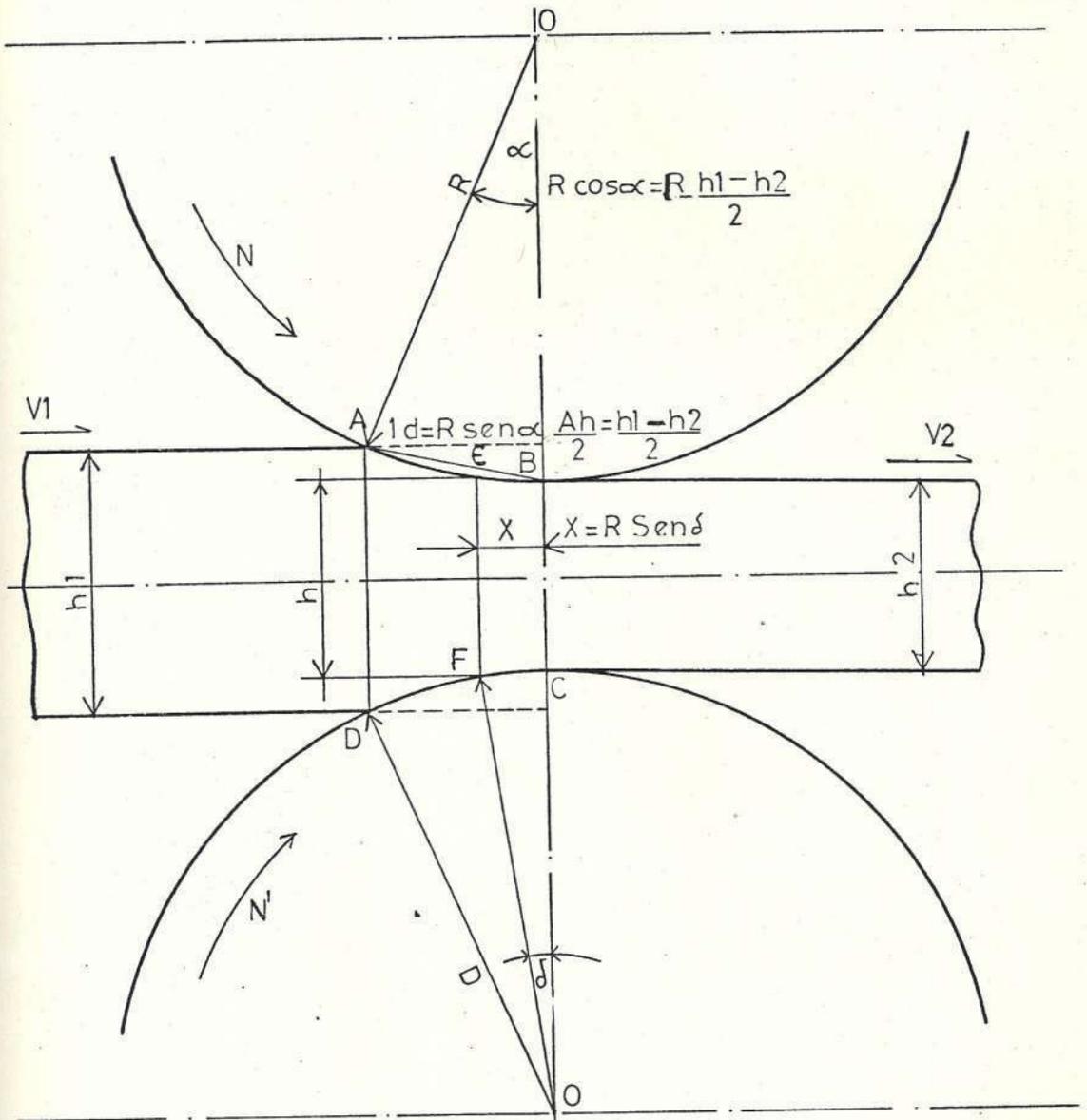


FIG. 1:7

Fig. 1.7 ANGULO DE CONTACTO (7)



De donde se obtiene la forma básica para el cálculo del ángulo del contacto.

$$\cos \alpha = 1 - \frac{h_1 - h_2}{2R}$$

$$\cos \alpha = 1 - \frac{\Delta h}{D}$$

De estas fórmulas podemos obtener otras derivadas como son :

$$h_1 = h_2 + D (1 - \cos \alpha)$$

$$h_2 = h_1 - D (1 - \cos \alpha)$$

$$\Delta h = D (1 - \cos \alpha)$$

La proyección del arco de contacto en el plano horizontal puede calcularse de la siguiente relación geométrica :

$$(l_d)^2 = R^2 - OF$$

$$(l_d)^2 = R^2 - \left[ R - \frac{h_1 - h_2}{2} \right]^2$$

reordenando términos :

$$l_d^2 = R^2 - \left[ R - \frac{\Delta h}{2} \right]^2$$

$$l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h - \frac{\Delta h^2}{4}}$$

El término  $\frac{\Delta h^2}{4}$  para fines de cálculo generalmente se lo omite para ángulos de contacto que no excedan los  $20^\circ$ , por tener un error inferior a 1%, con lo cual nos queda la fórmula de la siguiente manera :

$$l_d = \sqrt{R \cdot \Delta h}$$

Mientras que el arco de contacto se calcula de la siguiente forma :

$$\frac{\alpha}{360} = \frac{AB}{2\pi R}$$

de donde nos queda :

$$AB = \frac{\pi R \alpha}{180}$$



Otro parámetro influyente en la capacidad de agarre de una pasada, es la buena elección de las calidades de los cilindros laminadores en cuanto a su ubicación en el tren, el mismo que acompañado de un buen

calibrado de cilindros con un trazado y guiado acertado influyen directamente en la productividad del tren. Teniendo como referencia la temperatura de laminación, podemos calcular el coeficiente de fricción con las fórmulas de Ekelund :

$$\begin{aligned} \mu &= 1.05 - 0.0005T && \text{Cilindros de acero} \\ \mu &= 0.8 (1.05 - 0.0005T) && \text{Cilindros de fundición} \end{aligned}$$

donde T viene dada en grados centígrados.

De las fórmulas expuestas se aprecia que los cilindros de acero tienen mayor coeficiente de fricción que los de fundición de hierro<sup>(4)</sup>.

Con los antecedentes anteriores, se selecciona cilindros de acero en los trenes donde la reducción en altura es grande, como el caso del tren desbastador, por tener un mayor agarre; pero en cambio están sujetos a un mayor desgaste superficial con la consecuente desventaja de que el rectificado sea mayor para su nueva utilización.

En cambio cuando las reducciones son moderadas significa que el ángulo de agarre es pequeño,

para lo cual los cilindros de hierro fundido son los más aconsejados, los mismos que presentan una considerable ventaja en la vida útil debido a un desgaste superficial muy bajo, encontrando su aplicación en los trenes intermedio y terminadores.

A continuación se muestra valores del ángulo de agarre promedio más aconsejado :

$\alpha = 25^\circ$  Cilindros de fundición (lisos)

$\alpha = 35^\circ$  Cilindros de acero (rugosos)

#### 1.4 CALCULO DEL ENSANCHAMIENTO

En un proceso de laminación la deformación que sufre el material se produce en las tres direcciones :

Tomando como referencia un sistema de coordenadas cartesianas, el eje "x" corresponde a la deformación producida en la dirección paralela al eje de los cilindros. La deformación producida en esa dirección corresponde al "ensanchamiento" del material.

En el eje "y" se produce la "reducción de altura" y corresponde a la deformación producida en dirección perpendicular a la línea de laminación de los dos cilindros.

En el eje de coordenada "z" la deformación que se produce en sentido de la línea de laminación se conoce como "alargamiento".

Estas deformaciones están ligadas íntimamente. Se deberá siempre procurar obtener un mayor alargamiento con un mínimo ensanchamiento a costa de una gran reducción del área de la sección transversal<sup>(4)</sup>.

El ensanchamiento está influenciado por factores tales como calidad del material, diámetro de cilindros, calidad de los cilindros, reducción en altura, temperatura, fricción y velocidad. Hasta alrededor de 10 m/seg, no hay variación de ensanchamiento, mientras que por sobre esta velocidad, éste disminuye ligeramente, por lo que el factor de velocidad puede omitirse al calcular el ensanchamiento.

Todos estos factores de influencia con excepción de la calidad del material son considerados en la fórmula de Sven Ekelund, como sigue :

$$\frac{1}{2} (b_2^2 - b_1^2) = 4m\sqrt{R \cdot \Delta h} \cdot \Delta h - 2m (h_1 + h_2)\sqrt{R \cdot \Delta h} \cdot \ln \frac{b_2}{b_1}$$

$$m = \frac{1.6\mu\sqrt{R \cdot \Delta h} - 1.2 \Delta h}{h1 + h2}$$

donde :

b1 : es el ancho del material antes de la pasada.

b2 : es el ancho del material después de la pasada (incógnita).

h1 : es la altura del material antes de la pasada.

h2 : es la altura del material después de la pasada.

R : es el radio activo del cilindro (radio de trabajo del cilindro).

Esta fórmula es una de las más precisas conocida hasta la presente para el cálculo del ensanchamiento.

Otra fórmula poco usada<sup>(7)</sup> para el cálculo del ensanchamiento es la siguiente :

$$b2 = b1 + E(h1 - h2)$$

siendo :

b2 : ancho final

b1 : ancho inicial

(h1-h2) : reducción en altura

E : coeficiente que varía según las dimensiones de las palanquillas.

PALANQUILLAS	E
63 x 63	50%
81 x 81	40%
102 x 102	35%
127 x 127	30/35%
palanquillas planas	25/30%



## 1.5 PRESION DE LAMINACION

Actualmente se han desarrollado numerosas fórmulas teóricas-empíricas, de las cuales las más conocidas son : Ekelund, Orowan, Celikow, Sims, Cook, McCurm y Siebel <sup>(5)</sup>.

El cálculo de la presión de laminación es necesario cuando se diseñan las piezas y partes de un tren de laminación para saber a qué tipo y magnitud de cargas va a estar sometido.

Examinemos ahora el sistema EKELUND para el cálculo de la presión en el laminado.



Símbolos empleados :

$h_1$ : Espesor de entrada en mm.

$h_2$ : Espesor de salida en mm.

$b_1$ : Ancho de entrada en mm.

$b_2$ : Ancho de salida en mm.

$R$  : Radio de los cilindros hasta el fondo del canal

$v$  : Velocidad periférica de los cilindros

$C$  : Contenido de carbono en %

$Mn$ : Contenido de manganeso en %

$Cr$ : Contenido de cromo en %

$T$  : Temperatura del laminado en °C

$K_{fo}$ : Resistencia específica de la barra

$\eta$  : Coeficiente de plasticidad de la barra

$\mu$  : Coeficiente de rozamiento barra-cilindros

La fórmula<sup>(5)</sup> es :

$$P = b_m \sqrt{R(h_1 - h_2)} \left[ 1 + \frac{1.6 \mu \sqrt{R(h_1 - h_2)} - 1.2(h_1 - h_2)}{h_1 + h_2} \right] \left[ K_{fo} + \frac{2m v \sqrt{\frac{h_1 - h_2}{R}}}{h_1 + h_2} \right]$$

que prácticamente expresa la presión del laminado como producto de la proyección del área de contacto por (1 + los componentes de rozamiento) y por (resistencia específica estática de la barra + el coeficiente de plasticidad multiplicado por la función de  $h$ ).

En esta fórmula :

- la resistencia específica :

$$k_{fo} = (1.4 - 0.015) (1.4 + C + Mn + 0.3Cr) \text{ Kg/mm}^2$$

- Coeficiente de plasticidad en Kg-seg/mm<sup>2</sup>

$$\eta = 0.01 (1.4 - 0.01T)$$

para velocidad superior a 6 m/s se recomienda para  $\eta$  los siguientes valores de corrección de K.

<u>V<sub>p</sub>, (m/s)</u>	<u>K</u>
hasta 6	1.0
6-10	0.8
10-15	0.65
15-20	0.6
25-30	0.5

La determinación de la presión de laminación efectiva en un tren en operación tiene su importancia en los siguientes casos :

- Presión de laminación total o en cada cojinete del cilindro permitiendo determinar sobrecargas perjudiciales sobre los mismos.
- Presión de laminación producida por un calibrado nuevo y no practicado anteriormente.
- Medida de las cargas máximas producidas en la entrada de las barras al tren.

En forma práctica, los datos de la presión de laminación se obtienen mediante los dispositivos llamados celdas de carga. Constan básicamente de dos celdas dimensionadas para soportar una carga máxima y montadas una en cada cojinete del cilindro, y un sistema de amplificación de corriente continua.

## 1.6 CALCULO DE LA VELOCIDAD DE LAMINACION

Cuando una barra pasa entre los cilindros, su sección recta a la entrada es mayor que la correspondiente a la salida; como el producto del área de la sección recta por la velocidad debe ser constante, la barra sale a mayor velocidad que a la entrada. La velocidad de los rodillos permanece constante, mayor que la de entrada de la barra y menor que la de salida.

Si observamos la Fig. 1.8, notamos que si a la entrada el material pasa con una velocidad menor que la componente horizontal de la velocidad periférica de los cilindros debe haber un punto en la garganta de laminación o zona de deformación en que esta componente horizontal de la velocidad periférica debe ser igual a la velocidad del material laminado.<sup>(7)</sup>

Este punto se lo conoce como "punto neutro", el ángulo se denomina ángulo neutro y es el que determina la posición de la línea neutra en relación al eje de los cilindros. La relación que gobierna en este punto es :

$$v_n = v_p \cos \delta$$

donde :

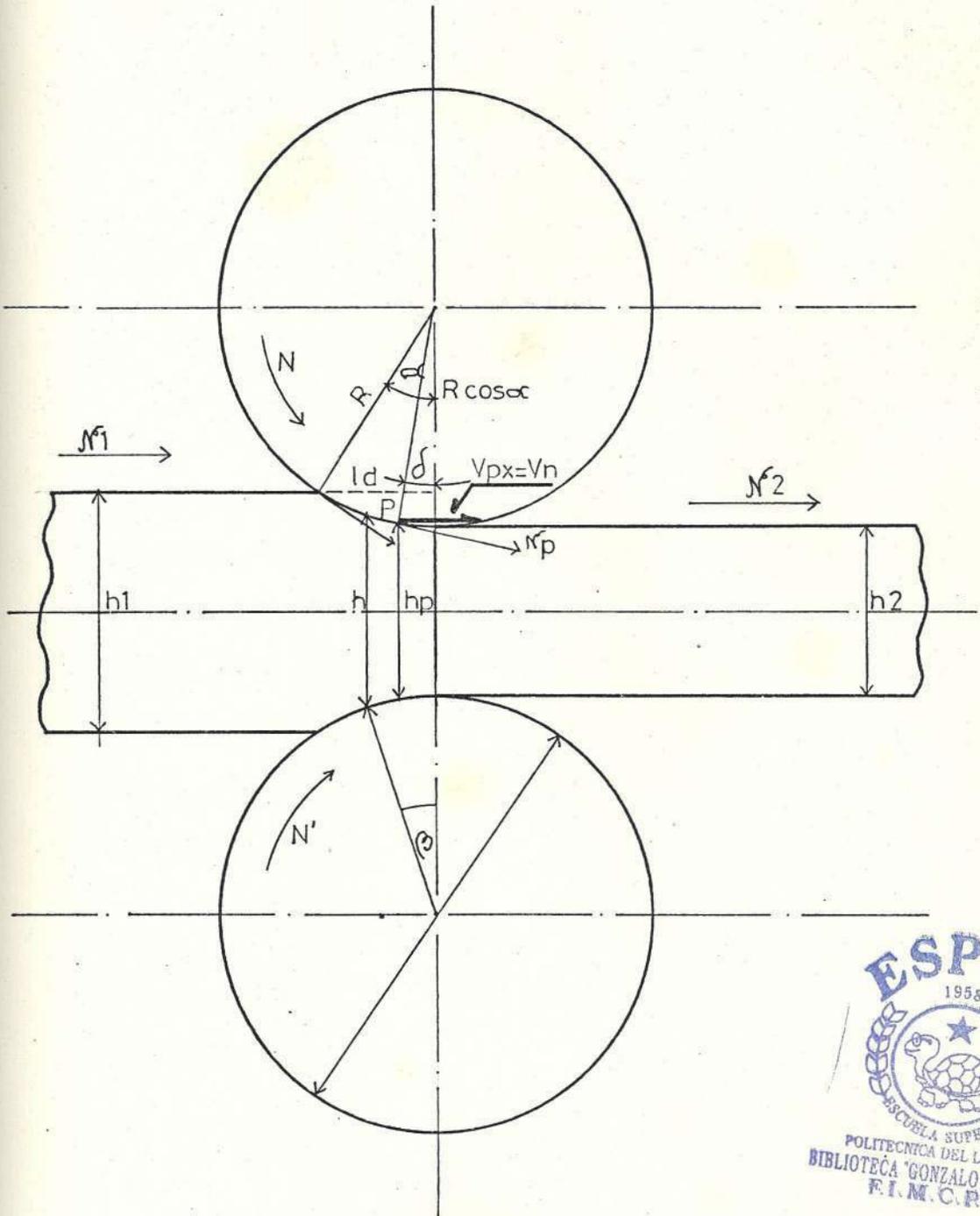


FIG. 1:8

Fig. 1.8 COMPONENTES DE LA VELOCIDAD<sup>(7)</sup>

$v_n$ : velocidad del material laminado en el punto neutro

$v_p$ : velocidad periférica de los cilindros

$$v_r = \frac{\pi D_t \cdot n}{60} \text{ mts/seg.}$$

$D_t$  : diámetro de trabajo del cilindro

$n$  : número de revoluciones (RPM)

En el punto neutro tenemos otro efecto debido a la fricción. Según la Fig. 1.9, del punto 1 a 2 los rodillos empujan la barra hacia adelante y de 2 a 3 la frenan. El resultado es que el deslizamiento desgasta los rodillos y las fuerzas se distribuirán tal como se indica en la misma figura.

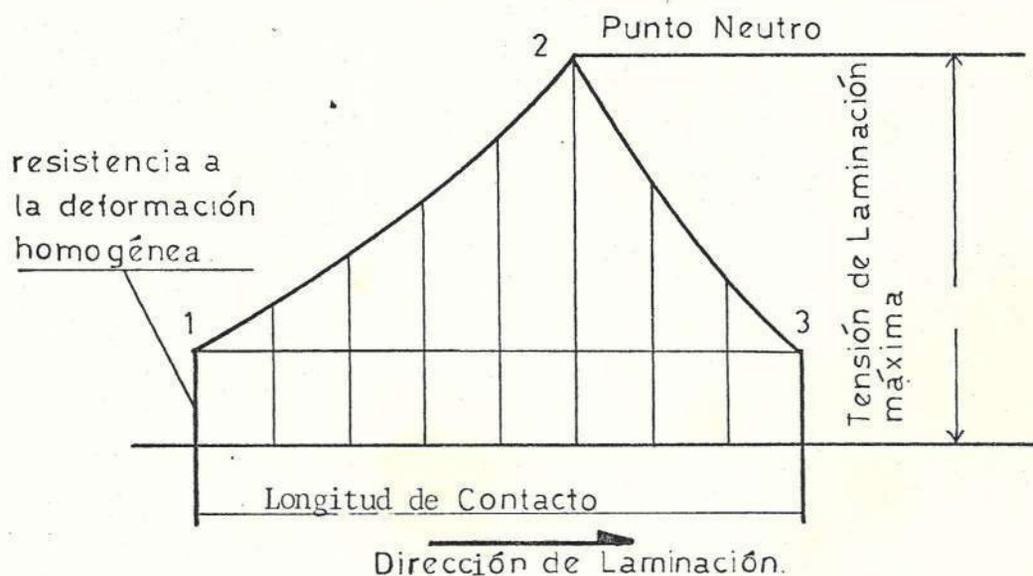


FIG. 1:9

Fig. 1.9 PUNTOS DE CONTACTO MATERIAL-CILINDRO

Según la nomenclatura inicial,  $v_1$  es la velocidad de entrada del material, y  $v_2$  la velocidad de salida en m/s. Como la velocidad del material y la componente horizontal de la velocidad periférica de los cilindros son iguales sólo en el punto neutro, en cualquier otro punto tendremos un deslizamiento entre el material laminado y los cilindros. Pasando dicho punto, la velocidad del material es mayor que la componente horizontal periférica de los cilindros. Esta diferencia de velocidades se conoce como deslizamiento hacia adelante, cuya expresión representativa es :

$$S_f = \frac{v_2 - v_1}{v_1}$$

como porcentaje :

$$S_f = \frac{v_2 - v_1}{v_1} \times 100$$

como coeficiente :

$$S_f = \frac{v_2}{v_1}$$

Al ingresar el material en la zona de deformación se produce una diferencia entre la velocidad de entrada del material relativa a la componente horizontal de

la velocidad periférica de los cilindros. Es decir, que la velocidad de entrada del material,  $v_1$ , es menor que la componente horizontal periférica de los cilindros,  $v_p$ . Similar al caso anterior, este efecto se lo conoce como deslizamiento hacia atrás, y su expresión es :

$$S_b = \frac{v_p \cos\alpha - v_1}{v_p \cos\alpha}$$

En el caso de laminar secciones simétricas, como óvalos, redondos, etc., en que pueden ser calculadas directamente las alturas medias, la velocidad se determina por un método modificado sustituyendo el término de velocidad periférica media de cilindros <sup>(7)</sup>.

$$v_{pm} = \frac{\pi D_{mt} \cdot n}{60}$$

donde :

$D_{mt}$  : Diámetro medio del cilindro de trabajo

$$D_{mt} = D_c - h_{2m}$$

$D_c$  = Diámetro teórico de cilindros, que es la distancia entre ejes de cilindros más la luz o entrehierro ( $e$ ).

$h_{2m}$  = altura media de salida

$D_c$ , se lo calcula a partir de los diámetros de cilindros  $D_{r1}$  y  $D_{r2}$  :

$$D_c = \frac{D_{r1}}{2} + \frac{D_{r2}}{2} + e$$

reemplazando :

$$D_{mt} = D_{r1} + e - h_{2m}$$

Conociendo los valores de los coeficientes de reducción de altura y ensanchamiento, podemos calcular  $v_{1m}$ :

$$v_{1m} = v_n \cdot \gamma_n \cdot \beta_n$$

para luego calcular  $v_{2m}$  :

$$v_{2m} = \lambda v_{1m}$$

Por lo tanto, podemos hacer el cálculo del coeficiente de deslizamiento hacia adelante.

$$S_{fm} = \frac{v_{2m}}{v_{1m}}$$

Se definen términos anteriores :

$v_n$  : Velocidad del material en el punto neutro

$\gamma_n$  : Coeficiente de reducción de altura en el punto neutro

$\beta_n$  : Coeficiente de ensanchamiento en el punto neutro

$\lambda$  : Coeficiente de alargamiento

$\mu_{fm}$  : Coeficiente de deslizamiento medio hacia adelante

## 1.7 ESFUERZOS MECANICOS EN LOS CILINDROS DE LAMINACION

Cuando se presentan las necesidades de realizar cambios en las calidades de los cilindros, se hace necesario conocer la magnitud de los esfuerzos.

Los cilindros laminadores en un tren están expuestos a esfuerzos de tensión, compresión y cortantes, pero generalmente los niveles que alcanzan estos esfuerzos están contemplados dentro de la resistencia del material constituyente de los cilindros<sup>(4)</sup>.

Al comparar los esfuerzos calculados con la resistencia del material de los cilindros, es recomendable multiplicar por un factor de seguridad de 3 para prevenir cargas elevadas, roturas de cilindros por calentamiento, shock térmico por calentamiento y enfria



miento bruscos, laminación de material con baja temperatura, etc.

El método de cálculo de los esfuerzos es como sigue:

Se usa la siguiente simbología :

$M$  = Momento de flexión

$T$  = Momento torsor

$I$  = Momento de inercia

$P$  = Fuerza de laminación



La Fig. 1.10, nos muestra las fuerzas aplicadas en nuestro modelo.

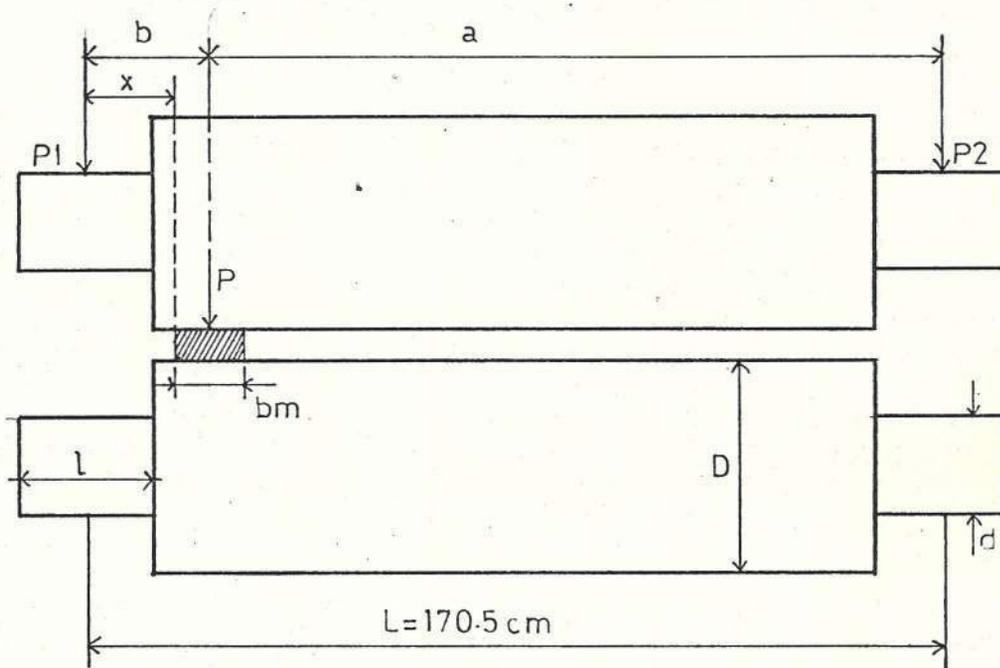


FIG 1:10

Fig. 1.10 DIAGRAMA DE EQUILIBRIO PRIMERA PASADA DEL DESBASTE<sup>(5)</sup>

ESFUERZOS PRODUCIDOS A LO LARGO DE LA TABLA DEL CILINDRO.

- ESFUERZO DE FLEXION.- Alcanza su valor máximo en la superficie de la tabla y viene dado por :

$$\sigma_n = \frac{M \cdot D/2}{I}$$

Donde :

$$I = \frac{\pi D^4}{64}$$

Reemplazando tenemos :

$$\sigma_n = \frac{M}{0.1 D^3}$$

Para calcular el momento de flexión (M), partimos de que la fuerza de laminación puede estar concentrada en un punto, pero se encuentra distribuida a lo largo de un ancho  $b_m$ , de tal forma que el momento de flexión en cualquier punto de la tabla del cilindro a una distancia  $x$  del punto de la fuerza de reacción del rodamiento,  $P_1$ , viene dado por :

$$M = \frac{P \cdot x}{2} - \frac{P}{2b} \left[ x - \frac{L-b}{2} \right]^2 \quad (16)$$

Si  $x$  es menor que  $L-b/2$ , el segundo término se

desprecia. El momento de flexión quedaría :

$$M = \frac{P \cdot x}{2}$$

- ESFUERZO CORTANTE DE TORSION.- Al igual que el esfuerzo de flexión, el esfuerzo cortante también alcanza su valor máximo en la superficie del cilindro, y su expresión es :

$$\tau = \frac{T \cdot D/2}{I_p}$$

Donde :

$$I_p = \frac{\pi D^4}{32} \quad (\text{eje macizo})$$

$T = \text{momento torsor} = 71.600 \times \text{Potencia/RPM}$   
(caballos de vapor)

$I_p = \text{momento polar de inercia}$

Reemplazando :

$$\tau = \frac{16 \cdot T}{\pi D^3} = \frac{2T}{\pi r^3}$$

- ESFUERZO COMBINADO.- Cuando un cilindro está expuesto a esfuerzos de flexión y torsión, el esfuerzo total en cualquier punto no es solamente la suma

de los valores de los dos esfuerzos, sino que para obtener un esfuerzo real de trabajo se debe calcular un torque equivalente según la siguiente expresión:

$$T_e = M + \sqrt{M^2 + T^2}$$

Para lo cual, los valores de M y T son referidos a los mencionados anteriormente y así el esfuerzo de corte debido al torque equivalente será :

$$\sigma_{\tau} = \frac{16 \cdot T_e}{\pi D^3}$$

- ESFUERZOS PRODUCIDOS EN EL CUELLO DEL CILINDRO.-

Los esfuerzos en el cuello se calculan en forma similar a los producidos en la tabla del cilindro, con la variación de que en lugar del diámetro de tabla D, se usa el diámetro de cuello d.

Para calcular los esfuerzos en los cuellos se asume de que la carga está localizada en la mitad de la longitud del rodamiento y por lo tanto, el momento de flexión viene dado por :

$$M = P \cdot \frac{l}{2}$$

l = longitud del rodamiento



Si las cargas no se producen en la mitad de la tabla del cilindro, pues los cuellos no son cargados igualmente, y las cargas de los rodamientos P1 y P2, pueden ser obtenidas por las siguientes expresiones:

$$P1 = \frac{P.b}{L}$$

$$P2 = \frac{P.a}{L}$$

- CONCENTRACION DE ESFUERZOS.- La concentración de es fuerzos se produce a causa del radio del cu ello, cu ya magnitud depende de la relación de diámetros de cuello y tabla, y el valor del mismo radio. En la Fig. 1.11, se presentan curvas para obtener el factor relevante de esfuerzos.

Para cilindros de hierro fundido se debe aplicar una tercera parte del factor, mientras que para cilindros de acero fundido se aplicará toda la magnitud del factor.

De modo que, el verdadero valor en el radio del cu ello se obtendrá al multiplicar el esfuerzo calculado en el cuello por el factor.

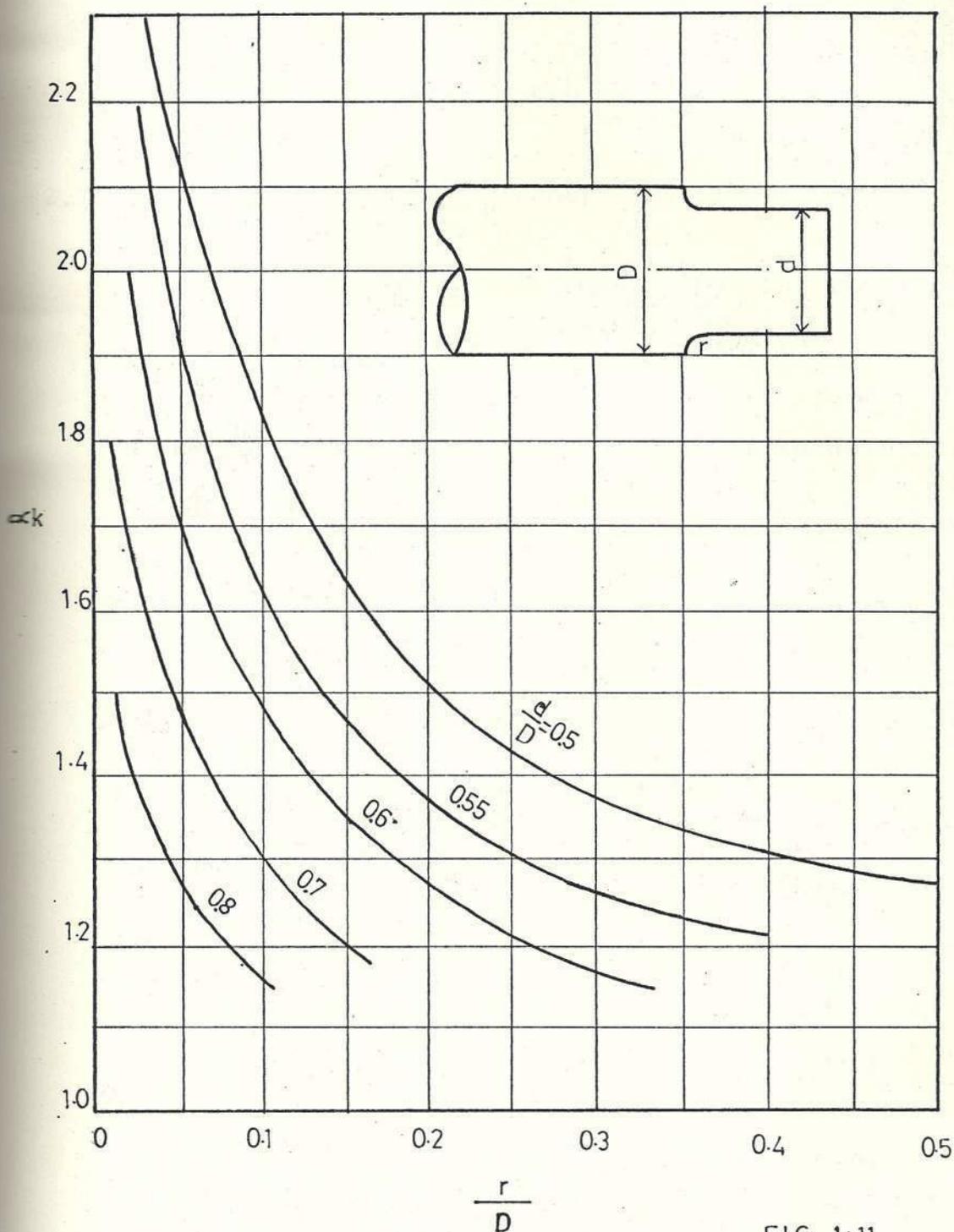


FIG 1:11

Fig. 1.11 FACTOR RELEVANTE DE ESFUERZO<sup>(5)</sup>

## CAPITULO II

### FABRICACION DEL ALAMBRON



#### 2.1 EL ALAMBRON Y SUS APLICACIONES

Alambrón es el producto de sección maciza, laminado en caliente; apto para ser transformado en alambre por trefilado, de diámetro no inferior a 5.5 mm. El alambrón no debe confundirse con los laminados comerciales suministrados en rollos y destinados a usos distintos a los señalados<sup>(11)</sup>.

El alambrón más utilizado es aquel cuyo diámetro varía entre 5.5 y 6.35 mm. reducido por trefilado al rango comprendido entre 0.5 y 4.19 mm.

El alambrón se produce generalmente partiendo de dos tipos de palanquilla, una efervescente y otra calmada.

La palanquilla usada en el primer caso se obtiene con un recubrimiento cerámico, el mismo que por encontrarse aislada del aire impide la formación de óxidos, evitando el desgaste por abrasión en las boquillas, permitiendo al mismo tiempo trefilar hasta 0.5 mm sin ningún tratamiento térmico previo.

El alambrón que se produce con palanquilla calmada se obtiene agregando durante el proceso de fabricación un alambre de aluminio en la colada, esto es posible gracias a la lingotera abierta y una velocidad baja de colado. Este material permite trefilar máximo hasta 2.10 mm sin tratamiento previo; por debajo de ese diámetro se debe recocer hasta 720°C durante 3 horas en cámara inerte usando gas noble argón para evitar la oxidación superficial.

A continuación se presenta una lista del producto obtenido y el rango comercial más utilizado.

PRODUCTO OBTENIDO	RANGO COMERCIAL (mm)
a) Alambre	4.19 - 1.24
b) Alambre galvanizado Su uso para alambre de púas rango más solicitado de 2.59 a 1.65 mm.	5.16 - 0.50
c) Alambre recocido principalmente para amarres en 1.18 mm.	4.19 - 1.24
d) Gran variedad de clavos	4.19 - 1.24
e) Grapas galvanizadas para el alambre	3.76



- f) Resortes 3.40 - 1.40
- g) Mallas para cerramientos, si se usa la variedad plastificado se destina a gaviones (2.30 mm.), púa y cerramiento. De lo contrario se destina a la variedad tripllegalvanizado. 4.20 - 1.20
- h) Material de oficina tales como :  
grapas, clips, espirales. 1.24 - 0.50
- i) Armadores para la ropa, el mismo que se parte de 8 mm. 2.3
- j) Grapas planas destinadas a la industria del cartón. 1.25
- k) Alambre grafilado para luego producir varillas, el mismo que se parte de 8 u 11 mm. 4.19 - 1.24
- l) Clavos para cemento y para techos de vivienda.
- m) Para electrodos de soldadura se usa alambón desde 11 mm. hasta 5.5 mm.
- n) Otros



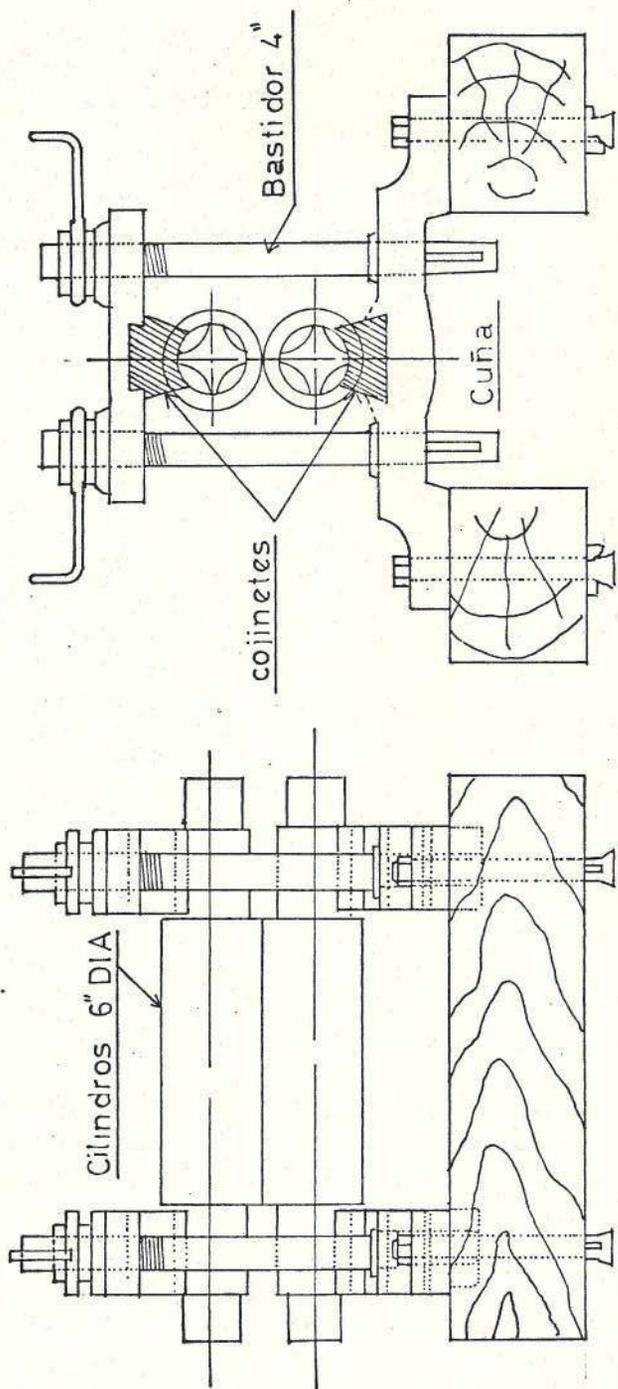
## 2.2 EVOLUCION DE LOS TRENES LAMINADORES DE BARRAS Y ALAMBONES.

En 1445 con Leonardo Da Vinci se inicia las primeras experiencias en laminación, el cual lo hizo con un tren manual. Posteriormente se incursionó en el accionamiento por medio de engranajes apareciendo por vez primera cilindros acanalados para dar forma al material.

Alrededor de 1790 aparece prácticamente el primer tren laminador (Fig. 2.1), el cual producía barras, planchuelas o platinas, y herraduras, más adelante por el año 1820 apareció la producción de ángulos y rieles en gran escala así como también vigas estructurales por el año 1848.

Nos acercamos al siglo XIX en donde aparecen un grupo de cajas desbastadoras contínuas accionadas por un solo motor y la modalidad del tipo abierto con dos cajas bastidores cada uno.<sup>(13)</sup>

Poco a poco se fueron incorporando motores independientes a cada caja horizontal, con el objeto de evitar laminar con tensión o estiramiento entre caja y caja. Los cojinetes originalmente de bronce, magnolia y madera fueron cayendo en desuso por el de fi



ELEVACION FRONTAL

ELEVACION LATERAL

FIG 2:1

Fig. 2.1 DISEÑO DE UNO DE LOS PRIMEROS TRENES LAMINADORES (13)

bra fenólica. Los acoplamientos tipos chocolatera fueron reemplazados por acoplamientos cardánicos. De los trenes que fueron puestos en marcha alcanzaron una producción máxima de 50 ton/hora y mínima de 15 ton/hora de alambón de 5.5 mm.

A partir de 1950-55 se hizo más común la tendencia a independizar el laminado de barras del de alambón con lo cual se consiguió :

- Mayores volúmenes productivos
- Mejor calidad del producto terminado
- Mayor economía del proceso

Además se implantaron nuevas mejoras con la regulación de bucles tanto horizontal como vertical, mediante fotocélulas asegurando una operación más eficiente y por ende eliminación gradual del factor humano en el control de velocidades, lo que alcanzaron a obtener alambón de 5.5 mm. a unos 30 mts/seg. Posteriormente se trabajó en diferentes refinamientos electromecánicos para producir rollos de alambón más grandes a mayor velocidad con mejor calidad y eficiencia.

En el año 1956, la firma MORGAN CONSTRUCTION COMPANY, instalada en la "American Steel and Wire" de Cuyahora

EEUU, construyó un tren que marcó un hito en el desarrollo de laminación de alambres. Entrando con palanquillas de 83 x 83 mm. y 10 mts. de largo, produce bobinas de 550 Kgs. de peso a 45-46 mts/seg. Llega a laminar como rutina 400 toneladas por turno (30000-35000 toneladas por mes).

En 1963, Morgan nuevamente instala en Cockerill-Ougree de Bélgica un tren aún más evolucionado que el anterior.

Entrando con palanquilla de 80 x 80 mm., 12 mts. de longitud, produce bobinas de 630 Kgs. de peso a 36-40 mts/seg. en 25 pasadas a dos hilos, dos terminadores de 8 cajas cada uno. Este tren, en cierto modo, marca el fin de una época ya que Morgan, trataba la combinación "NO TWIST" - STELMOR, que revolucionaría el laminado del alambrón.

La disposición "NO TWIST", que consiste en la ubicación en tandem de 6 a 10 unidades laminadoras dúos de pequeños diámetros, montadas con sus líneas ejes a 90° unas de otras, y todas ellas a 45° con respecto a la horizontal, no es nueva ya que había sido usada en forma intermitente desde muchos años atrás por los laminadores de metales no ferrosos. Con respecto al

proceso Stelmor (desarrollada en forma conjunta por las casas Steel Company of Canada, y Morgan, de allí su nombre) consiste en arrojar el alambrón emergente del tren no a una bobinadora en forma directa, sino a un tapíz o cinta metálica móvil en donde las espiras desarrolladas son enfriadas mediante la acción de grandes ventiladores ubicados por debajo.

El sistema "No Twist", al usar anillo en voladizo de pequeño diámetro y altísima dureza (el material constituyente es carburo de tungsteno) permite laminar con reducciones porcentuales relativamente elevadas y ensanchamiento pequeño, lo cual posibilita la operación a altas velocidades y con un solo comando para todas las cajas, sin que por ello exista exagerada tensión (tiro) entre caja y caja.

### 2.3 LAMINADOR CONVENCIONAL COMO TREN INTERMEDIO

El tren de laminación utilizado para la presente investigación se inició, produciendo únicamente barras de acero para la construcción de hormigón armado y actualmente produce también alambrón para trefilación.

Por esta razón, el tren antiguo o convencional que era terminador para los productos existentes en esa é-

poca, pasa a ser tren intermedio para laminar alambón.<sup>(16)</sup>

Se lamina tres tipos de acero que corresponde a la designación SAE 1008, 1030 y 1040 con una capacidad de producción de 140000 ton/año.

El proceso de laminación se inicia con el calentamiento de la palanquilla en un horno, cuya capacidad es de 27 ton/hora y un ancho utilizable de 4 mts., esto es, se podrá trabajar con palanquilla cuyo largo máximo es 4 mts. Según el producto que se desee obtener se dimensionará la palanquilla desde 1.80 hasta 4 mts. En este período de calentamiento el material alcanza la temperatura deseada de laminación, la misma que oscila entre 1100 y 1250 grados centígrados.

Una vez obtenida la temperatura deseada, la palanquilla es sometida a las primeras cinco reducciones, según Fig. 1.4, las mismas que son fuertes y se las efectúa en el tren desbastador preparándolas para seguir laminando en el tren de perfiles propiamente dicho.

Al salir la barra de este proceso de desbaste, su punta y cola son cortadas debido a que se producen aberturas, las mismas que pueden originar problemas en su paso por el tren de perfiles.

El tren intermedio está compuesto de dos partes: una de tipo abierto que consta de seis cajas, en donde la barra es doblada al pasar de una caja a otra por medio de repetidoras o dobladoras; y otra, de tipo continuo, constituida por cuatro cajas en línea.

Luego de la décima caja se encuentra ubicada una cizalla tipo volante, la misma que corta la barra a dimensiones comerciales en caso de producir varillas.

#### 2.4 TREN TERMINADOR DE ALTA VELOCIDAD

El tren terminador de alta velocidad es un monobloque continuo de 8 cajas ubicadas alternativamente a  $90^\circ$  entre sí y en  $45^\circ$  con la horizontal, con lo que el proceso se lleva a cabo sin torsión.<sup>(12)</sup>

El tren se aplica a la laminación de alambón de acero al carbono o aleado, de superficie lisa o corrugada.

El tren puede ser constituido por cajas con anillos de laminación de 210 ó 175 mm. de diámetro y el número total de cajas varía en función del tipo de acero por laminar y del producto que se quiere conseguir.

La disposición especial de las cajas del tren ofrece al operador la posibilidad de acceso fácil a los anillos de laminación y al herramental, como también facilita la salida de agua y cascarilla.

La línea de laminación está fija debido a que la regulación de los anillos tienen lugar de modo simétrico. La maniobrabilidad de las cajas de laminación es tal que pueden quitarse fácilmente e intercambiarse.

La estructura del accionamiento de la caja está dotada de amplios portillos que permiten una fácil inspección y mantención de los engranajes.

#### 2.4.1 PARTES COMPONENTES DEL TREN

##### 2.4.1.1 CAJA DE LAMINACION

La caja de laminación es la parte más expuesta a sobrecargas y necesita inspecciones y controles periódicos de los rodamientos.

Los mandriles ruedan en cojinetes especiales de roce, y todo eventual empuje axial debido a la laminación está soportado por cojinetes oblicuos de bolas.



Para proteger a la máquina contra eventuales infiltraciones de agua y de cascarrilla, existen retenedores dotados de empaquetaduras especiales. Pistones hidráulicos ubicados entre los soportes de los mandriles eliminan todos los juegos del dispositivo de regulación.

Estos tipos de regulación se han aplicado para poder ajustar la abertura o el cierre de los anillos de laminación.

Estas cajas son accionadas por un engranaje intermedio común (multiplicador) y dos ejes de accionamiento uno para cajas horizontales y el otro para las verticales. Pueden proveerse dos tipos de accionamiento de la caja, a saber :

- Accionamiento lento
- Accionamiento veloz

Las cajas verticales montadas con pases redondos poseen accionamiento veloz, y las horizontales montadas con pases ovalados poseen accionamiento lento. Esto se debe a que las reducciones con redon-

dos son siempre menores que con óvalos y para poder descargar el material que queda atrás de los redondos, éstos deben girar a más velocidad.

El multiplicador principal de mando tiene la tarea de transmitir el movimiento entre los motores y las dos transmisiones del tren repartiendo la potencia a las dos velocidades. Por otro lado, en los mandriles se utiliza cojinetes de roce que, con el auxilio de un engrase hidráulico, soportan las cargas de laminación.

#### 2.4.1.2 ANILLOS DE LAMINACION

Grandes adelantos se ha logrado en los últimos tiempos, en lo referente a rodillos y anillos de laminación. En cuanto a éstos, el uso de anillos de carburo de tungsteno es hoy el más generalizado.

Estos dispositivos vienen en diferentes tamaños, dependiendo del tipo de tren que se vaya a utilizar y por ende del producto final que se trata de obtener.

Así mismo, existen diferentes calidades dadas por la composición química y dureza, y su uso en diferentes aplicaciones. Por ejemplo, una casa fabricante de anillos ofrece 3 calidades diferentes (véase Tabla 2.1).

A continuación se presenta datos estimativos del tonelaje que se aconseja sacar a cada pasada para laminar 5.5 mm en el tren convencional y en el tren de alta velocidad :

	} Tren desbastador	} 5 <sup>ta</sup> pasada: 2.500 ton.
Rodillos Convencionales		
	Caja 3 y 4: 900 ton.	
	Caja 5,6,7,8: 600 ton.	
	Caja 9 y 10: 300 ton.	
Anillos del Tren Morgan	} Tren terminador	Caja 1 y 2: 1200 ton.
		Caja 3,4,5,6: 900 ton.
		Caja 7 y 8 : 300 ton.

Con estos datos se considera ventajoso cambiar los anillos periódicamente para rectificarlos. Así se puede mantener una tolerancia constante del diámetro de los anillos del bloque, lo que ofrece u-

CALIDAD	COMPOSICION	DUREZA HV	CARACTERISTICAS Y/O USOS
1	13.5% Cobalto WC	1050	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta resistencia al desgaste</li> <li>- Tenacidad suficiente</li> <li>- Trabajable por amolado</li> </ul>
2	22.5% Cobalto WC	850	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mayor tenacidad que calidad</li> <li>- Alta resistencia al desgaste</li> <li>- Mayor precio que calidad</li> <li>- Menor susceptibilidad al agrietamiento que calidad</li> <li>- Trabajable por amolado</li> </ul>
3	30% Cobalto WC	700	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Resistencia al desgaste menor</li> <li>- Resistente a los choques térmicos</li> <li>- Trabajable con herramientas de carburo simple</li> <li>- Utilizada para laminar corrugados</li> </ul>

TABLA 2.1 CARACTERISTICAS DE LOS ANILLOS DE CARBURO DE TUNGSTENO <sup>(8)</sup>

na mejor seguridad para que el bloque trabaje sin tensión ni presión. Esto es muy importante para poder laminar sin problemas.

FACTORES QUE AFECTAN A LA VIDA DE LOS ANILLOS DE CARBURO.- Los cilindros trabajan bajo sollicitaciones mecánicas que actúan conjuntamente trayendo como consecuencia la destrucción de la superficie de los canales y causando roturas.<sup>(8)</sup>

Es de suma importancia que dichos factores sean bien identificados y conocidos para poderlos contrarrestar y tomar las medidas pertinentes, lo que conseguimos mejorando las condiciones de laminación.

Los principales factores son los siguientes :

Grietas { - iniciadas en el interior  
- iniciadas en la superficie  
- térmicas  
- por fatiga

Desgaste { - por fricción  
- por abrasión  
- por corrosión



POLITECNICA DEL LITORAL  
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"  
E. I. M. C. P.

## FACTORES DE SELECCION DE LOS ANILLOS.-

Los siguientes factores deciden los méritos relativos entre diferentes calidades de anillos :

### a) ACABADO DE LA SUPERFICIE DEL ALAMBRE:

Como bien se sabe, todas las plantas tienen departamentos para controlar los productos, los cuales pueden demandar cambios de los cilindros revelando dimensiones o acabados fuera de las normas fijadas.

Naturalmente, las dos últimas cajas tienen la mayor influencia sobre la calidad del alambre, ya que la superficie del mismo depende directamente de la superficie de los canales en estas cajas. El defecto más típico que tiene el alambre en estas cajas es una cierta rudeza proveniente de canales corroídos o desgastados.

Hay otros defectos originados en las primeras cajas debido a que permanecen laminando más tiempo y bajo condi

ciones más adversas que las de las cajas ante-acabadoras y terminadoras, por lo que sus superficies se deteriorán más.

Los defectos se transmiten al alambre. En las siguientes cajas, se lamina sobre los mismos y aparecen como escamas en el alambre acabado. La gravedad de este fallo se detecta después de un tratamiento con ácidos.

Para trenes que laminan redondos con alta demanda en la calidad de superficies es posible inspeccionar los anillos continuamente con sondas de fibra óptica, pero una manera más fácil para resolver este problema es disminuir los tonelajes, lo que hace que la calidad del alambre se mantenga con gran margen.

- b) RENDIMIENTO EN TONELADAS/MM : El tonelaje que es posible laminar por milímetro eliminado, determina el consu

mo de cilindros y por lo tanto el costo directo por tonelada. Para obtener las mejores relaciones tonelada/mm es necesario que el material eliminado en el rectificado sea únicamente el necesario para eliminar las grietas.

- c) TONELADAS POR PUESTO EN CAJA : El tonelaje laminado por puesto antes de quitar los cilindros para el rectificado es vital bajo el punto de vista de la productividad del tren.

Así por ejemplo, para obtener una vida útil moderada de los anillos de carburo de tungsteno se aconseja laminar un tonelaje, según se muestra en la Tabla 2.2.

El tonelaje aprovechable es un valor fluctuante, que depende de la correlación entre el estado de superficie y las roturas en los cilindros de las primeras cajas. En cambio, si se de-

CAJA	REDONDO A PRODUCIRSE		
Nº	5.5 y 6.35 mm.	8 mm.	10 mm.
1	1200 ton	800 ton	800 ton
2	1200 ton	800 ton	800 ton
3	1200 ton	800 ton	400 ton
4	1200 ton	800 ton	400 ton
5	600 ton	400 ton	
6	600 ton	400 ton	
7	300 ton		
8	300 ton		

TABLA 2.2 TONELAJE APROVECHABLE DE LOS ANILLOS DE LAMINACION <sup>(8)</sup>



sea tener garantía de un buen acabado, se obtiene un tonelaje tan bajo que no se produce la deterioración de la superficie del cilindro.

#### 2.4.1.3 ARRASTRADOR HORIZONTAL 310

Como se había manifestado, entre el tren intermedio 280 y el tren laminador 175 se encuentran ubicados el arrastrador 310 y la cizalla volante. Por cualquier tipo de avería que ocurriese en el monobloque, donde la barra se viera de pronto interrumpida en su desplazamiento, se acciona automáticamente la cizalla de disco para proceder a chatarrear la parte de la barra que ha quedado estancada.

Para realizar este proceso de emergencia se necesita obligadamente un arrastrador, el mismo que se encargará de seguir impulsando el material en la línea de laminación (Fig. 2.2).

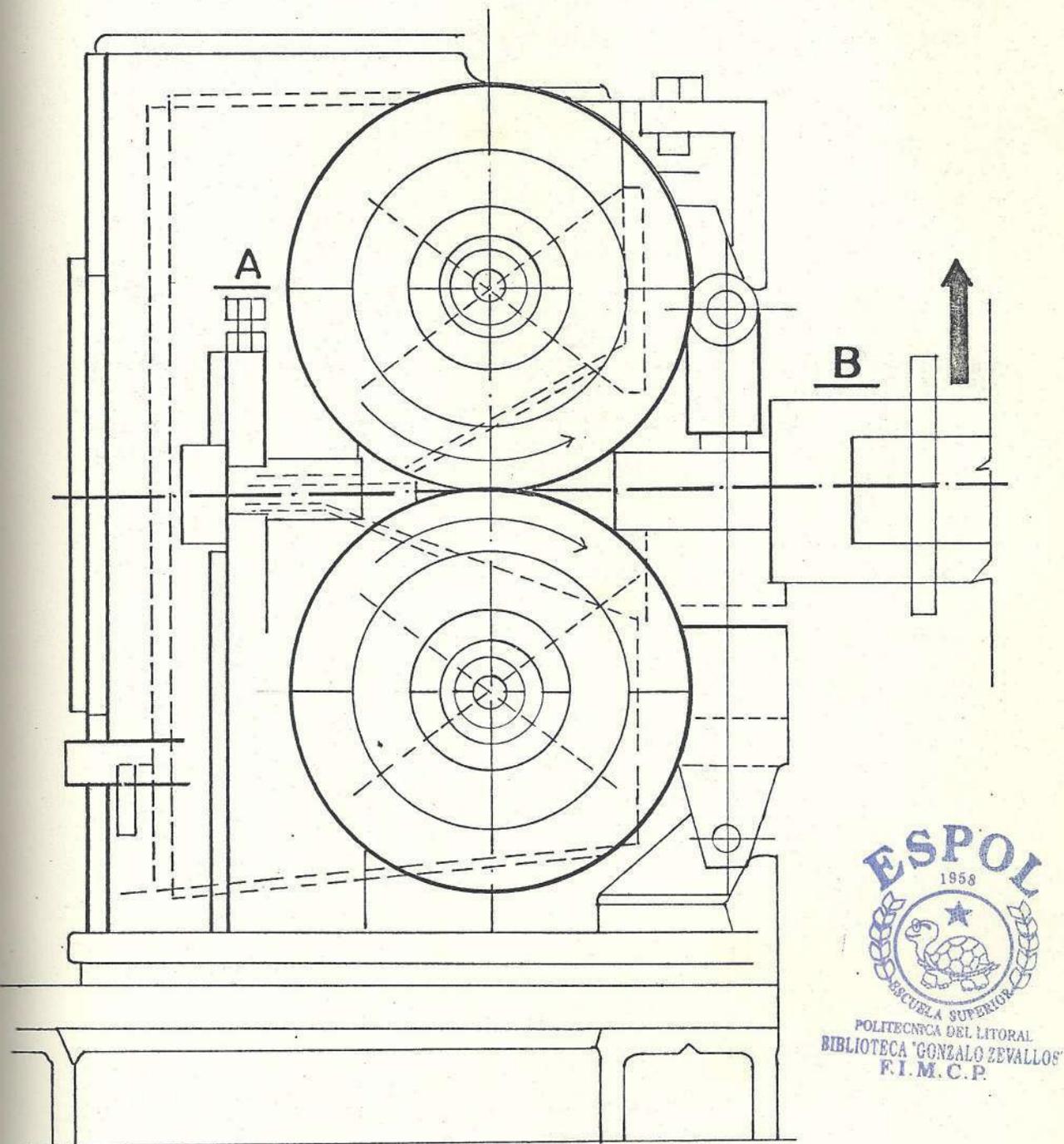


FIG 2:2

Fig. 2.2 ARRASTRADOR HORIZONTAL (12)

El arrastrador desempeña su función con dos rodillos dispuestos en forma horizontal siendo el inferior fijo y el superior móvil.<sup>(12)</sup>

El rodillo móvil es accionado por un brazo mediante un cilindro neumático. La electroválvula que acciona el cilindro neumático lo hace al tiempo del accionamiento de la electro-válvula que mueve el cambiador de posición de la cizalla.

Con el fin de que se produzca un ahorro del material en caso de parada intempestiva se coloca un desviador después de la cizalla volante, el cual puede ser colocado en dos posiciones :

- 1) Hacia la mesa
- 2) Al monobloque

Con esto se logra que el material no sea chatarreado íntegramente.

#### 2.4.1.4 FORMADORES DE BUCLE

Una de las razones que influyen para que

las reducciones de las secuencias no coincidan con el calibrado, es la tensión o tirantez que ocurre entre las cajas de laminación en los trenes continuos.

Este seno que produce el material ocurre en los stand #6 y 8 de la planta de laminación, lo que trae como consecuencia que la cola de la barra al salir del stand #6 haga movimientos bruscos, como látigazos, debido a la tirantez del material.

Si observamos la cola de una barra podremos constatar que sale reventada, esto sucede porque al salir del stand #6 la tensión es diferente que aquella de la barra laminada, lo cual nos revela que la sección y cantidad de masa por unidad de longitud de la cola varía en el resto de la barra. <sup>(12)</sup>

- FUNCIONAMIENTO DEL MECANISMO : La barra se desplaza hacia el monobloque y al llegar a la fotocélula de entrada al arrastrador la activa (final del stand #10, en caso de laminar 5.5 mm.; o para redondos de 6.35, 8, 10, y 12

mm. final del stand #8), ésta envía la señal a las electroválvulas para que accionen los cilindros neumáticos, se levanta el respaldar y se mueve el brazo de expulsión de la barra, dando lugar al inicio de la formación del bucle.

Posteriormente, la rosonda controla y ajusta automáticamente el desarrollo del bucle, este ajuste lo regula con un margen de  $\pm 10\%$  de la velocidad con que giran los motores del stand anterior.

Cuando la cola de la barra pasa lo fotocélula, una señal pone fin a la graduación del bucle y manda el retiro del brazo de expulsión del formador y luego, por efecto de la acción del fin de carrera del brazo parado, un impulso nuevo hace que se recupere el bucle.

Resumiendo podemos manifestar la función que desempeña la formación del seno del material, se traduce en una laminación más precisa, ya que mejora el control del calibrado y por ende, se obtiene un producto termi-

nado de mejores condiciones.

#### 2.4.1.5 CIZALLA DE DISCOS

Una vez que tenemos el selector en automático, la velocidad del arrastrador está en función de la velocidad del motor de la caja #10, después de esta caja se encuentra la cizalla, cuya función es cortar y desviar el material atascado. La misma que consta de dos pares de discos inclinados en la línea de laminación y de un par de cuchillas rectas rotativas que sirven para chatarrear (Fig. 2.3).

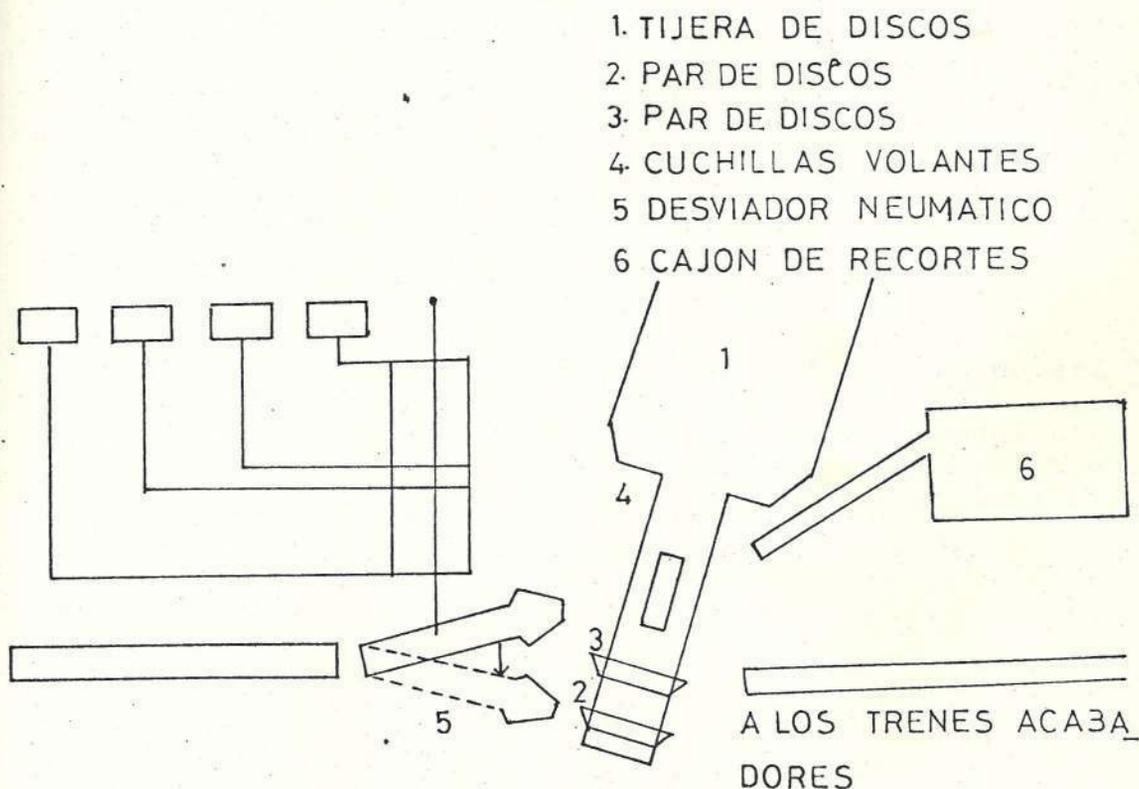


FIG. 2:3

Fig. 2.3 POSICIONES DE LA CIZALLA DE DISCOS <sup>(12)</sup>

Al llegar la punta de la barra, la fotocélula ubicada antes de la tijera se activa y acciona por medio de un regulador de tiempo las electroválvulas, las que por actuar en un desviador mueven la barra a través del primer par de discos, ejecutando así el corte de la punta<sup>(12)</sup>.

Al final de la barra la fotocélula se desactiva y acciona mediante otra señal las electroválvulas, las que por actuar otra vez sobre el desviador lleva la barra a través del segundo par de discos, efectuándose así el despunte de la cola.

Tras el corte, la tercera señal desactiva todas las electroválvulas y vuelve a colocar el desviador en su posición de partida.

El mando de chatarreo automático deberá recibir además, la señal correspondiente cuando exista problemas de naturaleza hidráulica y eléctrica.

#### 2.4.1.6 ARRASTRADOR HORIZONTAL 260

La velocidad del arrastrador está en fun

ción de la velocidad de la caja acabadora pre-seleccionada<sup>(12)</sup>.

Al llegar la punta de la barra la fotocélula colocada en la parte de abajo del monobloque manda el comienzo de un conteo de impulsos emitidos por el generador. Cuando los impulsos contabilizados han alcanzado el número antes fijado, se encarga el planeador de excitar las electroválvulas que cierran los rodillos del arrastrador impulsando el material hacia la bobinadora.

#### 2.4.1.7 BOBINADORA

Una vez que el material sale de la última caja pasa por el sistema de enfriamiento controlado por agua, luego el arrastrador horizontal 260 y a continuación la bobinadora, la misma que se encarga de reunir el material en forma de espiras, cuya velocidad máxima prevista de trabajo es 65 m/s y una velocidad mínima de 17 m/s. El diámetro de espiras formadas es de 1095 mm (véase Fig. 2.4).

Tanto el arrastrador como la bobinadora están comandados por motores individuales, los cuales reciben señales de una fotocélula<sup>(12)</sup>.

#### 2.4.1.8 DISPOSITIVO FORMADOR DE ROLLOS

Comprende los siguientes equipos :

- Prensador de espiras
- Ménsulas
- Formador de rollos
- Canasto portarollos
- Empujador de rollos
- Placa corrediza

El rodillo presionador de espiras descarga horizontalmente en el canasto portador de rollos, el mismo que tiene en su parte central un tambor cónico. Alrededor de éste se van acumulando una a una las espiras al tiempo que se mantienen cerradas las tres ménsulas laterales accionadas por cilindros neumáticos. Luego se abren las ménsulas y cae el rollo (véase Fig. 2.5).

Cuando se completa cada rollo se cierran

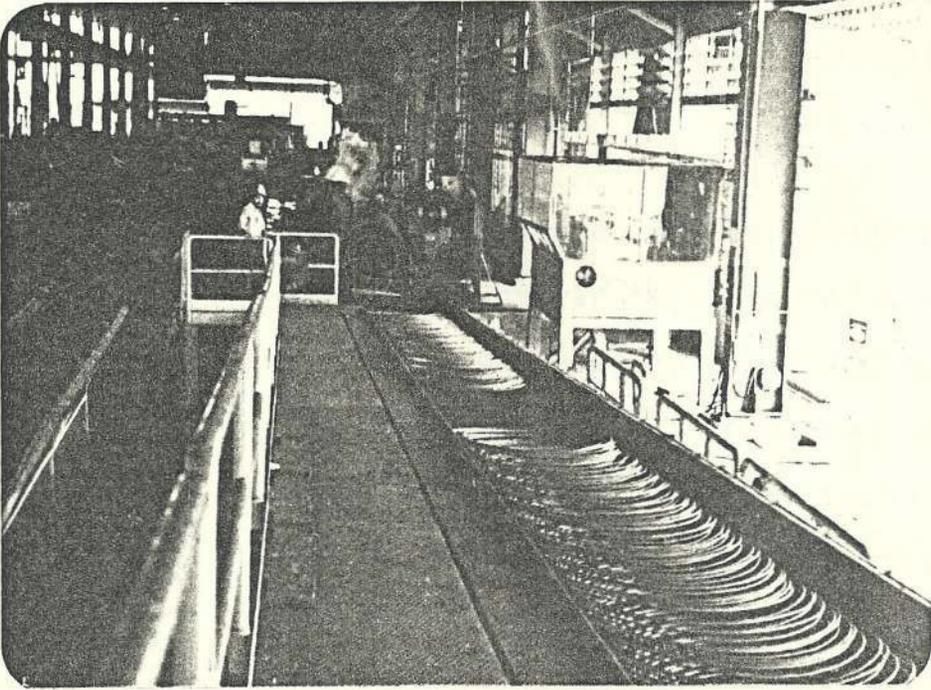


Fig. 2.4 BOBINADORA DE ESPIRAS  
(Autorizado por ANDEC 1985)

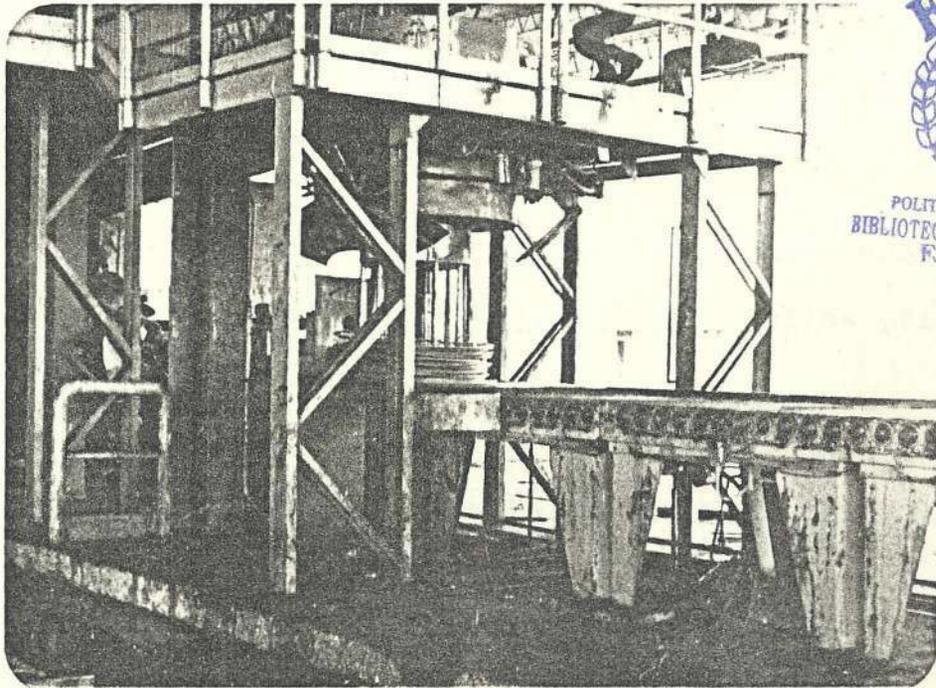


Fig. 2.5 DISPOSITIVO FORMADOR DE ROLLOS

automáticamente las ménsulas y descargan los cilindros neumáticos para bajar el grupo sostenedor<sup>(12)</sup>.

Luego es accionado el empujador de rollos para moverlo hasta una mesa transportadora donde el rollo será atado y pesado automáticamente. Mientras se está empujando el material, otro rollo está siendo formado en el canasto portador de rollos.

Cabe destacar que, mientras trabaja el empujador de rollos y se está formando al mismo tiempo otro rollo, las ménsulas mantienen centrado el tambor cónico y al mismo tiempo soportan el peso del rollo y del tambor.

La última etapa del tren comprende el atado y evacuación de los rollos (Fig. 2.6 y 2.7).

#### 2.4.2 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO "STELMOR" CONTROLADO POR AGUA Y AIRE.

Las múltiples aplicaciones de los aceros laminados en la industria exigen que se obtengan

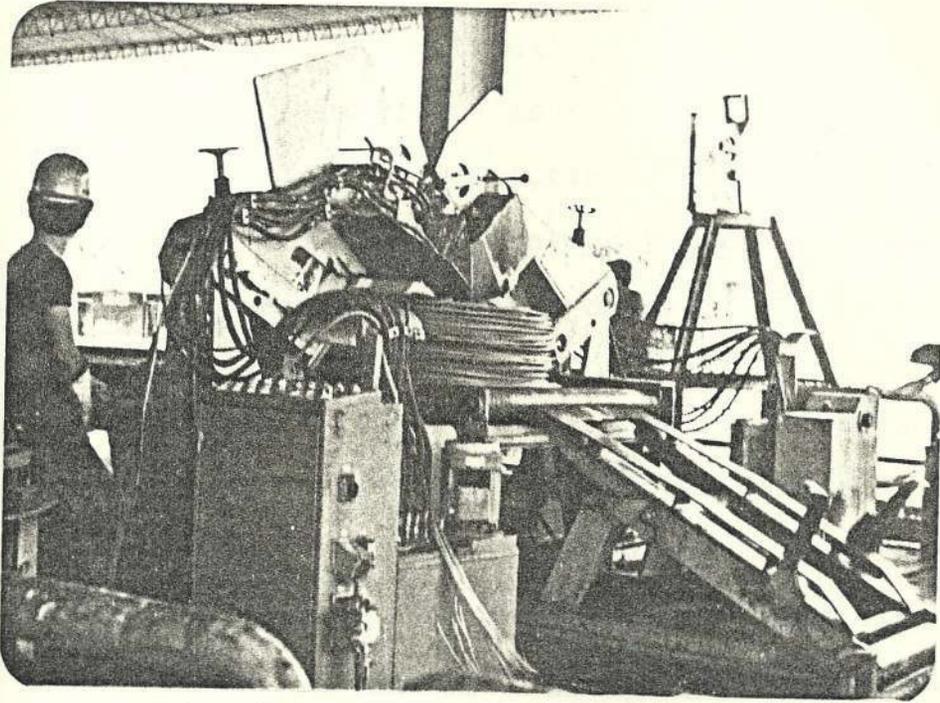


Fig. 2.6 ATADORAS DE ALAMBRON

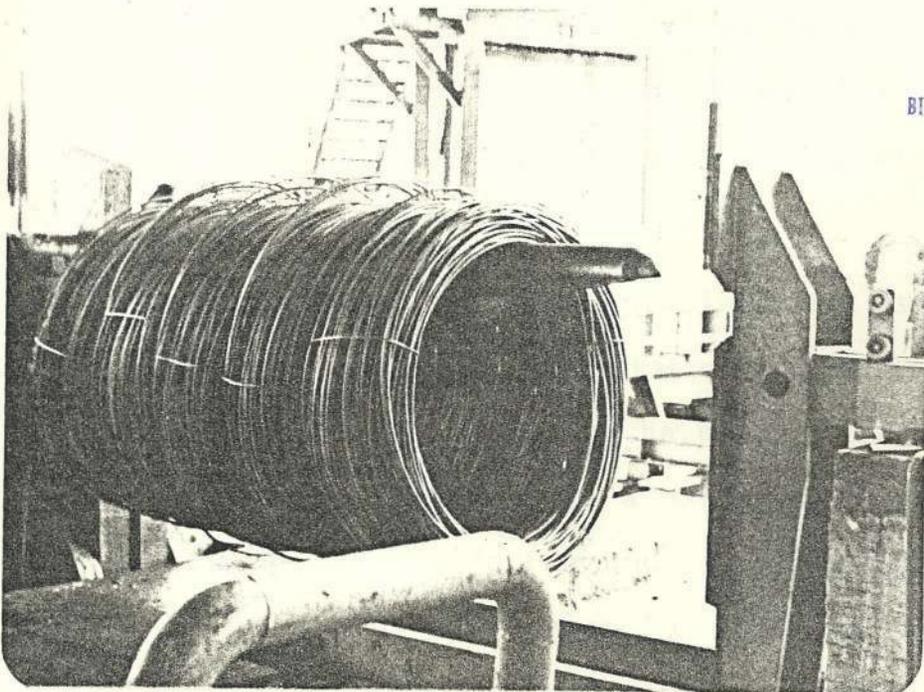


Fig. 2.7 SISTEMA EVACUADOR DE ROLLOS

directamente del laminador (tren de laminación) productos de alta calidad, entendiéndose por ello tolerancias dimensionales mínimas, calidades superficiales aceptables y condiciones favorables para trefilación, con lo cual obtenemos las propiedades mecánicas deseadas <sup>(12)</sup>.

En trenes continuos de alta velocidad se necesita un mayor calentamiento por unidad de tiempo y una mayor temperatura de bobinado (formación de espiras), lo cual implica una pérdida considerable de material por oxidación que, cuando es profunda, produce superficies bastas del producto si se bobina el alambrón sin enfriamiento previo. El enfriamiento total se realizaría en el rollo ya formado lo cual produce :

- 1) Un elevado porcentaje de oxidación; y
- 2) Un enfriamiento más rápido de las espiras externas que las internas.

Esto da una diferencia apreciable del espesor de la capa de óxido y de la estructura del material. Ante estos problemas, se ha desarrollado nuevos métodos de enfriamiento a partir de la temperatura de laminación (ver Fig.2.4 y 2.8), consiguiendo favorablemente lograr los siguientes propósitos:

- 1) Controlar la estructura cristalina del material para aumentar las condiciones de trefilabilidad (tenacidad y ductilidad) <sup>(10)</sup>.

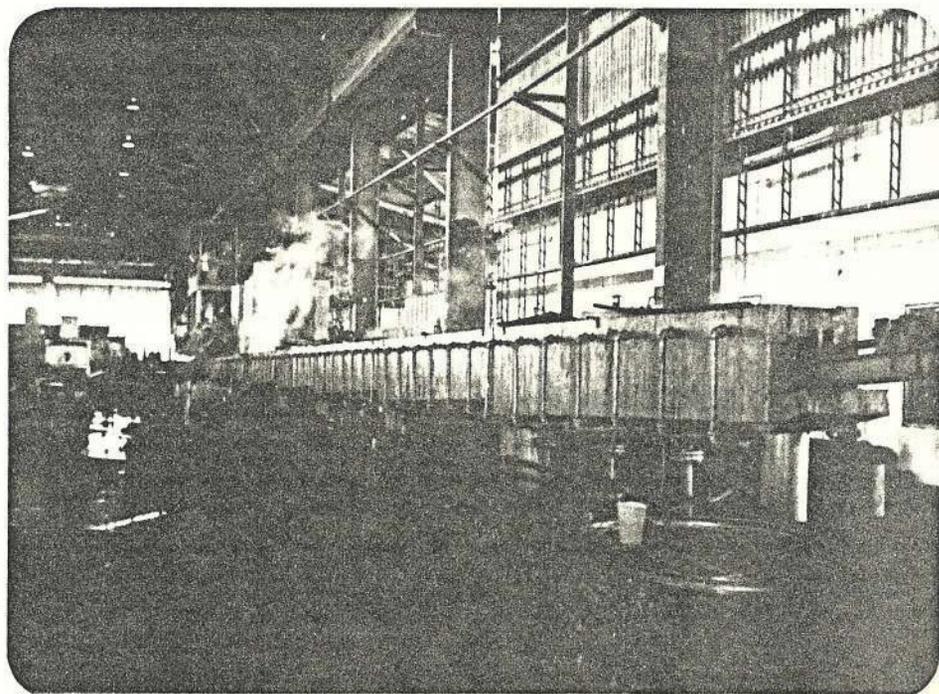


Fig. 2.8 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CONTROLADO POR AGUA

2) Disminuir el porcentaje de oxidación para bajar las pérdidas de material y mejorar la calidad superficial de los productos.

En 1960 se desarrolló por primera vez un sistema industrial de enfriamiento controlado denominado "proceso Stelmor", para posteriormente ponerse en funcionamiento otros análogos que a la fecha han llegado a conocerse.

Los resultados obtenidos (pérdidas por oxidación) medidos antes y después del proceso Stelmor, nos dan un criterio muy claro de las ventajas logradas.

S T E L M O R		
MATERIAL	% PERDIDAS Y OXIDACION	
	ANTES	DESPUES
Aceros de bajo carbono	1.1%	0.4%
Aceros de alto carbono	0.8%	0.45%

TABLA 2.3 PORCENTAJE DE PERDIDAS POR OXIDACION EN LOS ACEROS. (12)

Los otros procesos conocidos actualmente, pero que básicamente cumplen las mismas condiciones o propósitos de enfriamiento controlado, se pueden comparar en la siguiente Tabla 2.4.

Producto (Acero AISI 1074) después de someterlo a distintas pruebas de enfriamiento.

SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	RESISTENCIA A LA ROTURA (Kg/mm <sup>2</sup> )	REDUCCION DE AREA %
1) Patentado al plomo	120	50
2) Patentado al aire	106	40
3) Laminado en caliente y enfriado en agua y aire forzado sobre espiras separadas.	114	45
4) Laminado en caliente y enfriado en agua y aire forzado sobre todo el rollo.	104	38
5) Laminado en caliente y enfriado en agua y aire quieto sobre espiras separadas.	100	35
6) Laminado en caliente y enfriado en agua y aire quieto sobre todo el rollo.	95	32
7) Laminado en caliente y enfriado en aire quieto sobre todo el rollo.	85	22

TABLA 2.4 INFLUENCIA DEL MEDIO DE ENFRIAMIENTO SOBRE LAS PROPIEDADES MECANICAS. (12)

Cabe destacar, que con la anterior bobinadora vertical utilizaba el proceso #7, mientras que con el tren de alta velocidad se utiliza el proceso #3.

ANALISIS DEL PROCESO #3.- El alambión obtenido después del monobloque se enfría primeramente con agua forzada tipo "B" haciéndolo pasar por el interior de tubos estrechos a lo largo de un tramo de 35 ms lográndose :

- a) Una velocidad de enfriamiento bastante elevada, así por ejemplo tomando una temperatura de salida =  $1050^{\circ}\text{C}$  para alambión de 5.5 mm se puede enfriar a  $800^{\circ}\text{C}$  en 0.25 seg.
- b) La diferencia de temperatura entre la superficie y el centro del alambión aumenta con el diámetro. Del ejemplo anterior, se puede tener una diferencia de temperatura de la superficie al centro de  $200^{\circ}\text{C}$  por lo que en la posterior etapa de bobinado la temperatura superficial aumenta aproximadamente  $100^{\circ}\text{C}$ .
- c) La longitud (35 ms ) del tramo refrigerado por agua está determinada por la vaporiza-

ción del agua y del límite inferior de enfriamiento por agua, en el cual la estructura cristalina se acomoda desordenadamente y el alambron pierde sus propiedades físico-mecánicas.

- d) Debido a la velocidad de enfriamiento elevada, se impide en buen grado la formación de óxidos de hierro (cascarilla) y se reduce el tiempo de decapado (pérdidas de capa de óxido), aunque no se eliminan totalmente.
- e) El enfriamiento continúa con circulación de aire forzado posterior a la formación de espiras de la bobinadora, manteniéndolas abiertas sobre un lecho de rodillos transportadores.

Durante el trayecto (54 ms) los electroventiladores van enfriando paulatinamente las espiras hasta terminar aproximadamente a 180 grados centígrados en el dispositivo presionador de espiras.

Cabe mencionar que esta línea de enfriamiento trabaja en forma totalmente automática,

controlada por las velocidades del Monobloque y la bobinadora.

## 2.5 CALIBRADO DE CILINDROS PARA TRENES CONTINUOS DE ALAMBRO.

Para los laminadores continuos de alambre se adoptan tres tipos diferentes :

- a) Proceso de laminación dúo con viraje o torsión.
- b) Proceso de laminación horizontal-vertical.
- c) PROCESO DE BLOQUE EN "X" : Este tipo de trenes tiene básicamente las siguientes características :
  - Poseen el mando o accionamiento agrupado para tandas normalmente de seis, ocho o diez pasadas.
  - La laminación se efectúa a un solo hilo por monobloque.
  - Usan habitualmente rodillos de laminación en voladizo con diámetros de 8, 10, ó 12 pulg.
  - Por disposición, con los ejes de los rodillos dispuestos a 90 grados en cada caja con respecto a la inmediata, no resulta necesario virar o tor

cer el material en ninguna pasada<sup>(13)</sup>.

- Las velocidades obtenidas en la actualidad con este tipo de trenes está en el orden de los 80 m/s.

El desarrollo de estos trenes surgió de la búsqueda de máquinas capaces de lograr muy altas producciones en los diámetros más pequeños de alambión.

Una primera limitación fue la velocidad máxima a que era posible controlar el viraje de las barras en las pasadas ovals con cierta seguridad o garantía.

Como solución a este problema, se vio la necesidad de disponer las cajas de laminación de forma que recibiesen el material tal cual salía de la pasada anterior, lo que llevó a adoptar la disposición en X.

Al mismo tiempo, el empleo de rodillos de menor diámetro permitió obtener mayores alargamientos por pasada. Simultáneamente, la posibilidad de emplear anillos de metales duros, como por ejemplo carburo de tungsteno, prolongó la vida de los canales minimizando los tiempos requeridos para cambio

de los mismos.

Por otra parte, la forma constructiva y de montaje de los rodillos permite un fácil y rápido cambio, lo cual nuevamente acorta los tiempos muertos por este concepto.

## 2.6 CONTROL DE PROCESO DEL ALAMBRON

El control que se realiza durante el proceso de laminación se refiere principalmente a las lecturas de temperatura tomadas en diferentes etapas del tren, las mismas que serán ajustadas si el caso requiere, con la regulación de los quemadores del horno. Un resumen de datos se presenta en la Tabla 2.5.

## 2.7 CALCULO Y DISEÑO DE PASADAS PARA LAMINAR ALAMBRON

En este tópicó se trata de enfocar desde el punto de vista práctico la selección de variables para laminar un producto determinado.

En este proyecto se toma como ejemplo la laminación de una varilla de 25 mm liso, partiendo de una palanquilla de 100 x 100 mm en 10 pasadas en el tren convencional.

MATERIAL LAMINADO	HORA	TEMPERATURA DEL HORNO (°C)				TEMPERATURA MB 210/175 (°C)	
		Z-1	Z-2	Z-3	SALIDA	ENTRADA	SALIDA
3A	8:40	820	1000	1270	1120	1010	980
	10:15	880	1040	1310	1120	1020	980
	11:45	890	1020	1300	1150	1030	990
3B	15:45	760	1240	1150	1120	-	940
	16:50	700	1270	1160	1130	-	960
	18:30	680	1220	1140	1110	-	920
2B	8:50	700	-	1260	1080	990	960
	10:00	750	-	1300	1140	1010	970
	15:45	770	-	1290	1120	980	950
1B	8:30	820	-	1330	1180	1080	1040
	12:45	700	-	1310	1160	1070	1040
	16:10	760	-	1280	1150	1020	980

TABLA 2.5 CONTROL DE PROCESO DEL ALAMERON (Autorizado por ANDEC)

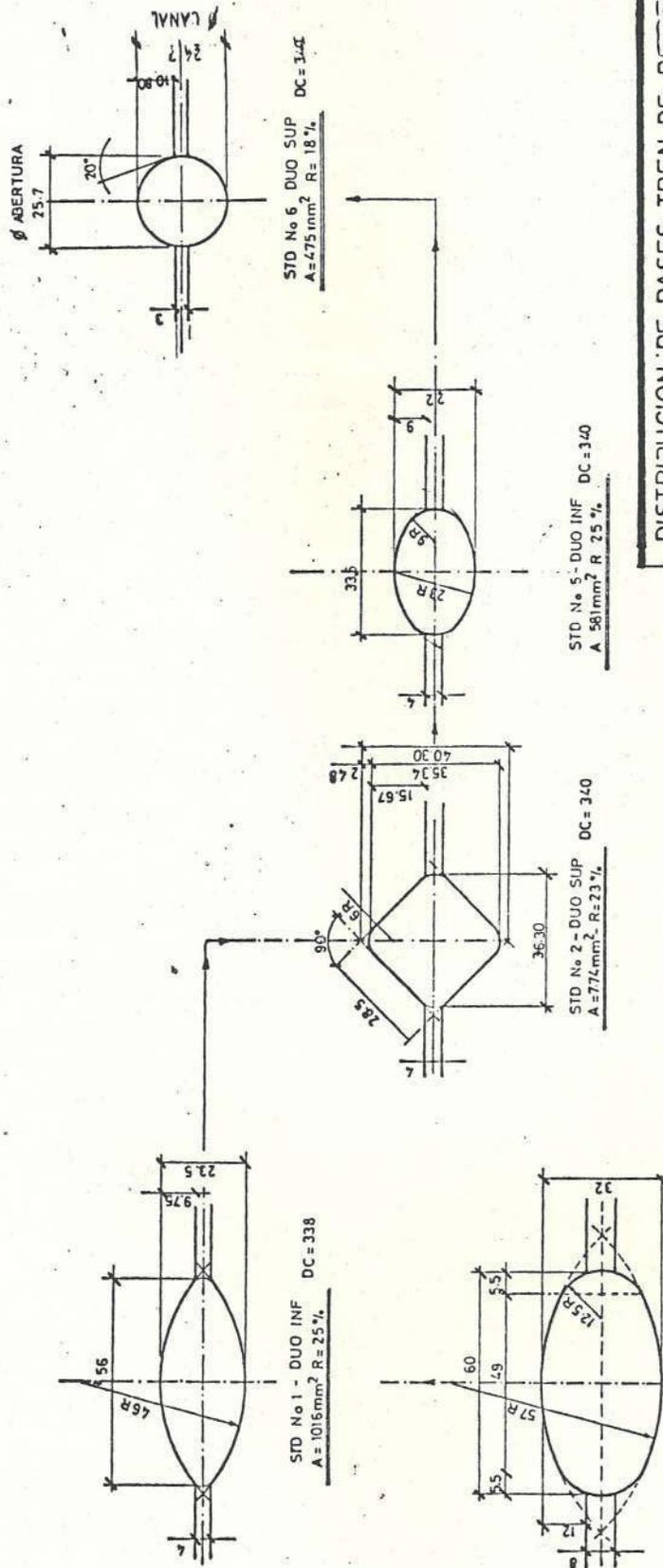


Una vez que se ha seleccionado los cilindros y el guiado para cada tren, se analiza el trazado, el mismo que es de suma importancia ya que, si fallan los dos anteriores, es fácil y rápido lograr el recambio o modificación en su diseño, pero si falla el trazado, se debe parar la producción y revisar los cilindros tallados<sup>(16)</sup>.

El procedimiento seguido para el trazado es el siguiente :

- 1) Asumir valores de áreas para cada pasada partiendo del área final al área inicial y reforzar con la fórmula de la reducción promedio total y así tener una idea de las reducciones individuales.
- 2) Se procede a definir el diseño de cada pasada con su área definitiva, partiendo desde la primera pasada del tren desbastador hasta la última pasada del tren terminador (véase Fig. 2.9). Los cálculos se presentan en el Apéndice B.





**DISTRIBUCION DE PASES TREN DE PERFILES**  
**DIBUJO G.SARMIENTO Escala 1:1**

**STD No 1 - DUO SUP**  
 Nota Canal preparadora de óvalo DC=338  
 Medida de la canal 32 x 60  
 Medida de la masa 32 x 49  
 Areas 1350 mm<sup>2</sup> Rdc= 22%

Fig. 2.9 (continuación)  
 DISEÑO DE PASADAS PARA LAMINAR ALAMBRO

Fig. 2.8 =>

## CAPITULO III

### PRUEBAS EXPERIMENTALES COMPARATIVAS



POLITECNICA DEL LITORAL  
BIBLIOTECA 'GONZALO ZEVALLOS'  
E.I.M.C.P.

#### 3.1 ENSAYOS QUIMICOS

Los ensayos químicos se refieren a la determinación de los componentes del acero esto es, carbono, azufre, manganeso, fósforo y silicio; los dos primeros se realizaron por el procedimiento de vía seca (Fig. 3.1), mientras que los tres últimos se efectuaron por el procedimiento de vía húmeda.

##### 3.1.1 COMPOSICION QUIMICA DE PALANQUILLAS DE COLADA CONTINUA Y LAMINADA.

El material analizado cuyo destino es alambre para trefilación, corresponde a un acero de bajo contenido de carbono, el mismo que por su composición, la microestructura observada y la especificación SAE (Society of Automotive Engineers, EUA), corresponde a un acero 1008 obtenido en el mercado en las condiciones mostradas en las Tablas 3.1 y 3.2 respectivamente.

##### 3.1.2 COMPOSICION QUIMICA DE ALAMBRON NACIONAL E IMPORTADO.

En lo referente al alambón de fabricación na-

cional, la composición química viene dado según Apéndice A por los productos asignados como 1, 2 y 3 presentados en las Tablas 3.1 al 3.3, mientras que la composición química del alambre importado corresponde según el Apéndice A a los dígitos 4, 5, 6 y 7 en su orden resumidos en la Tabla 3.4.

### 3.2 ANALISIS METALOGRAFICO Y DUROMETRICO

El análisis metalográfico comprende dos partes, una observación visual y otra microscópica con equipo incorporado de microfotografía (véase Fig. 3.2).

En la parte complementaria se efectuó ensayos de dureza en escalas Rockwell B y Knoop. El primero se usó para la materia prima y el segundo para el producto terminado <sup>(1)</sup>.

#### 3.2.1 ANALISIS MACRO Y MICROSCOPICO DE LA PALANQUILLA DE COLADA CONTINUA Y LAMINADA.

El análisis macroscópico se realizó de acuerdo a la siguiente secuencia :

- Corte y preparación de probetas
- Pulido en papel lija de carburo de silicio

ELEMENTO ANALIZADO	COMPOSICION QUIMICA (%)	
	1*	ESPECIFICACION SAE 1008
Carbono C	0.07	0.10 máx
Manganeso Mn	0.31	0.30-0.50
Fosforo P	0.029	0.040 máx
Azufre S	0.021	0.050 máx
Silicio Si	0.12	0.17 máx

Tabla 3.1 COMPOSICION QUIMICA PALANQUILLA COLADA CONTINUA

ELEMENTO ANALIZADO	COMPOSICION QUIMICA (%)	
	2	ESPECIFICACION SAE 1008
C	0.07	0.10 máx
Mn	0.29	0.30-0.50
P	0.018	0.040 máx
S	0.012	0.050 máx
Si	0.04	0.17 máx

Tabla 3.2 COMPOSICION QUIMICA PALANQUILLA LAMINADA

ELEMENTO ANALIZADO	COMPOSICION QUIMICA (%)	
	3	ESPECIFICACION SAE 1008
C	0.08	0.10 máx
Mn	0.33	0.30-0.50
P	0.022	0.040 máx
S	0.026	0.050 máx
Si	0.05	0.17 máx

TABLA. 3.3 COMPOSICION QUIMICA DE ALAMBRON NACIONAL

ELEMENTO ANALIZADO	COMPOSICION QUIMICA ( % )					ESPECIFICACION SAE 1008
	4	5	6	7		
C	0.08	0.07	0.08	0.09	0.10 máx	
Mn	0.28	0.32	0.26	0.34	0.30-0.50	
P	0.019	0.018	0.017	0.016	0.040 máx	
S	0.015	0.013	0.014	0.015	0.050 máx	
Si	0.06	0.06	0.05	0.05	0.17 máx	

TABLA 3.4 COMPOSICION QUIMICA DE ALAMBRON IMPORTADO



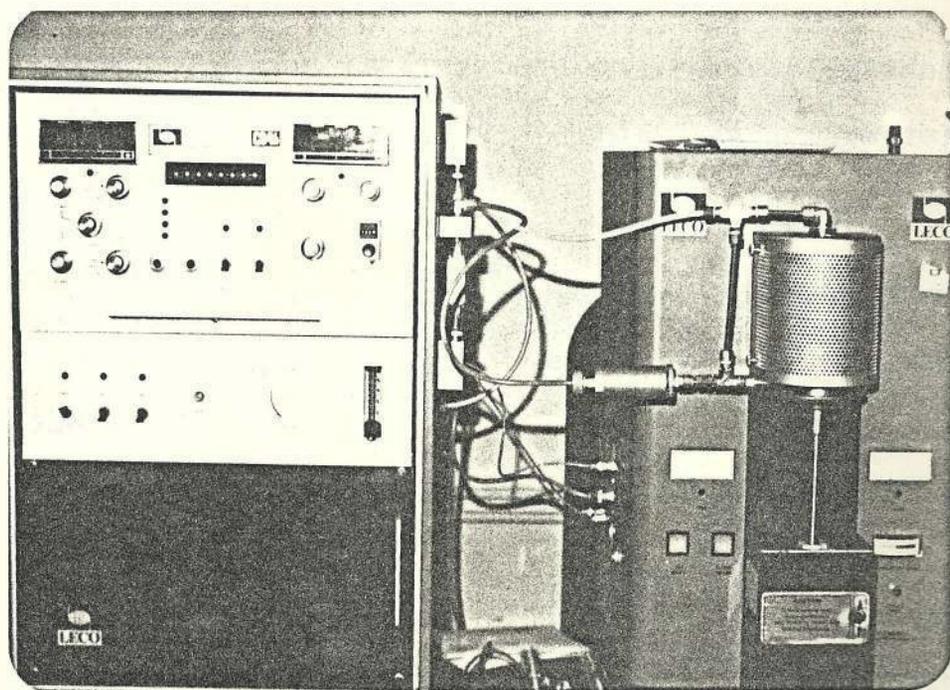


Fig. 3.1 ANALIZADOR DE CARBONO Y AZUFRE

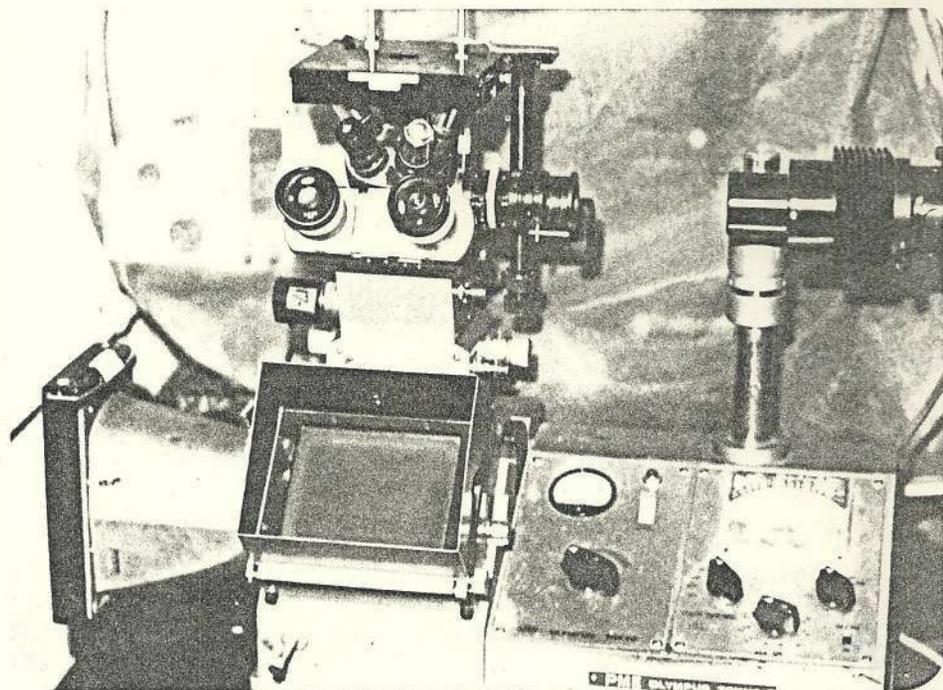


Fig. 3.2 EQUIPO DE MICROFOTOGRAFIA

# 220, 320, 400 y 600.

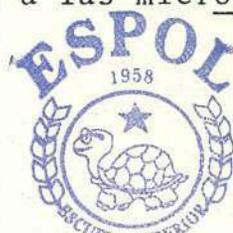
- Pulido final en paños abrasivos usando pasta de alúmina al 2% ( $Al_2O_3$ ) para materiales ferrosos.
- Ataque de la probeta usando Nital 10% (ácido nítrico 10% y alcohol metílico 90%) como reactivo.

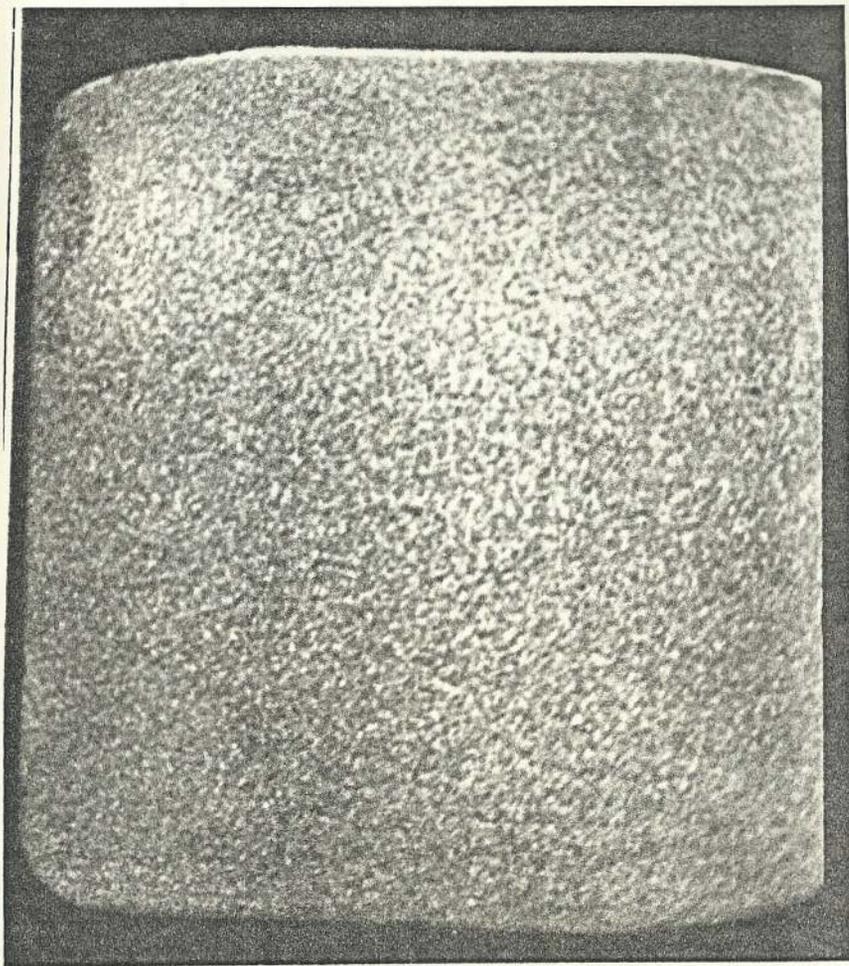
El material estudiado se muestra en las Figuras 3.3 y 3.4.

En la segunda parte, el análisis microscópico fue realizado mediante el siguiente procedimiento :

- Corte y preparación de probetas
- Montaje de probetas usando resina polyester
- Pulido en lija y paño abrasivo descrito anteriormente.
- Ataque químico usando Nital 3% (ácido nítrico 3% y alcohol metílico 97%) como reactivo.
- Observación microscópica

Las Figuras 3.5 y 3.6 corresponden a las microestructuras analizadas.

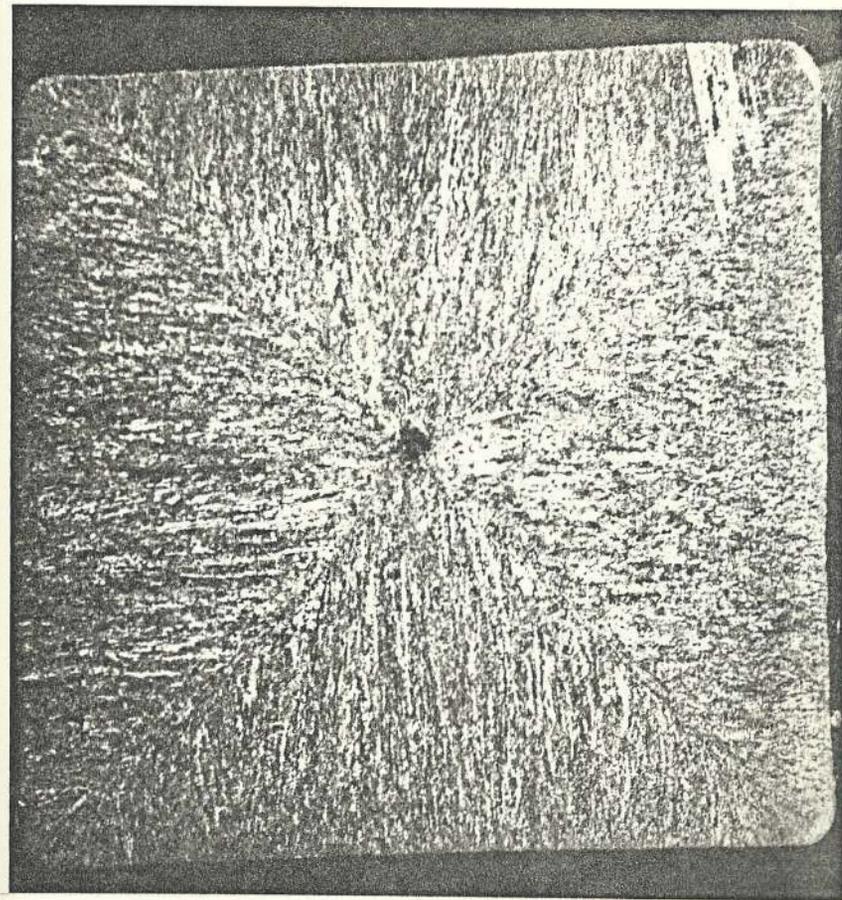




Nital 10%

1X

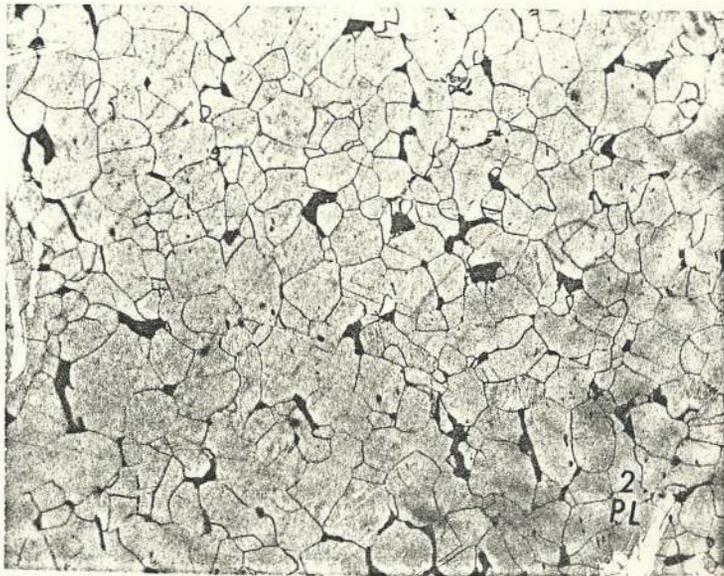
Fig. 3.3 MACROFOTOGRAFIA PALANQUILLA LAMINADA DEL ACERO SAE 1007



Nital 10%

1X

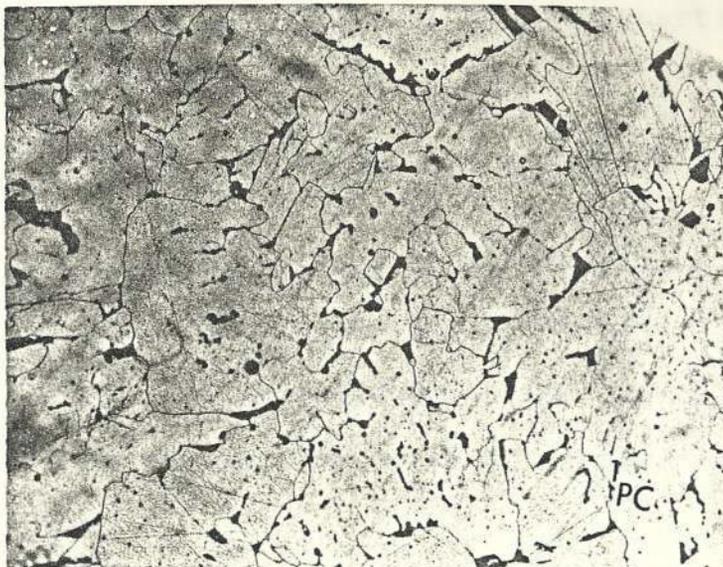
Fig. 3.4 MACROFOTOGRAFIA PALANQUILLA DE COLADA CONTINUA DEL ACERO SAE 1007



Nital 3%

200 X

Fig. 3.5 MICROFOTOGRAFIA PALANQUILLA LAMINADA DEL ACERO SAE 1007



Nital 3%

200 X

Fig. 3.6 MICROFOTOGRAFIA PALANQUILLA DE COLADA CONTINUA DEL ACERO SAE 1007



### 3.2.2 METALOGRAFIA DEL MATERIAL LAMINADO EN LAS DIFERENTES PASADAS.

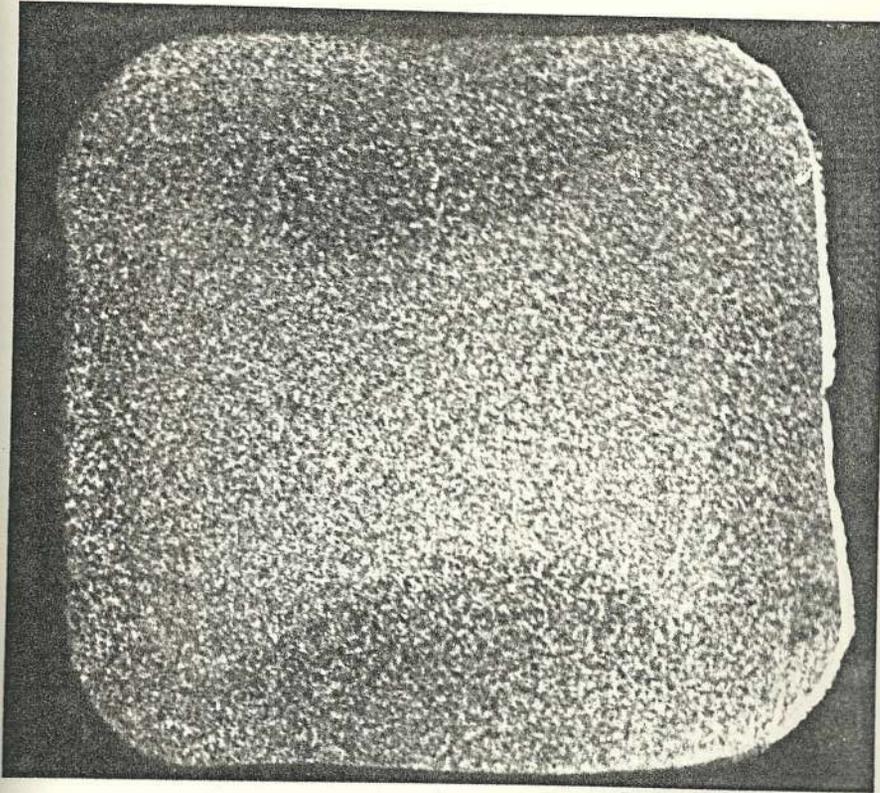
En la presente sección se realizó ensayos macroscópicos de palanquilla laminada (producto 2) correspondientes a las reducciones tercera, cuarta y quinta del tren desbastador (Figuras 3.7, 3.8 y 3.9 respectivamente).

Con la finalidad de observar los cambios estructurales se tomaron microfotografías de la quinta reducción del tren de laminación (Figura 3.10). En lo referente al producto terminado, esto es, el alambrón tanto nacional como importado, sus microestructuras se muestran en las Figuras 3.11 al 3.18, respectivamente.

### 3.2.3 CUADRO DE DUREZAS DE LA MATERIA PRIMA

Las durezas tomadas en la palanquilla se obtuvieron usando la escala Rockwell B. Previamente, las probetas deben ser pulidas con el fin de obtener una buena superficie de ensayo.

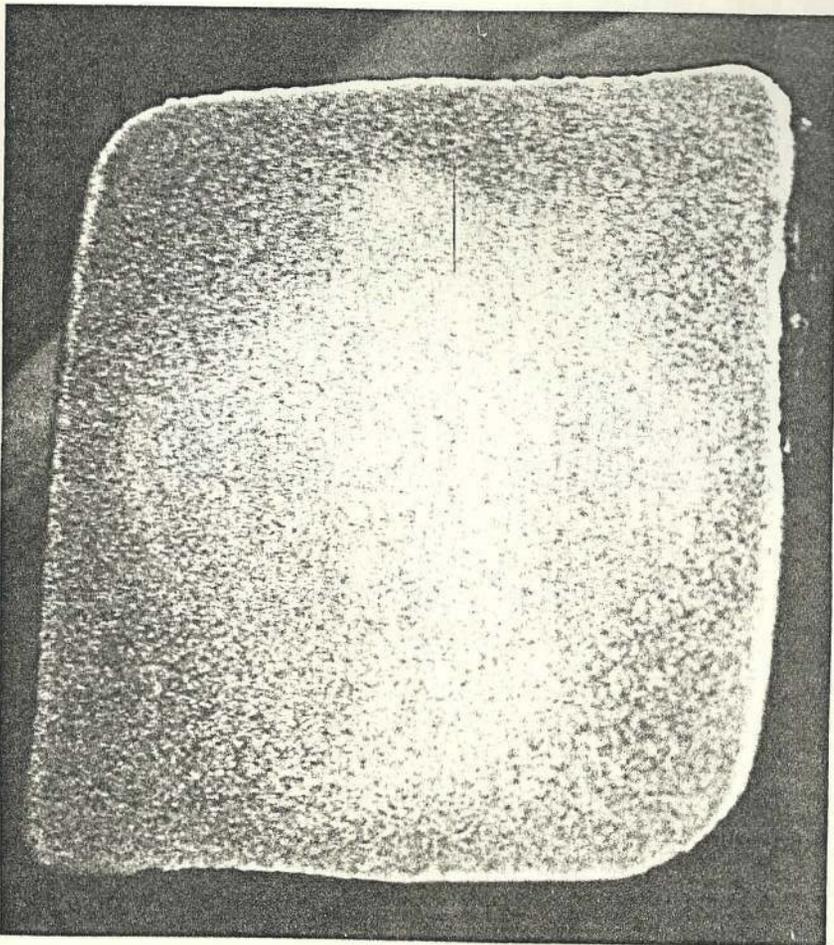
Estas pruebas se realizaron en la sección transversal del producto laminado. Los datos obtenidos se presentan en las curvas de las Figu-



Nital 10%

1X

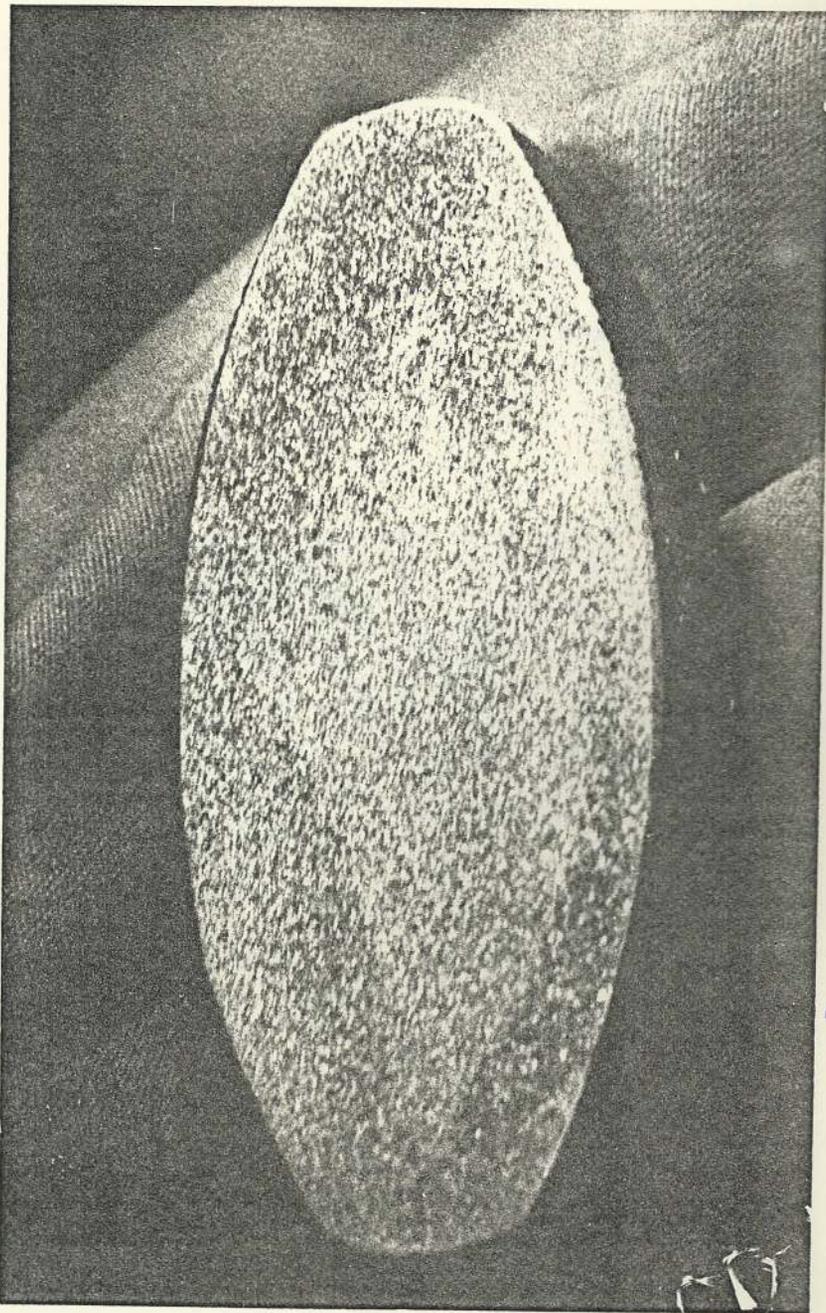
Fig. 3.9 MACROFOTOGRAFIA QUINTA REDUCCION,  
PROBETA N° 2, ACERO SAE 1007



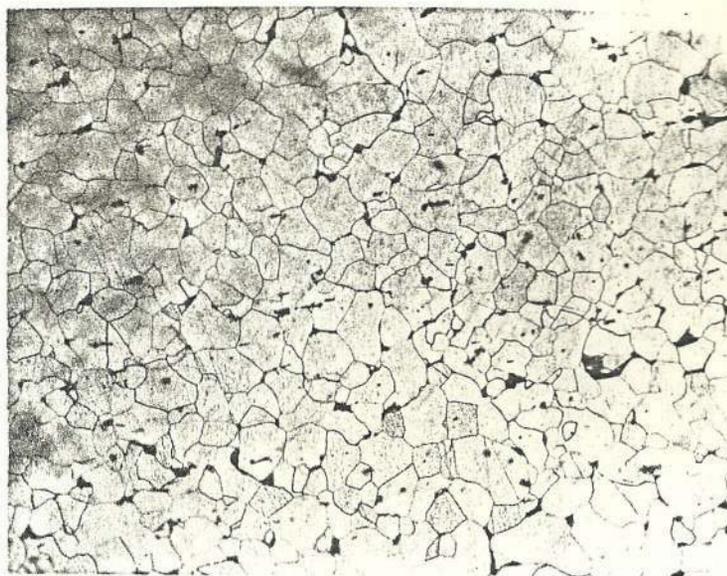
Nital 10%

1X

Fig. 3.7 MACROFOTOGRAFIA TERCERA REDUCCION,  
PROBETA N° 2, ACERO SAE 1007



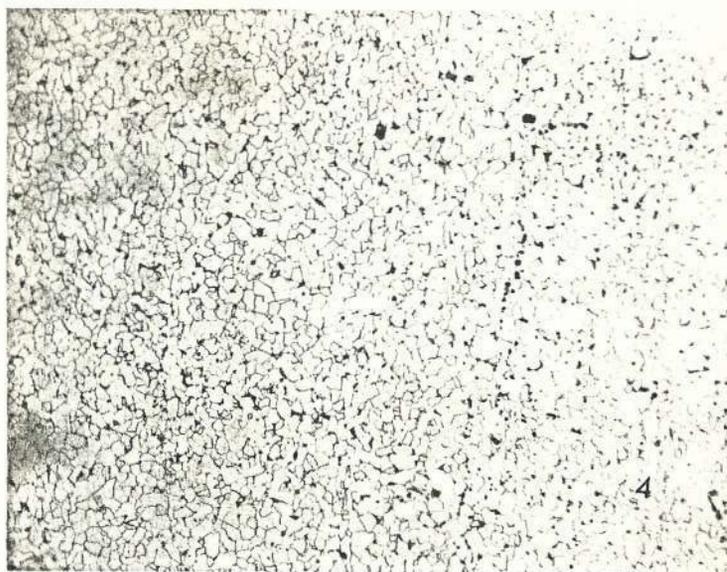
Nital 10% 1 X  
Fig. 3.8 MACROFOTOGRAFIA CUARTA REDUCCION, PROBETA N° 2  
ACERO SAE 1007



Nital 3%

200 X

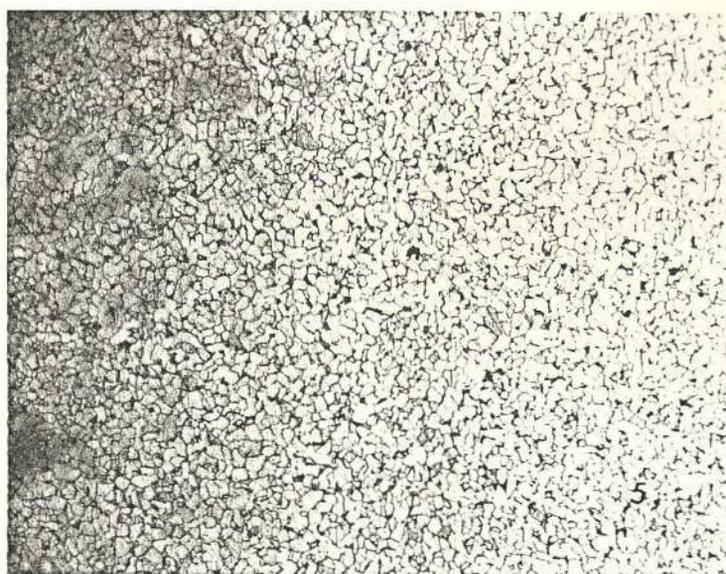
Fig. 3.10 MICROFOTOGRAFIA QUINTA REDUCCION,  
PROBETA N° 2, ACERO SAE 1007



Nital 3%

100 X

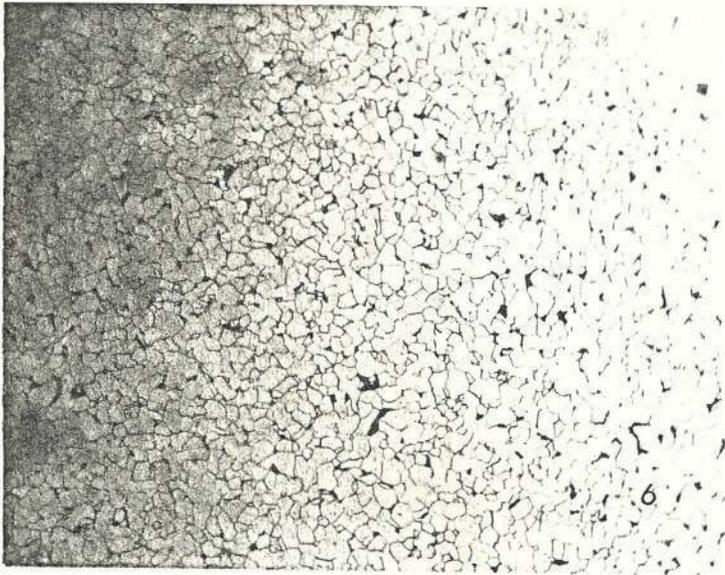
Fig. 3.11 PROBETA N° 4, ACERO SAE 1008, TAMAÑO DE GRANO N° 9



Nital 3%

100 X

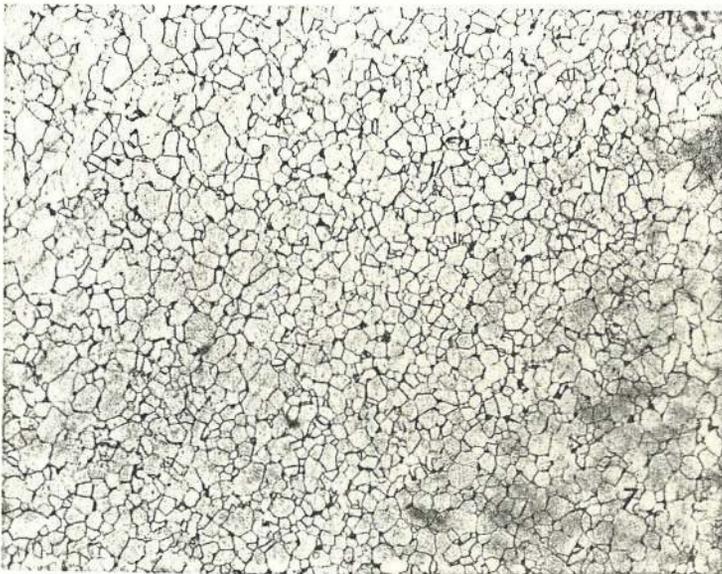
Fig. 3.12 PROBETA N° 5, ACERO SAE 1007, TAMAÑO DE GRANO N° 9



Nital 3%

100 X

Fig. 3.13 PROBETA N° 6, ACERO SAE 1008, TAMAÑO DE GRANO N° 9

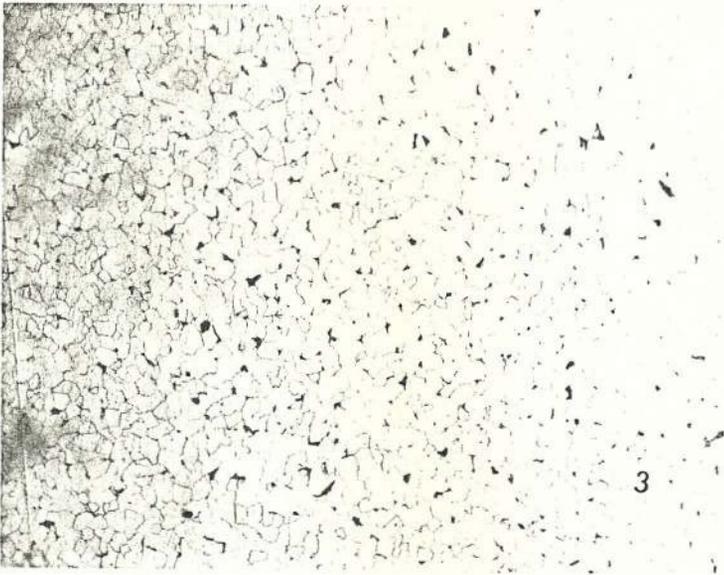


Nital 3%

100 X

Fig. 3.14 PROBETA N° 7, ACERO SAE 1009, TAMAÑO DE GRANO N° 9

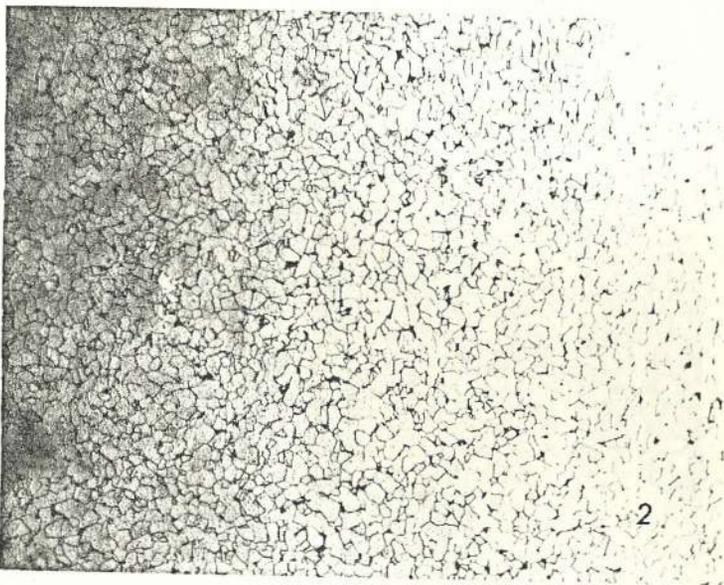




Nital 3%

100 X

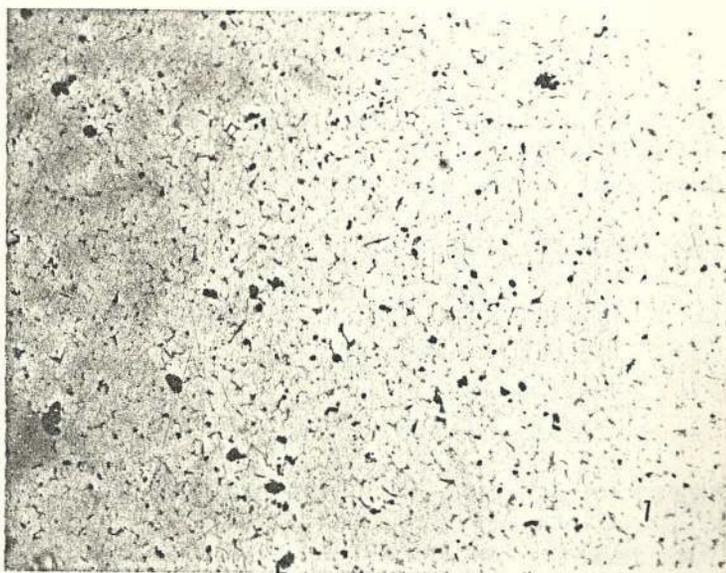
Fig. 3.15 PROBETA N° 3, ACERO SAE 1008, TAMAÑO DE GRANO N° 9



Nital 3%

100 X

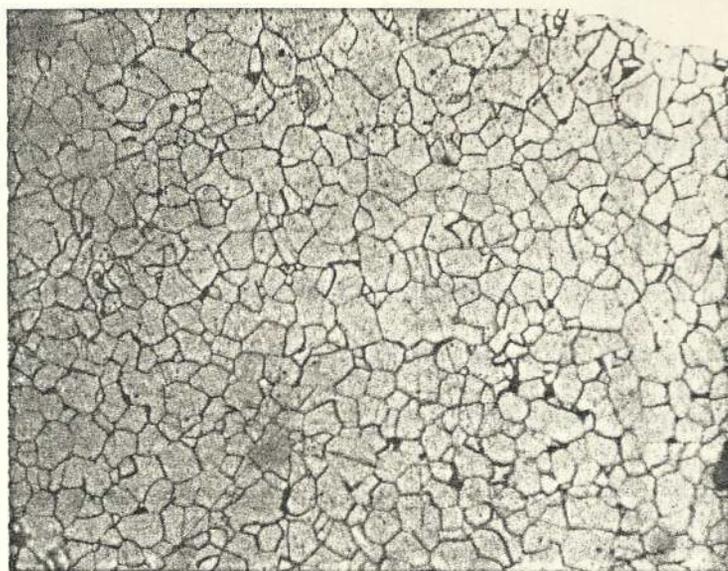
Fig. 3.16 PROBETA N° 2, ACERO SAE 1007, TAMAÑO DE GRANO N° 9



Nital 3%

100 X

Fig. 3.17 PROBETA N° 1, ACERO SAE 1007, TAMAÑO DE GRANO N° 9



Nital 3%

200 X

Fig. 3.18 PROBETA N° 1, ACERO SAE 1007, TAMAÑO DE GRANO N° 9

ras 3.19 al 3.21.

La parte complementaria se refiere a la toma de microdureza del producto terminado; para ello se empleó un microdurómetro con identador de diamante tipo Knoop, cuyo procedimiento se efectúa de la siguiente manera :

- Pulido metalográfico
- Se seleccionó 500 gramos de carga y un aumento de 100 en el microdurómetro.
- Obtención de datos y conversión a otra escala de dureza para su comparación final.

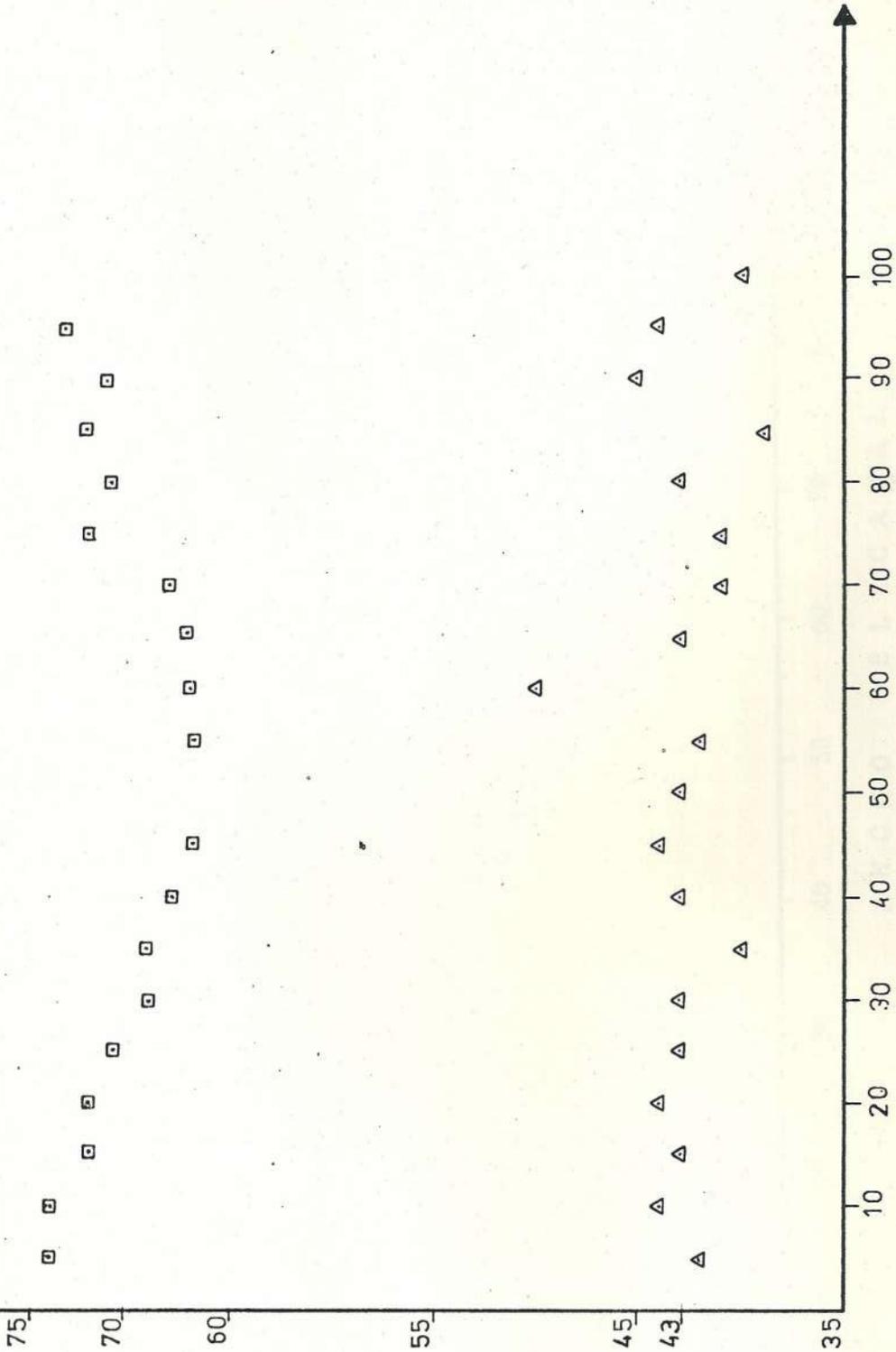
Un resumen de los valores obtenidos se presentan en la Tabla 3.5.

### 3.3 ENSAYOS FISICOS DE CONTROL DE MASA, OVALIDAD Y RESALTES.

Siguiendo con los requerimientos que establece la norma INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) se efectuó el ensayo de control de masa usando para el efecto una balanza de precisión. El control de ovalidad se realizó utilizando un calibrador.<sup>(11)</sup>



△ PRODUCTO 2



A N C H O D E L C A N A L

Fig. 3.19 VARIACION DE LA DUREZA CON LA DISTANCIA EN PALANQUILLA LAMINADA Y DE COLADA CONTINUA

PRODUCTO 2

- Tercera pasada desbaste
- ▲ Cuarta pasada desbaste
- Quinta pasada desbaste

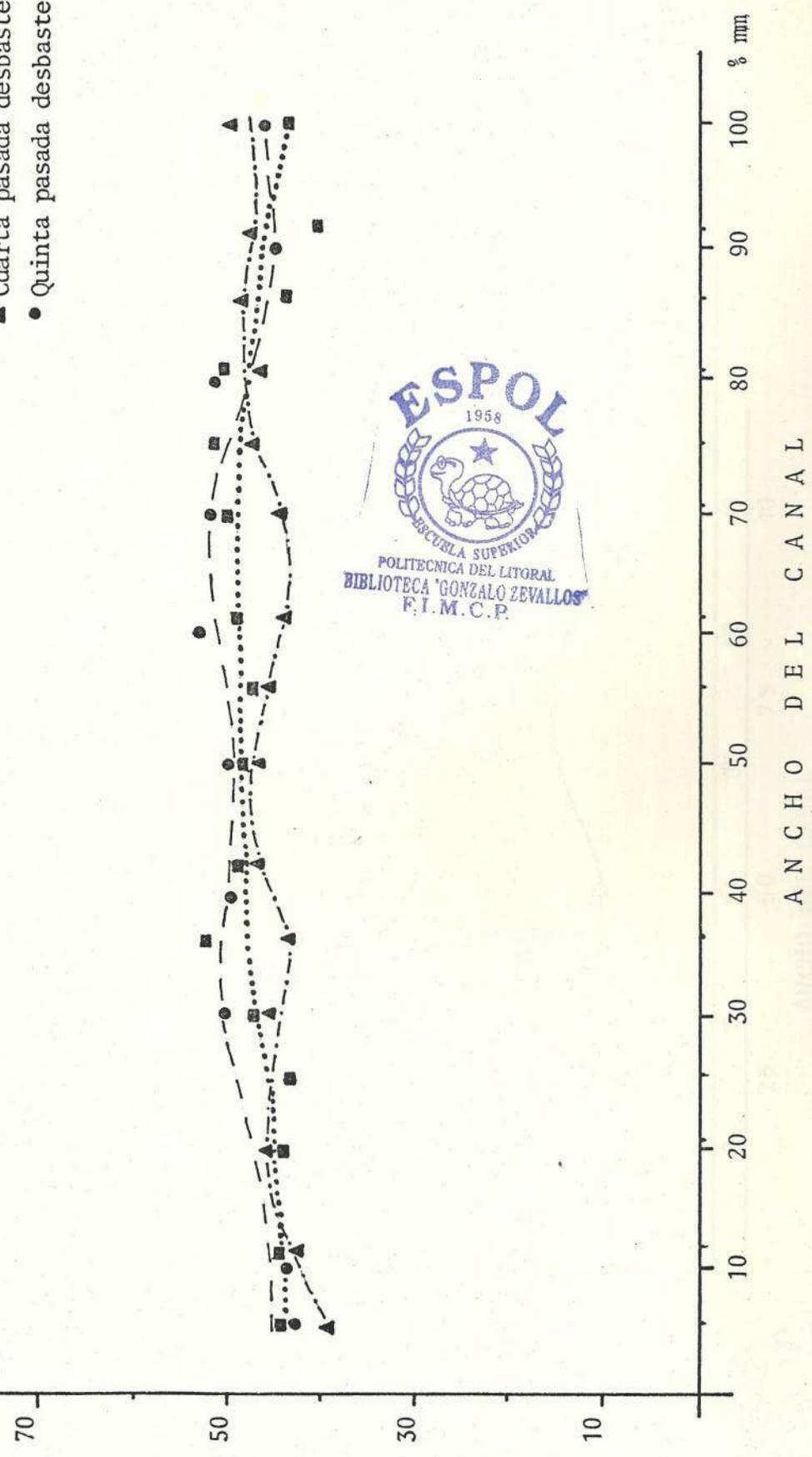


Fig. 3.20 VARIACION DE LA DUREZA CON LA DISTANCIA EN LAS PRIMERAS PASADAS DE PALANQUILLA LAMINADA

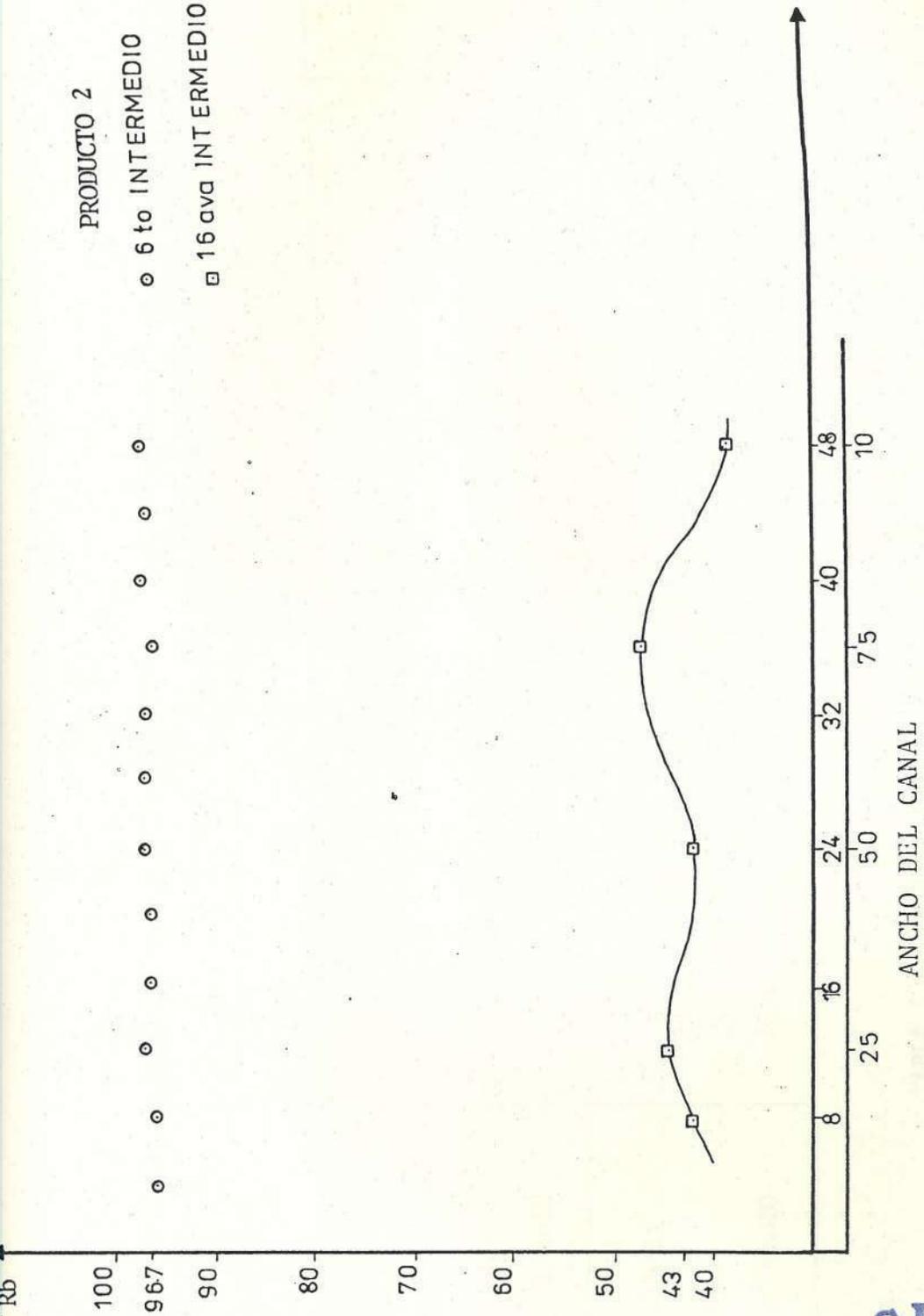


Fig. 3.21 VARIACION DE LA DUREZA CON LA DISTANCIA EN LAS PASADAS INTERMEDIAS DE PALANQUILLA LAMINADA.



	PRODUCTO TERMINADO						
	1	2	3	4	5	6	7
DUREZA							
DUREZA KNOOP							
PROMEDIO	126.75	123.57	139.3	149.73	134.68	145.73	167.89
DUREZA Rb							
PROMEDIO	63.6	62	70	75.1	67.83	73.17	81.12

TABLA 3.5 VALORES DE MICRODUREZA DEL ALAMBRO NACIONAL E IMPORTADO

### 3.3.1 EN EL ALAMBRON NACIONAL

Los ensayos físicos de control de masa y ovalidad correspondientes al producto liso de fabricación nacional se resume en la Tabla 3.6.

### 3.3.2 ALAMBRON DE FABRICACION EXTRANJERA

Este producto, igual que el caso anterior fue sometido a los ensayos físicos como establece la norma para el efecto, cuyos valores se agrupan en la Tabla 3.7.

## 3.4 ENSAYOS MECANICOS

### 3.4.1 ENSAYO CHARPY DE PALANQUILLAS DE COLADA CONTINUA Y LAMINADA.

Para realizar las pruebas de impacto se prepararon probetas de acero SAE 1008 de la materia prima. Las dimensiones y características de la probeta son establecidas según norma ASTM A 510 (American Society for Testing and Materials).

Los ensayos se realizaron en una máquina universal destinada para el efecto.<sup>(1)</sup>

Los datos obtenidos en la presente sección se resumen en la Tabla 3.8, como también se podrán

PRODUCTO	LONGITUD	MASA	MASA/ METRO	DIAMETRO NOMINAL	O V A L I D A D (mm)		
	mm	g	Kg/m	mm	a	b	c
3A	338	70.8	0.182	5.43	5.41	5.41	5.41
3A	446	82.4	0.185	5.48	5.38	5.37	5.36
3A	384	70	0.182	5.43	5.42	5.42	5.43
3A	445	83.5	0.188	5.52	5.38	5.38	5.38
3A	285	52.1	0.183	5.45	5.39	5.39	5.39
3A	452	83	0.184	5.46	5.49	5.49	5.49
3A	480	89.5	0.186	5.49	5.47	5.47	5.47
3A	481	89	0.185	5.48	5.37	5.37	5.37
3A	453	82.5	0.182	5.43	5.48	5.48	5.48
3A	329	60.7	0.184	5.46	5.36	5.36	5.36
2A	445	79.9	0.179	5.40	5.35	5.40	5.45
2A	450	80.4	0.179	5.39	5.30	5.50	5.35
2A	451	81	0.180	5.40	5.50	5.30	5.40
2A	449	80.4	0.179	5.39	5.45	5.30	5.50
2A	450	80.3	0.178	5.37	5.50	5.40	5.35
							PROMEDIO
							5.41
							5.37
							5.42
							5.38
							5.39
							5.49
							5.47
							5.37
							5.48
							5.36
							5.40
							5.38
							5.40
							5.42
							5.42

TABLA 3.6 RESULTADOS DE ENSAYOS FISICOS PARA ALAMBRO NACIONAL

PRODUCTO	L (mm)	M (g)	Kg/m	D (mm)	a	b	c	OVALIDAD PROMEDIO (mm)
2A	452	81.3	0.180	5.40	5.3	5.5	5.4	5.4
2A	451	80.8	0.180	5.40	5.3	5.4	5.4	5.37
2A	454	81	0.178	5.37	5.4	5.4	5.45	5.42
2A	458	82.9	0.181	5.42	5.3	5.4	5.4	5.37
2A	459	82.8	0.180	5.40	5.4	5.5	5.35	5.42
2A	450	79.5	0.177	5.35	5.25	5.4	5.4	5.35
2A	450	80.5	0.179	5.39	5.4	5.4	5.35	5.38
2A	454	81.5	0.179	5.39	5.5	5.35	5.35	5.38
2A	451	81.3	0.180	5.40	5.4	5.4	5.35	5.38
2A	451	80.4	0.178	5.37	5.3	5.45	5.4	5.38
2A	445	79.4	0.178	5.37	5.4	5.3	5.3	5.37
2A	449	83.1	0.185	5.48	5.5	5.6	5.55	5.55
2A	450	83	0.184	5.46	5.4	5.45	5.5	5.45
2A	450	82.1	0.182	5.43	5.5	5.35	5.6	5.48
2A	350	63.65	0.187	5.51	5.5	5.55	5.5	5.52
2A	349	63.3	0.181	5.42	5.45	5.35	5.45	5.42
2A	448	81.4	0.182	5.43	5.35	5.55	5.4	5.43
2A	351	63.8	0.182	5.43	5.4	5.45	5.35	5.4

TABLA 3.6 (continuación)



PRODUCTO	L (mm)	M (g)	Kg/m	D (mm)	a	b	c	OVALIDAD PROMEDIO (mm)
2A	359	64	0.178	5.37	5.45	5.45	5.4	5.43
2A	452	84	0.186	5.39	5.45	5.5	5.5	5.48
2F	462	402.1	0.870	11.88	11.85	12	11.95	11.93
2F	398	348.7	0.876	11.92	11.85	12.2	11.9	11.98
2F	417	370.4	0.888	12.0	11.9	12.15	12	12.02
2F	432	377.2	0.873	11.9	12.05	11.85	11.9	11.93
2F	487	430.4	0.884	11.98	12.0	12	12.35	12.12
1A	434	77.5	0.179	5.39	5.35	5.4	5.35	5.37
1A	437	76.8	0.176	5.34	5.4	5.25	5.45	5.37
1A	437	77.9	0.178	5.37	5.45	5.35	5.35	5.38
1A	433	77.5	0.179	5.39	5.45	5.35	5.4	5.4
1A	434	77.75	0.179	5.39	5.3	5.4	5.4	5.37
1A	463	83.8	0.181	5.42	5.35	5.6	5.25	5.4
1A	459	82.9	0.181	5.42	5.25	5.45	5.4	5.37
1A	459	83	0.181	5.42	5.3	5.5	5.3	5.37
1A	460	84	0.183	5.45	5.25	5.45	5.55	5.42
1A	430	77.6	0.180	5.40	5.5	5.4	5.25	5.38
1A	432	77.9	0.180	5.40	5.4	5.35	5.35	5.37

TABLA 3.6 (continuación)

PRODUCTO	L (mm)	M (g)	Kg/m	D (mm)	a	b	c	OVALIDAD PROMEDIO (mm)
1A	432	78.35	0.181	5.42	5.55	5.4	5.45	5.47
1A	445	80.6	0.181	5.42	5.35	5.4	5.3	5.35
1B	347	83.8	0.241	6.25	6.14	6.13	6.12	6.13
1B	422	102.5	0.243	6.28	6.11	6.11	6.10	6.11
1B	412	100.3	0.243	6.28	6.24	6.24	6.24	6.24
1B	381	93.3	0.245	6.30	6.17	6.17	6.17	6.17
1B	430	106.3	0.247	6.33	6.24	6.24	6.24	6.24
1B	347	89.8	0.259	6.48	6.3	6.4	6.35	6.35
1B	352	86.9	0.247	6.33	6.35	6.25	6.25	6.28
1B	370	91.4	0.247	6.33	6.3	6.35	6.25	6.3
1B	334	81.5	0.244	6.29	6.3	6.25	6.35	6.3
1B	350	85.15	0.243	6.28	6.4	6.25	6.3	6.32
1B	351	85.6	0.244	6.29	6.3	6.3	6.2	6.27
1B	367	89.25	0.243	6.28	6.2	6.25	6.25	6.23

TABLA 3.6 (continuación)

PRODUCTO	LONGITUD		MASA		MASA/ METRO		DIAMETRO NOMINAL		O V A L I D A D (mm)		
	mm	g	Kg/m	mm	mm	a	b	c	PROMEDIO		
4A	442	86.6	0.196	5.64	5.6	5.75	5.65	5.67			
4A	441	86.4	0.196	5.64	5.6	5.7	5.65	5.65			
4A	448	87.7	0.196	5.64	5.6	5.65	5.55	5.6			
4A	452	88.4	0.196	5.64	5.6	5.65	5.75	5.67			
4A	444	86.7	0.195	5.62	5.6	5.75	5.65	5.67			
4A	440	86.3	0.196	5.64	5.65	5.6	5.6	5.62			
4A	445	86.6	0.195	5.62	5.7	5.55	5.55	5.6			
4A	443	86.9	0.196	5.64	5.65	5.7	5.6	5.65			
4A	442	87.2	0.197	5.65	5.6	5.75	5.7	5.68			
4A	442	86.6	0.196	5.64	5.6	5.7	5.65	5.65			
5A	450	82.5	0.183	5.45	5.45	5.25	5.5	5.4			
5A	473	86.5	0.183	5.45	5.5	5.55	5.45	5.5			
5A	451	81.1	0.180	5.40	5.45	5.5	5.45	5.47			
5A	474	85.1	0.179	5.39	5.5	5.35	5.5	5.45			
5A	497	90.5	0.182	5.43	5.5	5.55	5.45	5.5			

TABLA 3.7 RESULTADOS DE ENSAYOS FISICOS PARA ALAMBROON IMPORTADO

PRODUCTO	L (mm)	M (g)	Kg/m	D (mm)	a	b	c	OVALIDAD PROMEDIO (mm)
6A	445	86.8	0.195	5.62	5.45	5.75	5.55	5.58
6A	472	92	0.195	5.62	5.65	5.7	5.5	5.62
6A	445	96.6	0.195	5.62	5.75	5.45	5.65	5.62
6A	472	91.8	0.194	5.61	5.65	5.7	5.4	5.58
6A	499	97	0.194	5.61	5.5	5.8	5.6	5.63
6E	439	303.3	0.752	11.05	11.05	11.1	11.1	11.08
6E	457	344.4	0.754	11.06	11.1	11.35	11.15	11.2
6E	428	321.9	0.752	11.05	11.25	11.1	11.05	11.13
6E	446	335.8	0.753	11.05	11.3	11.25	11.2	11.25
6E	464	349.4	0.753	11.05	11.2	11.1	11.35	11.22
7B	496	122.5	0.247	6.33	6.14	6.14	6.14	6.14
7B	294	70.8	0.241	6.25	6.27	6.27	6.27	6.27
7B	297	59	0.239	6.23	6.25	6.25	6.25	6.25
7B	473	114.5	0.242	6.27	6.23	6.23	6.23	6.23
7B	360	89.3	0.248	6.34	6.24	6.24	6.24	6.24
7C	430	174.2	0.405	8.11	8.2	7.9	8.0	8.03

TABLA 3.7 (continuación)



PRODUCTO	L (mm)	M (g)	Kg/m	D (mm)	a	b	c	OVALIDAD PROMEDIO (mm)
7C	492	199.9	0.406	8.12	8.25	8.1	8.15	8.17
7C	348	137.9	0.396	8.02	8.15	7.95	8.05	8.05
7C	412	163.7	0.397	8.03	8.2	8.1	8.15	8.15
7C	475	189.3	0.399	8.05	8.1	8.2	8.15	8.15
7C	445	176.8	0.397	8.03	8.15	8.1	8.05	8.1
7C	425	169	0.398	8.04	8.1	8.1	8.0	8.07
7C	429	169.3	0.395	8.01	8.1	8.1	8.15	8.12
7C	436	170.3	0.391	7.96	8.1	8.15	8.1	8.12
7C	442	167.9	0.398	8.04	8.1	8.05	8.1	8.08
7C	417	164.2	0.394	7.99	8.15	8.15	8.1	8.13
7C	440	172.9	0.393	7.98	8.1	8.1	7.9	8.03
7E	360	283.6	0.788	11.31	11.6	11.3	11.3	11.4
7E	412	316.3	0.768	11.16	11.4	11.3	11.65	11.45
7E	350	272.5	0.779	11.24	11.35	11.3	11.55	11.4
7E	353	277.9	0.787	11.30	11.6	11.35	11.3	11.42
7E	356	280.4	0.788	11.31	11.3	11.6	11.25	11.38
7E	348	273.8	0.787	11.30	11.35	11.5	11.25	11.37

TABLA 3.7 (continuación)

PRODUCTO	DIRECCION DE ALARGAMIENTO				DIRECCION DE REDUCCION DE ALTURA				DIRECCION DE ENSANCHAMIENTO			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_m$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_m$	$z_1$	$z_2$	$z_3$	$z_m$
2B	2.0	2.0	2.6	2.2	1.7	3.2	1.45	2.12	1.45	0.8	0.8	1.02
1B	0.8	0.75	0.90	0.82	0.7	0.5	0.75	0.65	1.1	0.8	0.8	0.9

TABLA 3.8 VALORES OBTENIDOS DEL ENSAYO CHARPY (Kg-m) (TEMPERATURA AMBIENTE)

apreciar las superficies de fractura en la Figura 3.22.

#### 3.4.2 PRUEBAS DE TRACCION DE ALAMBRON NACIONAL

Estas pruebas fueron efectuadas tomando como patrón la probeta de la norma ASTM. Los ensayos se realizaron utilizando una máquina universal con una velocidad de ensayo de 10 mm/min cambiándose luego a 5 mm/min para obtener valores de fluencia más exáctos, una velocidad del graficador de 20 mm/min, y a temperatura ambiente<sup>(14)</sup>. Los resultados obtenidos están representados en la Tabla 3.9.

#### 3.4.3 ENSAYO TENSIL DE ALAMBRON EXTRANJERO

Esta etapa es similar al caso anterior, ya que los parámetros que entran en juego son exactamente los mismos. Para efectos de identificación de las probetas, se utilizaron impresiones leves inscritas con marquillas de metal. Los datos de este ensayo se presentan en la Tabla 3.10.

Además en la Tabla 3.11, se presentan valores promedios del ensayo de tracción de los produc

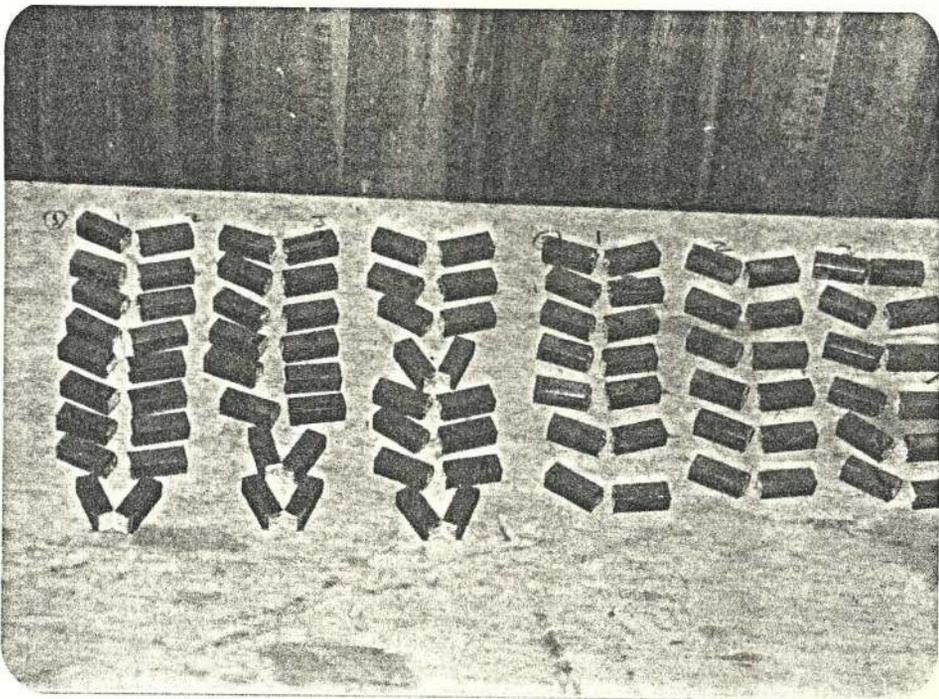


Fig. 3.22 PROBETAS UNA VEZ REALIZADO EL ENSAYO DE IMPACTO.



PRODUCTO	DIAMETRO INICIAL mm	AREA mm <sup>2</sup>	LONGITUD INICIAL mm	LONGITUD FINAL mm	DIAMETRO FINAL mm	RESISTENCIA (Kg/mm <sup>2</sup> )		ALARGAMIENTO %	
						FLUJENCIA	TRACCION		
3A	5.45	23.33	27.25	37.20		25.72	38.58	26.15	36.51
3A	5.43	23.16	27.15	37.30		25.91	41.02	27.80	37.38
3A	5.43	23.16	27.15	38.20		25.91	41.02	27.69	40.70
3A	5.42	23.07	27.10	37.50		26.00	36.84	24.45	38.38
3A	5.45	23.33	27.25	37.00		25.72	38.58	26.12	35.78
3B	6.33	31.47	31.65	43.90		28.60	44.44	25.52	38.70
3B	6.25	30.68	31.25	43.50		29.34	45.62	26.20	39.20
3B	6.23	30.48	31.15	44.20		29.53	45.93	26.35	42.22
3B	6.29	31.07	31.45	43.85		28.97	45.06	25.96	39.43
3B	6.32	31.37	31.60	45.20		28.69	44.63	25.57	43.04
2A	5.48	23.59	50	65.76	2.71	26.71	36.03	25.01	31.52
2A	5.46	23.41	50	66.26	2.76	25.63	35.88	24.35	32.52
2A	5.43	23.16	50	66.92	2.72	26.34	35.84	23.75	33.84
2A	5.51	23.84	50	68.12	2.56	25.17	35.23	22.02	36.24
2A	5.42	23.07	50	68.00	2.58	25.14	35.98	22.97	36.00
2A	5.43	23.16	50	66.58	2.64	25.91	38.00	23.75	33.16
2A	5.43	23.16	50	65.44	2.57	25.91	36.27	24.61	30.88
2A	5.37	22.65	50	67.96	2.50	26.93	36.20	24.72	35.92

TABLA 3.9 PRUEBAS DE TRACCION ALAMBRO NACIONAL

PRODUCTO	D <sub>0</sub>	A	L <sub>0</sub>	L <sub>f</sub>	D <sub>f</sub>	FLUJENCIA	TRACCION	ROTURA	ALARGAMIENTO (%)
2A	5.49	23.67	50	66.00	2.63	23.24	33.80	21.97	32.00
2B	6.27	30.88	50	66.66	2.88	25.91	34.81	21.86	33.32
2B	6.27	30.88	50	69.28	2.90	24.29	34.00	21.37	38.56
2B	6.27	30.88	50	69.81	2.92	24.93	34.00	20.24	39.62
2B	6.28	30.97	50	67.91	3.05	27.45	33.90	20.34	35.82
2B	6.33	31.47	50	67.65	2.8	27.01	35.59	21.61	35.3
2B	6.25	30.68	50	68.13	3.10	26.08	35.20	22.49	36.26
2B	6.27	30.88	50	70.59	2.85	27.53	36.43	22.67	41.48
2B	6.34	31.57	50	70.87	2.92	24.39	34.05	21.86	41.74
2B	6.25	30.68	50	67.23	2.76	29.33	39.11	22.82	34.46
2B	6.28	30.97	50	68.55	2.72	27.12	36.49	23.25	37.10
2B	6.28	30.97	50	65.83	3.12	27.77	37.13	22.28	31.66
2B	6.30	31.17	50	66.8	2.88	27.91	36.09	21.49	33.6
2B	6.33	31.47	50	67.91	3.03	29.87	38.77	22.24	35.82
1B	6.48	32.98	50	64.66	3.36	31.08	42.45	27.29	28.92
1B	6.33	31.47	50	64.42	3.47	30.19	41.31	27.80	28.84
1B	6.33	31.47	50	65.30	3.46	32.41	42.90	28.60	30.6
1B	6.29	31.07	50	68.82	3.30	33.47	43.45	29.29	36.44
1B	6.28	30.97	50	67.20	3.49	33.90	42.94	29.38	34.44
1B	6.29	31.07	50	65.43	3.31	30.58	41.84	28.97	30.86
1B	6.28	30.97	50	67.70	3.38	31.48	42.62	28.74	35.4

TABLA 3.9 (continuación)

PRODUCTO	DIAMETRO INICIAL mm	AREA mm <sup>2</sup>	LONGITUD INICIAL mm	LONGITUD FINAL mm	DIAMETRO FINAL mm	RESISTENCIA (Kg/mm <sup>2</sup> )			ALARGAMIENTO %
						FLUENCIA	TRACCION	ROTURA	
4A	5.64	24.98	50	67.52	2.74	28.02	35.83	25.62	35.04
4A	5.64	24.98	50	69.76	2.63	27.22	37.63	24.02	39.52
4A	5.62	24.81	50	67.10	2.65	26.60	37.48	24.99	34.20
4A	5.64	24.98	50	63.90	2.72	26.42	38.03	28.02	27.8
4A	5.62	24.81	50	65.30	2.68	28.21	37.89	24.99	30.6
5A	5.64	24.98	50	63.46	2.90	26.42	37.83	27.22	26.92
5A	5.65	25.07	50	62.68	2.56	26.13	37.30	25.53	25.36
5A	5.64	24.98	50	69.02	2.52	26.82	37.23	26.02	38.04
5A	5.45	23.33	50	63.84	2.81	26.79	36.43	23.57	27.68
5A	5.45	23.33	50	66.56	2.68	27.86	36.43	23.57	33.12
5A	5.40	22.90	50	69.38	2.52	28.38	37.12	26.20	38.76
6A	5.62	24.81	50	64.64	2.91	31.24	39.50	25.19	29.28
6A	5.62	24.81	50	66.16	2.88	31.24	39.90	26.20	32.32
6A	5.62	24.81	50	65.30	2.84	30.23	38.29	24.18	30.60
6A	5.61	24.72	50	65.56	2.68	30.34	38.43	26.29	31.12
6A	5.61	24.72	50	66.58	2.79	28.32	38.43	24.27	33.16

TABLA 3.10 PRUEBAS DE TRACCION ALAMBROON IMPORTADO

PRODUCTO	D <sub>0</sub>	A	L <sub>0</sub>	L <sub>f</sub>	D <sub>f</sub>	FLUENCIA	TRACCION	ROTURA	ALARGAMIENTO (%)
6E	11.05	95.89	50	72.89	5.30	23.25	33.27	20.86	45.7
6E	11.06	96.07	50	71.46	5.02	22.38	33.10	20.51	42.92
6E	11.05	95.89	50	70.85	5.20	21.90	33.37	20.65	41.7
6E	11.05	95.89	50	73.80	4.90	21.38	32.75	20.02	47.6
6E	11.05	95.89	50	70.88	5.13	22.73	32.64	20.34	41.76
7C	8.11	51.62	50	66.00	4.0	28.57	39.23	24.21	33.0
7C	8.12	51.78	50	70.12	3.98	27.04	37.66	23.75	40.24
7C	8.02	50.52	50	67.89	3.94	29.99	40.38	24.74	35.76
7C	8.03	50.64	50	71.20	3.89	27.65	38.7	23.70	42.4
7C	8.05	50.89	50	68.91	4.0	27.02	38.32	23.97	37.82
7C	8.03	50.64	50	68.08	3.9	26.17	38.51	24.68	36.16
7C	8.04	50.77	50	68.22	3.95	26.59	38.41	24.62	36.44
7C	8.01	50.39	50	68.50	3.86	27.78	39.39	25.30	37.00
7C	7.96	49.76	50	68.65	4.08	27.13	38.38	26.12	37.3
7C	8.04	50.77	50	67.43	4.44	24.13	37.42	26.59	34.86

TABLA 3.10 (continuación)

PRODUCTO	RESISTENCIA (Kg/mm <sup>2</sup> )			ALARGAMIENTO %
	FLUENCIA	TRACCION	ROTURA	
1B	31.87	42.50	28.58	32.21
2A	25.66	35.92	23.68	33.56
2B	26.90	35.81	21.89	36.5
3A	25.85	39.21	26.44	37.75
3B	29.03	45.15	25.92	40.52
4A	27.29	37.37	25.53	33.43
5A	27.07	37.06	25.35	31.65
6A	30.27	38.91	25.23	31.3
6E	22.33	33.03	20.48	43.94
7C	27.21	38.64	24.77	36.99

TABLA 3.11 DATOS PROMEDIO DEL ENSAYO DE TRACCION DE ALAMBON NACIONAL E IMPORTADO

tos estudiados.

#### 3.4.4 PRUEBAS DE DOBLADO EN EL ALAMBRO NACIONAL

La secuencia en la preparación de probetas para este ensayo se efectuó de la siguiente manera :

- Cortar una muestra de 600 mm de longitud<sup>(11)</sup>
- Seleccionar la distancia entre apoyos según el diámetro.
- Seleccionar el mandril de doblado de acuerdo al diámetro ensayado.
- Efectuar el ensayo sobre el resalte longitudinal.
- Observar la presencia de fisuras en la barra

La máquina utilizada para este ensayo se muestra en la Figura 3.23.

#### 3.4.5 ENSAYO DE DOBLEZ EN EL ALAMBRO IMPORTADO

Por tratarse del mismo ensayo de la sección anterior la secuencia de operaciones es similar, sólo varía la procedencia del producto.

Las inspecciones de estas pruebas se rigen en base a la norma dada por el INEN para alambros. Algunas de las probetas ensayadas se aprecian en la Fig. 3.24.



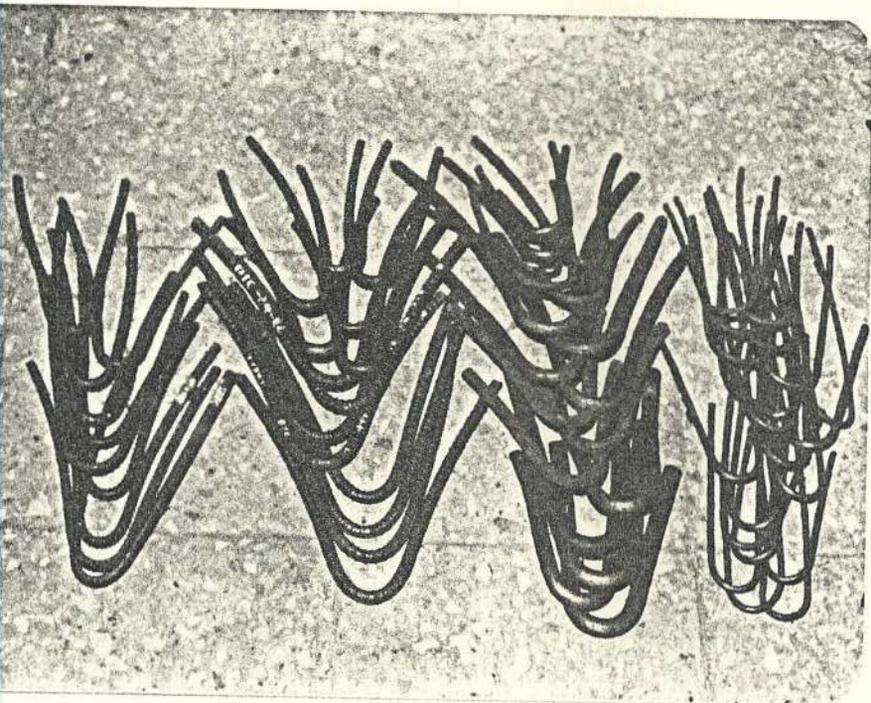


Fig. 3.24 MUESTRAS DE MATERIAL LAMINADO, LUEGO DE REALIZAR EL ENSAYO DE DOBLADO.

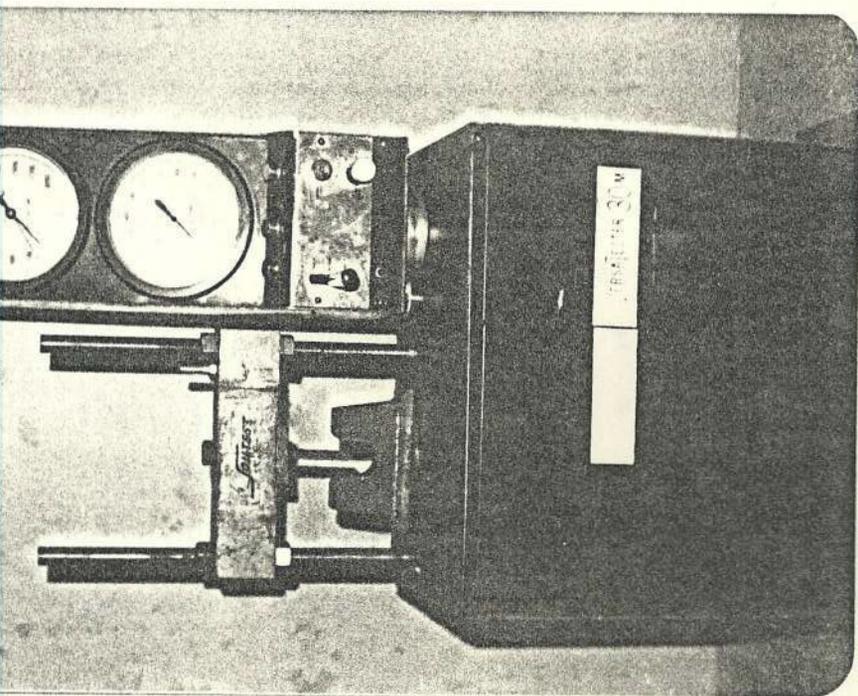


Fig. 3.23 MAQUINA PARA EL ENSAYO DE DOBLADO.



POLITECNICA DEL LITORAL  
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"  
F.I.M.C.P.

## DISCUSION DE RESULTADOS

Una vez detallado los procedimientos con los que se realizaron las diferentes pruebas experimentales, se analiza cada uno de ellos :

- En las Tablas 3.1 al 3.4 se muestra que la composición química del alambón nacional e importado se encuentran dentro del rango permisible, según los requisitos establecidos por la norma INEN MC 06.04-401, para alambón de acero al carbono usado en trefilación o laminación en frío.

- La macrofotografía de la Fig. 3.3, nos revela una distribución uniforme de los granos en toda su extensión, es decir homogeneidad total debido al proceso de fabricación. Las Figuras 3.7 al 3.9 muestran las reducciones sucesivas en las primeras pasadas de laminación, observándose que la superficie que se encuentra a menor temperatura, forma una especie de coraza forzando al núcleo que está a mayor temperatura a adoptar la forma del canal; también se aprecia un cambio de coloración debido al grado de distorsión mayor de una zona a otra causada por la alineación en la dirección principal de la deformación mecánica (fibrado mecánico).<sup>(13)</sup>

- En Fig. 3.4, el macroataque de la palanquilla de colada

continua muestra que los granos están orientados en la dirección de solidificación, siendo estos más pequeños conforme se alejan del centro de la palanquilla debido a la diferente velocidad de enfriamiento.

- La Fig. 3.5, muestra la microestructura correspondiente a un acero de bajo carbono (SAE 1007) con la fase continua de ferrita y escasa perlita en los límites de grano; su estructura es equiaxiada resultado de una laminación en caliente.<sup>(6)</sup>
- En la Fig. 3.6, la microestructura contiene la fase ferrita en una proporción mayor y escasa perlita; a diferencia de la anterior, ésta posee incrustaciones de impurezas en la fase ferrítica causada por una mala desoxidación.
- Al analizar las microestructuras del alambroón de fabricación nacional e importado (Fig. 3.11 al 3.18), se observan, las dos fases ferrita y perlita en mayor o menor porcentajes y un tamaño de grano promedio número 9, según la norma ASTM E112.
- El gráfico de la Fig. 3.19, nos muestra la variación de la dureza en una diagonal de la sección transversal de la palanquilla de colada continua y laminada. El

primer caso, muestra una dureza variable entre 74 y 67 Rb debido a diferentes velocidades de enfriamiento durante la solidificación. Además, en la pasada 16<sup>ava</sup> dio un valor de 49.8 Rb. La palanquilla laminada, en cambio, presenta una dureza uniforme propia de una estructura homogeneizada por tratamiento termomecánico.

- También se desarrollaron diferentes curvas de dureza en las reducciones intermedias de la palanquilla laminada. Así por ejemplo, las Figuras 3.20 y 3.21 nos muestran valores de dureza que oscilan entre 37 y 53 Rb para las pasadas tercera, cuarta, quinta y décimosexta, no así para la sexta cuya dureza es alrededor de 96 Rb, debido a que se detiene el material para cortar punta y cola, lo que motiva dicho endurecimiento.<sup>(6)</sup>

Estos valores se justifican debido a las diferentes temperaturas a que se encuentran y la forma de responder al tratamiento termomecánico.

- Los valores de microdureza del alambrón se encuentran en el rango de 124 Knoop (62 Rb) para el producto 2 y de 168 Knoop (81 Rb) para el producto 7, debido a la diferencia de microestructura que se muestra según Figuras 3.14 y 3.16.

- De acuerdo a los datos obtenidos de masa y ovalidad, el producto tipo liso tanto de alambón nacional como importado cumple la norma establecida por el INEN, como se constata al comparar las Tablas 3.6 y 3.7 con el Apéndice A.
  
- La tenacidad medida en la materia prima, esto es en la palanquilla, presenta una diferencia muy marcada con respecto a las direcciones debido a la estructura presente. En el caso de la palanquilla de colada continua, los granos grandes están en la parte central y los pequeños en la periferia, siendo los primeros más propensos a fracturarse. En la palanquilla laminada los granos se encuentran alargados en la dirección de laminación y su valor bajo de energía se presenta cuando la probeta se obtuvo perpendicular a esta dirección. En la Tabla 3.8 se resumen todos los valores.<sup>(1)</sup>
  
- Al analizar los valores promedios de los ensayos de tracción (Tabla 3.11), se deduce que tanto el alambón de fabricación nacional como el extranjero satisface el rango permisible de la norma ASTM, pero un producto de mejor calidad se obtiene cuando la resistencia máxima es de  $35 \text{ Kg/mm}^2$  y el alargamiento 30% según datos prácticos.\*

---

\* Informes de rutinas de trefilación en plantas locales (Fca. Clavos Guayas, AGA del Ecuador, etc).

De acuerdo a esto, se puede constatar que el producto extranjero cumple estos límites, mientras que el nacional se excede.

En resumen, la composición química del material y su tratamiento termomecánico gobiernan las propiedades finales del alambión durante el proceso de deformación.

- Al realizar las inspecciones del ensayo de doblado tanto del alambión nacional como de fabricación extranjera no se presentaron fallas objetables según la norma INEN.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones a las que se ha llegado se exponen a continuación :

- 1) El análisis químico efectuado demuestra que existen pequeñas variaciones tanto en el producto nacional como en el importado, lo cual permite cubrir los requerimientos de la gama de productos que utilizan el alambón como materia prima.
- 2) Por tratarse de un acero de bajo contenido de carbono, la influencia del resto de los elementos presentes causa, en el caso del fósforo, una elevación de la resistencia a la tracción para aceros menores a 0.5% de carbono, y una disminución de la elongación que origina fragilidad en frío en el acero<sup>(10)</sup>.

El azufre es un activo formador de inclusiones internas y externas, lo que trae consigo fragilidad en caliente del material.

El manganeso, principal elemento después del carbono, provoca una disminución del porcentaje de elongación cuando se incrementa su contenido en el acero.



Finalmente, el silicio ayuda a la acción del carbono dándole mayor resistencia y su incremento repercute en una disminución del porcentaje de elongación.

- 3) En el alambre nacional, la materia prima corresponde a dos fuentes, una de colada continua (productos 1 y 3) y otra de palanquilla laminada (producto 2). En el primer caso se observa una estructura heterogénea causada por el proceso de fabricación y una mala desoxidación que trae consigo un producto con impurezas que repercute en las propiedades mecánicas finales. En el segundo caso, el producto es homogéneo como resultado de una laminación en caliente, por lo que presenta una estructura equiaxial bien definida.
- 4) Los criterios mencionados anteriormente justifican la variación de la tenacidad del material en el ensayo de impacto.
- 5) El producto 2 correspondiente al alambre nacional, presenta en las subsecuentes reducciones una disminución progresiva del tamaño de grano como se aprecia en las Fig. 3.5, 3.10 y 3.16. Este efecto se debe al tratamiento termomecánico sufrido, lo cual se puede corroborar al revisar el cuadro de durezas del producto en mención<sup>(6)</sup>.

- 6) Tanto el alambroón nacional como el importado presenta en su estructura las fases de ferrita y perlita en cantidades proporcionales a su contenido de carbono, según se aprecia en las Fig. 3.11 al 3.18.
- 7) Los productos materia de nuestro estudio presentan un tamaño de grano número 9. Su influencia en las propiedades mecánicas dependerá de como se encuentren distribuidos los carburos en su microestructura<sup>(10)</sup>.
- 8) Las durezas obtenidas del producto terminado (Tabla 3.5) se encuentran entre 124 Knoop (62 Rb) y 168 Knoop (81 Rb), las cuales deberán ser tan bajas como sea posible para tener una ductilidad moderada.
- 9) Los valores obtenidos en los ensayos de masa y ovalidad de los materiales estudiados satisfacen la norma establecida por el INEN.
- 10) Los parámetros de mayor consideración relativos al ensayo de tracción son la resistencia máxima y el alargamiento. Estos valores se encuentran un poco elevados en el caso del alambroón nacional, específicamente, los productos 1 y 3 debido a la variación en la composición química. El alambroón importado posee un rango uniforme y conveniente para usos posteriores.

- 11) El ensayo de doblado realizado para el alambre nacional e importado dio resultados favorables según establece la norma INEN.
  
- 12) En resumen se podría manifestar que un producto aceptable para el proceso de trefilación se obtendría controlando en la composición química un porcentaje de Mn entre 0.30 a 0.35 y un porcentaje de silicio menor de 0.10. El producto terminado debe presentar una resistencia a la tracción alrededor de  $35 \text{ Kg/mm}^2$  y un porcentaje de alargamiento mínimo de 30% para poder ser trefilado sin ningún inconveniente.

Las recomendaciones son expuestas a continuación :

- 1) En el caso del alambre de fabricación nacional, se debería dar mayor atención a la materia prima utilizada en los productos 1 y 3. Se establece desde un principio que su estructura heterogénea repercute en los parámetros ensayados en el producto final, no así el producto 2 cuyo proceso de fabricación resulta en una estructura homogénea que se traduce en buenas propiedades recomendadas para trefilar.



- 2) El alambión importado analizado en bloque presenta variaciones pequeñas unas con otras lo que hace de él un producto apto para las exigencias de los consumidores.
- 3) En caso de definirse por uno de los dos bloques estudiados, se debería seleccionar el producto 2 que corresponde al alambión nacional, el mismo que cumple las exigencias establecidas en la norma y además nos proporciona una economía considerable al evitar la fuga de divisas aunque se emplee materia prima importada. Al mismo tiempo se mantienen las fuentes de trabajo establecidas y se sigue experimentando en materia de laminación consiguiéndose un adelanto técnico y tecnológico para nuestro país.



A P E N D I C E S

FSP01

APENDICE A

PROCEDENCIA DEL PRODUCTO	SIMBOLOGIA UTILIZADA
FUNASA	1
CHILE	2
EE.UU.	3
SUIZA	4
BELGICA	5
CANADA	6
AUSTRALIA	7

Procedencia de los productos estudiados

DIAMETRO LAMINADO (mm)	SIMBOLOGIA UTILIZADA
5.5	A
6.35	B
8	C
10	D
11	E
12	F

Diámetros ensayados



TIPOS DE DEFECTOS	T O L E R A N C I A S	
	PROFUNDIDAD	LONGITUD
Fisura longitudinal	máx 0.20	máx 1.5
Rayadura	máx 0.10	-
Picadura	máx 0.10	máx 0.10
Reventón	máx 0.10	-

ALAMBRO. DEFECTOS SUPERFICIALES (mm)

DIAMETRO NOMINAL (mm)	DISTANCIA MINIMA AL EXTREMO DEL ROLLO (m)
5.5 a 6.5	5.0
7 a 12.5	4.0

ALAMBRO. DESCARTE DE EXTREMOS

ELEMENTO	LIMITE O MAXIMO DEL RANGO ESPECIFICADO (%)	SOBRE EL LIMITE MAXIMO (%)	BAJO EL LIMITE MINIMO (%)
Carbon	hasta 0.25	0.02	0.02
	sobre 0.25 hasta 0.55	0.03	0.03
	sobre 0.55	0.04	0.04
Manganeso	hasta 0.90	0.03	0.03
	sobre 0.90 hasta 1.65	0.06	0.06
Fósforo	hasta 0.040 incl.	0.008	-
Azufre	hasta 0.060 incl.	0.008	-
Silicio	hasta 0.35 incl.	0.02	0.02
	sobre 0.35 hasta 0.60	0.05	0.05
Cobre	sólamete bajo el mínimo	-	0.02
Plomo	0.15 a 0.35 inclusive	0.03	0.03

ANALISIS DE PRODUCTO DE ACEROS AL CARBONO  
VARIACIONES PERMISIBLES



CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS BARRAS LISAS									
DIAMETRO NOMINAL (mm)	VALORES DE MASA (kg/m)			OVALIDAD MÁXIMA (mm)	DIAMETRO (mm)		AREA TRANSVERSAL NOMINAL (mm) <sup>2</sup>		
	MAXIMO	INEN	MINIMO		MAXIMO	MINIMO			
5.5	0.198	0.187	0.176	0.50	5.8	5.2	23		
6.35	0.264	0.249	0.234	0.50	6.65	6.05	31		
8	0.413	0.390	0.367	0.50	8.30	7.70	50		
9	0.629	0.499	0.469	0.65	9.40	8.60	63		
10	0.645	0.620	0.595	0.65	10.40	9.60	79		
11	0.788	0.755	0.722	0.65	11.40	10.60	95.03		
12	0.926	0.890	0.854	0.65	12.40	11.60	113		

## APENDICE B

El trazado general se divide en dos partes, la primera que comprende el trazado del tren desbastador y la segunda el tren de perfiles que incluye los trenes intermedio y terminador.<sup>(16)</sup>

TRAZADO :

TREN DESBASTADOR .-

Sección inicial = 9950 mm<sup>2</sup>

Sección final = 1741 mm<sup>2</sup>

Número de pasadas = 5

$$\text{Reducción promedio} = \frac{\lambda - 1}{\lambda} \times 100$$

$$\lambda = \sqrt[n]{\frac{s \cdot \text{inicial}}{s \cdot \text{final}}}$$

$$\lambda = \sqrt[5]{\frac{9950}{1741}}$$

$$\lambda = 1.41$$

$$\text{Reducción promedio} = \frac{1.41 - 1}{1.41} \times 100$$

$$= 29\%$$

## TREN INTERMEDIO.-

$$\text{Sección inicial} = 1741 \text{ mm}^2$$

$$\text{Sección final} = 774 \text{ mm}^2$$

$$\text{Número de pasadas} = 3$$

$$\text{Reducción promedio} = \frac{\lambda - 1}{\lambda} \times 100$$

$$\lambda = \sqrt[n]{\frac{s. \text{ inicial}}{s. \text{ final}}}$$

$$\lambda = \sqrt[3]{\frac{1741}{774}}$$

$$\lambda = 1.31$$

$$\text{Reducción promedio} = \frac{1.31 - 1}{1.31} \times 100$$

$$= 24\%$$

## TREN TERMINADOR.-

$$\text{Sección inicial} = 774 \text{ mm}^2$$

$$\text{Sección final} = 475 \text{ mm}^2$$

$$\text{Reducción promedio} = \frac{\lambda - 1}{\lambda} \times 100$$

$$\lambda = \sqrt[n]{\frac{s. \text{ inicial}}{s. \text{ final}}}$$

$$\lambda = \sqrt[2]{\frac{774}{475}}$$



$$\lambda = 1.28$$

$$\begin{aligned} \text{Reducción promedio} &= \frac{1.28 - 1}{1.28} \times 100 \\ &= 22\% \end{aligned}$$

Después de realizado los cálculos, se aprecia que se ha disminuido la reducción promedio de área a 24% en el tren intermedio gracias a una gran reducción de 29% en el desaste.

El cálculo del ángulo de contacto y del porcentaje de reducción relativa de altura, se realizan en base al ángulo máximo. En vista de que en todas las pasadas los cálculos son repetitivos, se detalla para el tren de perfiles y luego se tabula.

#### TREN DE PERFILES.-

CAJA N° 1

PASADA SUPERIOR

SEC. ENTRADA

SEC. SALIDA

$$h_1 = b_1 = 43 \text{ mm}$$

$$h_2 = 32 \text{ mm}$$

$$A_1 = 1741 \text{ mm}^2$$

$$b_2 = 60 \text{ mm}$$

$$D_c = 338 \text{ mm}$$

$$A_2 = 1350 \text{ mm}^2$$

$$\cos \alpha_{\text{máx}} = 1 - \frac{h_{1\text{máx}} - h_{2\text{min}}}{D_{\text{min}}}$$

$$\begin{aligned}
 D_{\min} &= D_c - h_{2\min} \\
 &= 338 - 32 \\
 &= 306 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\cos \alpha_{\max} = 1 - \frac{43-32}{306}$$

$$\alpha_{\max} = 15.41^\circ$$

$$\begin{aligned}
 E\% &= \frac{h_1 - h_2}{h_1} \times 100 \\
 &= \frac{43-32}{43} \times 100
 \end{aligned}$$

$$E\% = 25.58\%$$

CAJA N°1

## PASADA INFERIOR

## SEC. ENTRADA

$$h_1 = 60 \text{ mm}$$

$$b_1 = 32 \text{ mm}$$

$$A_1 = 1350 \text{ mm}^2$$

$$D_c = 338 \text{ mm}$$

$$D_{\min} = D_c - h_{2\min}$$

$$= 338 - 23.5$$

$$D_{\min} = 314.5 \text{ mm}$$

## SEC. SALIDA

$$h_2 = 23.5 \text{ mm}$$

$$b_2 = 56 \text{ mm}$$

$$A_2 = 1016 \text{ mm}^2$$

$$\cos \alpha_{\max} = 1 - \frac{h_1 \text{ máx} - h_2 \text{ min}}{D_{\min}}$$

$$= 1 - \frac{60 - 23.5}{314.5}$$

$$\alpha \text{ máx} = 27.88^\circ$$

$$E\% = \frac{h1 - h2}{h1} \times 100$$

$$= \frac{60 - 23.5}{60} \times 100$$

$$E\% = 60.83\%$$

### CAJA N° 2

#### SEC. ENTRADA

$$h1 = 56 \text{ mm}$$

$$b1 = 23.5 \text{ mm}$$

$$A1 = 1016 \text{ mm}^2$$

$$Dc = 340 \text{ mm}$$

$$Dmin = Dc - \text{Diag}$$

$$= 340 - 35.34$$

$$Dmin = 304.66 \text{ mm}$$

#### SEC. SALIDA

$$h2=b2=28.5 \text{ mm}$$

$$A2= 774 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diagonal cuadrado} = 35.34 \text{ mm}$$

$$\text{Cos } \alpha \text{ máx} = 1 - \frac{h1 \text{ máx} - h2 \text{ min}}{Dmin}$$

$$= 1 - \frac{56 - 35.34}{304.66}$$

$$\alpha \text{ máx} = 21.22^\circ$$

$$E\% = \frac{h1 - h2}{h1} \times 100 = \frac{56 - 35.34}{56} \times 100$$

$$= 36.9\%$$

CAJA N° 5

SEC. ENTRADA

$$h_1 = b_1 = 28.5 \text{ mm}$$

$$A_1 = 774 \text{ mm}^2$$

$$D_c = 340$$

$$D_{\min} = D_c - h_2 \text{ min}$$

$$= 340 - 22$$

$$D_{\min} = 318 \text{ mm}$$

SEC. SALIDA

$$h_2 = 22 \text{ mm}$$

$$b_2 = 33.5 \text{ mm}$$

$$A_2 = 581 \text{ mm}^2$$

$$\cos \alpha_{\max} = 1 - \frac{h_1 \max - h_2 \min}{D_{\min}}$$

$$= 1 - \frac{28.5 - 22}{318}$$

$$\alpha_{\max} = 11.6^\circ$$

$$E\% = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \times 100 = \frac{28.5 - 22}{28.5} \times 100$$

$$E\% = 22.81\%$$



Cabe señalar que cada cálculo individual se realiza con da tos de acuerdo a la posición que toma el material en cada pasada tanto a la entrada como a la salida.

Se hace un resumen de los valores obtenidos tanto del ángu lo de contacto máximo como de las reducciones de altura re

lativa de los trenes en mención :

T R E N   D E S B A S T A D O R

PASE	1.-	2.-	3.-	4.-	5.-
$\alpha$ máx	19.99°	29.5°	26.26°	18.8°	25.15°
$\epsilon$ %	25%	45.83%	31.88%	37.5%	44.13%

T R E N   I N T E R M E D I O   Y   T E R M I N A D O R

PASE	1.Sup.	1.Inf.	2.-	5.-	6.-
$\alpha$ máx	15.41°	14.37°	21.22°	11.6°	13.57°
$\epsilon$ %	25.58%	34.38%	36.9%	22.81%	26.26%

TABLA 2.6 VALORES DEL ANGULO DE CONTACTO Y REDUCCION RELATIVA DE ALTURA.

De la inspección de estos cuadros es evidente que las pasadas con mayores ángulos son aquellas de óvalo a cuadrado, debido principalmente a la posición que toma el óvalo al entrar en la siguiente canal cuadrada.

Otro detalle importante es que no necesariamente se debe mantener una proporción de una caja a otra, entre el ángulo de contacto y la reducción relativa de altura,

ya que depende de la altura inicial y final del material y más aún del tipo de canal tallado en los cilindros.

A continuación, para el desarrollo de la fórmula de ensanchamiento de Ekelund se utiliza el método numérico de Newton y Raphson.

En esta fórmula intervienen elementos que requieren ser calculados previamente como son : Las alturas medias y los radios de trabajo de cada pasada. Para los primeros usamos nomogramas, los mismos que se presentan en las Figuras 2.10, 2.11, y 2.12 de acuerdo al tipo de canal.

En los nomogramas se trata de determinar la relación  $hm/hm_{\text{máx}}$ , en la que  $hm$  es la incógnita y corresponde a la altura media, mientras que  $hm_{\text{máx}}$  es la altura que alcanza en los puntos más sobresalientes.

### ENSANCHAMIENTO EN CAJA 1

### PASADA SUPERIOR

#### PRIMER PASO

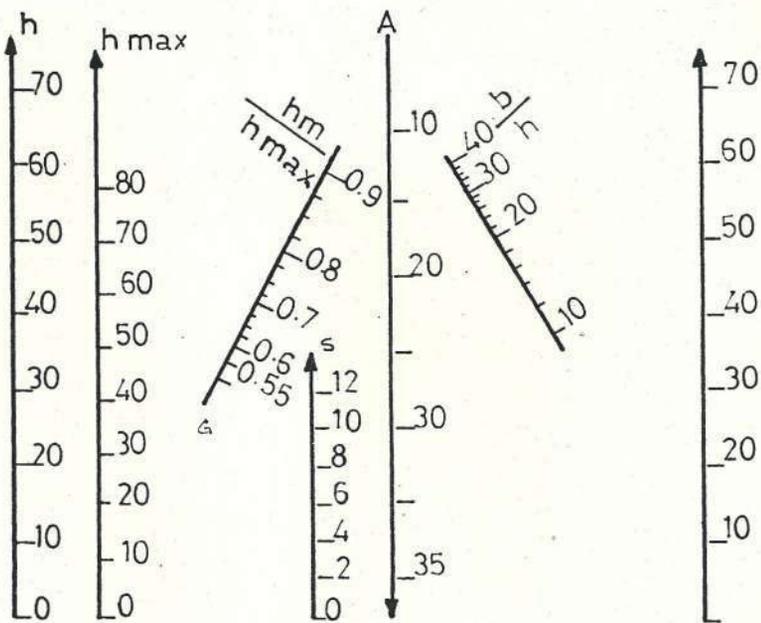
Valores del óvalo según plano :

$$h = 32 \text{ mm} \qquad b/h = 1.875$$

$$e = 8 \text{ mm} \qquad e/h = 0.25$$

según nomograma

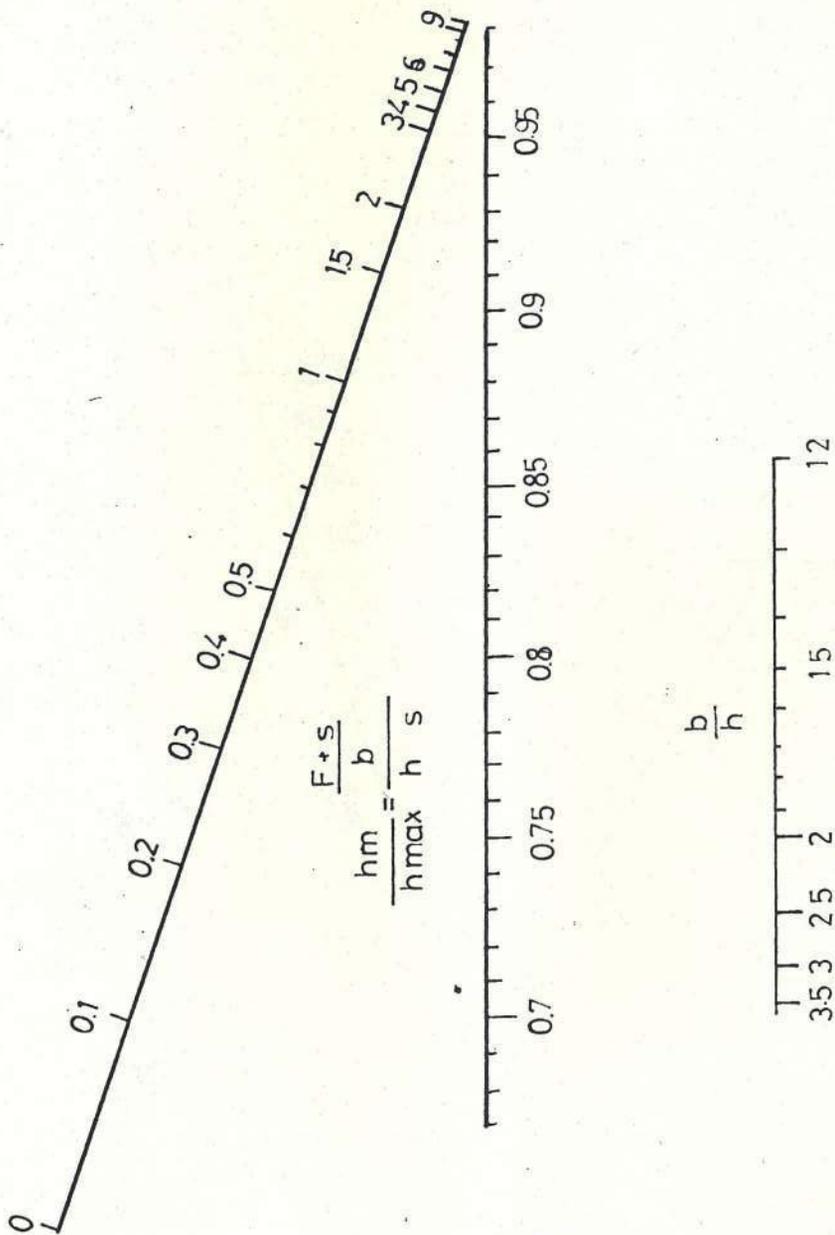




Nomograma para determinar relación  $h_m/h_{max}$   
de ovalos exagonales

FIG. 2:10

Fig. 2.10 NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LA RELACION  $h_m/h_{m\acute{a}x}$ .  
DE OVALOS EXAGONALES. <sup>(16)</sup>

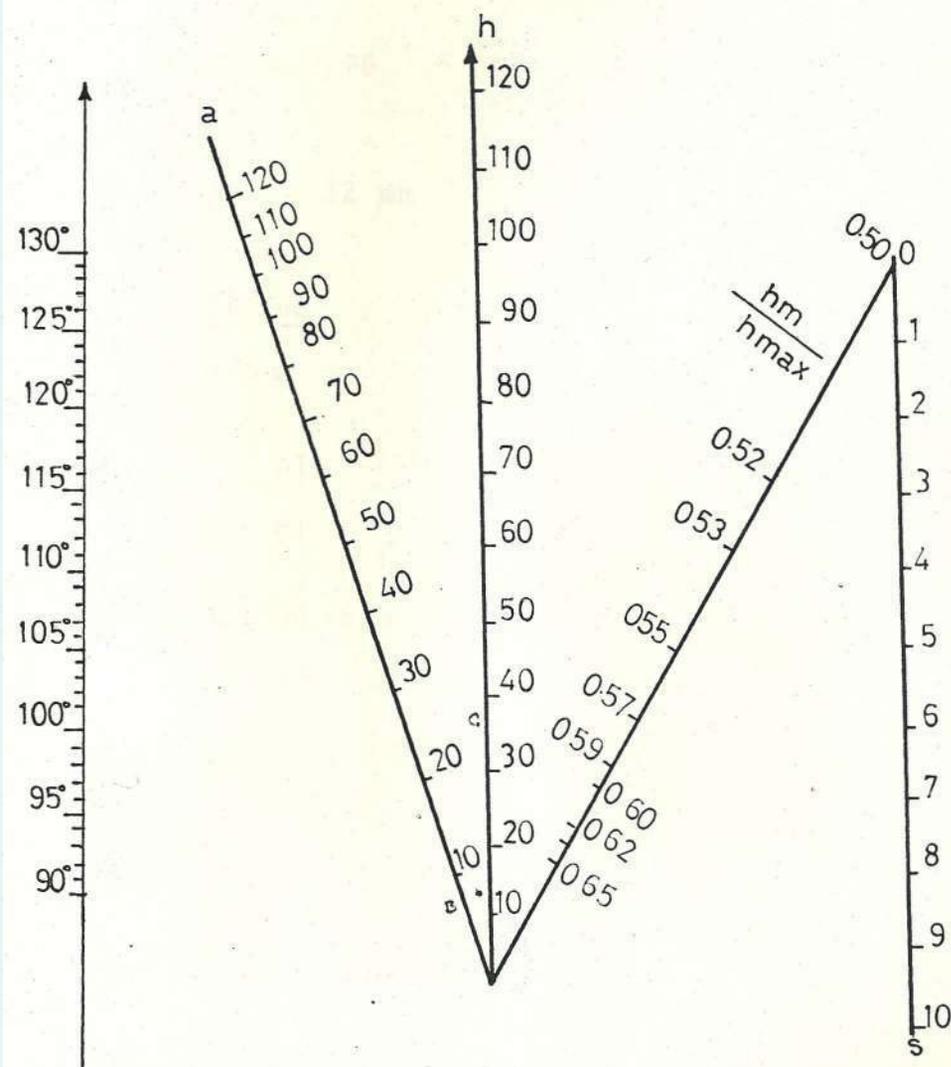


Nomograma para determina relacion  $hm/h_{max}$  de ovalos de un solo radio

FIG 2 11

Fig. 2.11 NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LA RELACION  $hm/h_{m\acute{a}x}$ . DE OVALOS DE UN SOLO RADIO. <sup>(16)</sup>





Nomograma para determinar relación  $hm/h_{max}$  de cuadrados y diamantes

FIG 2 12

Fig. 2.12 NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LA RELACION  $hm/h_{m\acute{a}x}$ . DE CUADRADOS Y DIAMANTES. (16)

$$\frac{h_m}{h_{m\acute{a}x}} = m$$

$$\frac{h_m}{h_{m\acute{a}x}} = 0.76$$

$$h_{m\acute{a}x} = 32 \text{ mm}$$

$$h_{2m} = m \times h_{m\acute{a}x}$$

$$= 0.76 \times 32$$

$$h_{2m} = 24.32 \text{ mm}$$

### ENTRADA

$$b_1 = 43 \text{ mm}$$

$$h_{1m} = \frac{A_1}{b_1} = \frac{1741}{43}$$

$$h_{1m} = 40.49 \text{ mm}$$

$$h_{1m} + h_{2m} = 64.81 \text{ mm}$$

$$\Delta h_m = h_{1m} - h_{2m} = 16.17 \text{ mm}$$

### SALIDA

$$h_{2m} = 24.32 \text{ mm}$$

$$b_2 = ?$$

$$t = 1000^\circ\text{C}$$

$$e = 8 \text{ mm}$$

### SEGUNDO PASO

Cálculo Radio de Trabajo :

$$R_t = \frac{D_t}{2} = \frac{D_c - h_{2m} + e}{2}$$

$$R_t = \frac{338 - 24.32 + 8}{2}$$

$$R_t = 160.84 \text{ mm}$$

### TERCER PASO

Cálculo Coeficiente de Fricción :

$$\begin{aligned}\mu &= 0.8 (1.05 - 0.0005 t^{\circ}\text{C}) \\ &= 0.8 (1.05 - 0.0005 \times 1000)\end{aligned}$$

$$\mu = 0.44$$

#### CUARTO PASO

Cálculo Factor "m"

$$m = \frac{1.6\mu \sqrt{R \cdot \Delta h} - 1.2 \Delta h}{h_1 + h_2}$$

$$m = \frac{1.6 (0.44) \sqrt{160.84 \times 16.17} - 1.2 \times 16.17}{64.81}$$

$$m = 0.255$$

#### QUINTO PASO

Aplicación Fórmula de Ekelund :

$$b_2^2 - b_1^2 = 8m \sqrt{R \cdot \Delta h} \cdot \Delta h - 4m (h_1 + h_2) \sqrt{R \cdot \Delta h} \ln \frac{b_2}{b_1}$$

$$b_2^2 - (43)^2 = 8 \times 0.255 \sqrt{160.84 \times 16.17} - 4 \times 0.255 (64.81) \sqrt{160.84 \times 16.17} \ln \frac{b_2}{43}$$

$$b_2^2 - 1849 = 1682.26 - 3371.28 \ln \frac{b_2}{43}$$

$$b_2^2 + 3371.28 \ln \frac{b_2}{43} - 3531.26 = 0$$

Aplicando método Newton y Raphson :

$$f(b_2) = b_2^2 + 3371.28 \ln \frac{b_2}{43} - 3531.26$$



$$f'(b_2) = 2b_2 + \frac{3371.28}{b_2} \quad (2)$$

Asumimos un valor para  $b_2$

$$b_2a = 34 \text{ mm}$$

Reemplazamos en (1) y (2) :

$$f(b_2) = (34)^2 + 3371.28 \ln \frac{34}{43} - 3531.26$$

$$f(b_2) = -3166.97$$

$$f'(b_2) = 167.155$$

Segunda aproximación

$$b_2B = b_2A - \frac{f(b_2A)}{f'(b_2A)}$$

$$= 34 - \frac{-3166.97}{167.155}$$

$$b_2B = 52.95$$

Reemplazo en (1) y (2) :

$$f(b_2B) = (52.95)^2 + 3371.28 \ln \frac{52.95}{43} - 3531.26$$

$$f(b_2B) = -25.83$$

$$f'(b_2B) = 169.57$$

Tercera aproximación

$$b_2C = b_2B - \frac{f(b_2B)}{f'(b_2B)}$$

$$= 52.95 - \frac{-25.83}{169.57}$$

$$b_2C = 53.10$$

Reemplazo en (1) y (2) :

$$f(b_2C) = (53.10)^2 + 3371.28 \ln \frac{53.10}{43} - 3531.26$$

$$f(b_2C) = -0.388$$

$$f'(b_2C) = 169.69$$

Cuarta aproximación

$$b_2D = b_2C - \frac{f(b_2C)}{f'(b_2C)}$$

$$= 53.10 - \frac{-0.388}{169.69}$$

$$b_2D = 53.1023$$

Reemplazo en (1) y (2) :

$$f(b_2D) = (53.1023)^2 + 3371.28 \ln \frac{53.1023}{43} - 3531.26$$

$$f(b_2D) = -0.00207$$

Por lo tanto  $b_2 = 53.10$



Una vez realizado los cálculos para el desarrollo de la fórmula de ensanchamiento de Sven Ekelund en las primeras pasadas del tren de perfiles se presenta un resumen en la Tabla 2.7.

CAJA	1 Sup.	1 Inf.	2	5	6
T°C	1000	995	285	950	940
∅ Cilindro	338	338	340	340	340
b	53.10	44	30.5	37.4	

TABLA 2.7 VALORES DE ENSANCHAMIENTO TREN DE PERFILES

No se realizan los cálculos de ensanchamiento para la caja terminadora n° 6 porque las dimensiones de la canal no admiten cambios para conservar la medida final, tomando en cuenta el rango de tolerancias que la norma exige.

Una vez realizado los cálculos de ensanchamiento, los mismos que son puntos de partida para el calibrado, se analizarán y se harán los reajustes de acuerdo a las muestras que se obtengan de cada caja.

CALCULO DE ESFUERZOS MECANICOS.- Para calcular los esfuerzos mecánicos que se producen en la tabla de los cilindros laminadores, se necesita previamente el cálculo de la pre

sión de laminación (fórmula de Ekelund)

Similarmente al caso anterior, se ha usado valores máximos de velocidades periféricas y diámetros máximos de cilindros tratando de dejar un margen confiable de seguridad.

Las velocidades usadas para cada caja de laminación de acuerdo a los motores que las accionan son :

Desbaste = 2.8 m/s

Cajas #1 - 2 = 3.56 m/s

Cajas # 3-4-5-6 = 4.27 m/s

Además, para el cálculo de los momentos y esfuerzos mecánicos del tren de perfiles se ha asumido que la carga "P", es decir, la presión de laminación, se aplica en la mitad de la longitud de la tabla del cilindro para así obtener valores máximos en cada uno de los stands. Con estas observaciones se detalla a continuación los cálculos:

### TREN DESBASTADOR

#### 1. PRIMERA PASADA

SEC. ENTRADA

$b_1 = h_1 = 100 \text{ mm}$

$A_1 = 9950 \text{ mm}^2$

SEC. SALIDA

$b_2 = 120 \text{ mm}$

$h_2 = 75 \text{ mm}$



$$t = 1250^{\circ}\text{C}$$

$$A_2 = 7700 \text{ mm}^2$$

$$D_c = 490 \text{ mm}$$

$$R_t = \frac{490}{2} = 33.5$$

$$\text{Profundidad canal} = 33.5$$

$$R_t = 211.5 \text{ mm}$$

$$b_m = \frac{b_1 + b_2}{2} = \frac{100 + 120}{2}$$

$$b_m = 110 \text{ mm}$$

$$\Delta h_m = \frac{A_1}{b_1} - \frac{A_2}{b_2} = \frac{9950}{100} - \frac{7700}{120} = 99.5 - 64.17$$

$$\Delta h_m = 35.33 \text{ mm}$$

$$h_{1m} + h_{2m} = 99.5 + 64.17 = 163.67 \text{ mm}$$

$$v = 2.8 \text{ m/seg} = 2800 \text{ mm/seg}$$

- Coeficiente de Rozamiento

$$\mu = 1.05 - 0.0005 t^{\circ}\text{C}$$

Para cilindros de acero

$$\mu = 1.05 - 0.0005 \times 1250$$

$$\mu = 0.425$$

- Coeficiente de Plasticidad

$$\eta = 0.01 (14 - 0.01 t^{\circ}\text{C})$$

$$= 0.01 (14 - 0.01 \times 1250)$$

$$\eta = 0.015 \frac{\text{Kg} \cdot \text{seg}}{\text{mm}^2}$$

-Resistencia Específica

$$T = K_{fo} = 100n (1.4 + C + Mn + 0.3 Cr)$$

$$T = 100 \times 0.015 (1.4 + 0.31 + 0.95 + 0.3 \times 0.12)$$

$$T = 4.044 \text{ Kg/mm}^2$$

FORMULA DE EKELUND PARA LA PRESION DE LAMINACION

$$P = b_m \sqrt{R \cdot \Delta h} \left[ 1 + \frac{1.6 \mu \sqrt{R \cdot \Delta h} - 1.2 \Delta h}{h_1 + h_2} \right] \left[ T + \frac{2 \eta v \frac{\Delta h}{R}}{h_1 + h_2} \right]$$

$$P = 110 \sqrt{211.5 \times 35.33} \left[ 1 + \frac{1.6 (0.425) \sqrt{211.5 \times 35.33} - 1.2 \times 35.33}{163.67} \right]$$

$$\left[ 4.044 + \frac{2 (0.015) (2800) \sqrt{\frac{35.33}{211.5}}}{163.67} \right]$$

$$P = 9508.67 (1.100) (4.254)$$

$$P = 44492.38 \text{ Kgs}$$

$$b = 29.45 \text{ cm.}$$

La carga P está aplicada en la mitad del ancho  $b_m$ , según Fig. 1.10. Por lo tanto :

$$x = b - \frac{b_m}{2} = 29.45 - \frac{11}{2}$$

$$x = 23.95 \text{ cm.}$$

MOMENTO DE FLEXION

$$M = \frac{Px}{2} - \frac{P}{2b} \left[ x - \frac{L-b}{2} \right]^2$$

Se anula el segundo término por ser

$$x \ll \frac{L-b}{2}$$

$$M = \frac{Px}{2}$$

$$M = \frac{(44492.38 \text{ Kgs}) (23.95 \text{ cm})}{2}$$

$$M = 532796.25 \text{ Kg-cm}$$

ESFUERZO DE FLEXION

$$\sigma = \frac{M}{0.1 \text{ (Dc)}^3}$$

$$\sigma = \frac{532796.25 \text{ Kgf-cm}}{0.1 \text{ (49)}^3 \text{ cm}^3}$$

$$\sigma = 45.29 \text{ Kgf/cm}^2$$

MOMENTO TORSOR

$$T = 71600 \times \frac{CV}{N}$$



$$900 \text{ Kw} \times \frac{1.358}{\text{Kw}} \text{ CV}$$

$$\text{Potencia} = 1222.2 \text{ CV}$$

$$N = 110 \text{ RPM}$$

$$T = 71600 \times \frac{1222.2}{110}$$

$$T = 795541.09 \text{ Kgf} \cdot \text{cm}$$

En vista de que todas las pasadas son accionadas por dos motores de 450 Kw cada uno, se mantiene constante dicho valor en la caja trío del desbaste.

#### ESFUERZO CORTANTE

$$\tau = \frac{16 T}{\pi (Dc)^3}$$

$$\tau = \frac{16 (795541.09 \text{ Kgf} \cdot \text{cm})}{\pi (49)^3 \text{ cm}^3}$$

$$\tau = 34.44 \text{ Kgf/cm}^2$$

También se mantiene constante

#### MOMENTO TORSOR EQUIVALENTE

$$T_e = M + \sqrt{M^2 + T^2}$$

$$e = 532796.25 + \sqrt{(532796.25)^2 + (795541.09)^2}$$

$$e = 1490267.8 \text{ Kgf} - \text{cm}$$

### FUERZO CORTANTE COMBINADO

$$= \frac{16 T_e}{\pi(D_c)^2}$$

$$= \frac{16 (1490267.8) \text{ Kgf} - \text{cm}}{\pi(49)^3 \text{ cm}^3}$$

$$= 64.51 \text{ Kgf/cm}^2$$

resumen de los datos obtenidos en los trenes desbasta-  
r, intermedio y terminador se presenta en las Tablas 2.8  
2.9 respectivamente.



T R E N   D E S B A S T A D O R					
PARAMETROS	1 <u>era</u>	2 <u>da</u>	3 <u>era</u>	4 <u>ta</u>	5 <u>ta</u>
bm (mm)	110	125	76.78	79	46.26
Rt (mm)	211.5	216.5	204.72	229	222.74
t (°C)	1250	1235	1210	1180	1140
P (Kgs)	44492.38	43335.02	45713.58	56250.16	38986.99
M (Kgf-cm)	532796.25	855866.65	1014986.2	1407864	868240.27
$\sigma$ (Kgf/cm <sup>2</sup> )	45.29	72.75	86.27	119.67	73.80
T (Kgf-cm)	795541.09	795541.09	795541.09	795541.09	795541.09
$\tau$ (Kgf/cm <sup>2</sup> )	34.44	34.44	34.44	34.44	34.44
Te (Kgf-cm)	1490267.8	2024373.3	2304558.6	3024985.2	2045901.4
$\sigma_T$ (Kgf/cm <sup>2</sup> )	64.51	87.63	99.76	130.95	88.57

TABLA 2.8 VARIABLES OBTENIDAS DEL TREN DESBASTADOR

PARAMETROS	TREN INTERMEDIO			TREN TERMINADOR	
	1 SUP.	1 INF.	2 da	5 ta	6 ta
bm (mm)	51.55	44	29.42	31	23.6
Rt (mm)	157	159.25	154.33	161	159.15
t (°C)	1000	995	985	950	940
P (Kgs)	13467.38	43387.06	26951.67	24493.25	16004.71
M (Kgf-cm)	269322.35	860336.75	536462.59	624323.7	317883.38
$\sigma$ (Kgf/cm <sup>2</sup> )	69.75	222.80	136.49	158.84	80.88
T (Kgf-cm)	364623	364623	364623	406661.65	406661.65
$\tau$ (Kgf/cm <sup>2</sup> )	48.09	48.09	48	56.29	56.29
Te (Kgf-cm)	722626.36	1794805	1185147.5	1369159.3	833683.58
$\sigma_T$ (Kgf/cm <sup>2</sup> )	95.31	236.72	153.57	177.41	108.03



TABLA 2.9 VARIABLES OBTENIDAS DEL TREN INTERMEDIO Y TERMINADOR

## BIBLIOGRAFIA

1. Sidney H. Avner, Introducción a la metalurgia física (México: McGraw-Hill, 1979).
2. ASTM A510, Standard specification for general requirements for wire rods and coarse round wire, carbon steel Vol. 3 (Philadelphia, : American Society for Testing and Materials, 1973).
3. George Dieter, Metalurgia mecánica (Madrid : Aguilar, 1967).
4. Kosak Dietmar, Calibrado de cilindros (Buenos Aires : Instituto Argentino de Siderurgia, 1969).
5. FOMSA, Cilindros de laminación para la industria siderúrgica, Italia.
6. Marcus Grossmann, Principios de tratamiento térmico, 1964.
7. Huachipato, Práctica de laminación (Chile: Julio 1973).
8. HZR/T. Johnson, Metal duro como material para rodillos,

1980.

9. ILAFA, "Colada Contínua y Metalurgia en Cuchara", Siderurgia Latinoamericana, (Noviembre 1981).
10. ILAFA, "Control Metalúrgico en Laminación", Revista Latinoamericana de Siderurgia, (Junio 1971).
11. INEN, Norma MC 06.04-401 de Alambrón de acero al carbono para trefilar o laminar en frío, 1982.
12. Pomini-Farrel, Manual de operaciones, 1982.
13. Beynon Ross E., Diseño de laminación y distribución de trenes (Asociación de Ingenieros del Hierro y el Acero, 1956).
14. Lawrence Van Vlack, Materiales para ingeniería (México: CECSA, 1977).
15. Roberto Villanueva, Curso de laminación (Guayaquil : ESPOL, 1980).
16. Pedro Zavala, "Nuevo calibrado de cilindros para proceso de laminación en caliente" (Tesis, Universidad de Guayaquil, 1982).