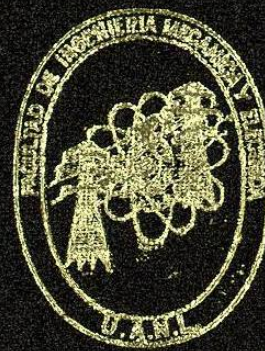


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA  
ESCUELA DE GRADUADOS



PLANEZA DE CINTA DE ACERO  
LAMINADA EN CALIENTE

TESIS

QUE PRESENTA

PATRICIA DEL CARMEN ZAMBRANO ROBLEDO

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO  
EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA  
CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.  
MARZO DE 1996

TM

Z5853

.M2

FIME

1996

Z3



1020112543

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

ESCUELA DE GRADUADOS



PLANEZA DE CINTA DE ACERO  
LAMINADA EN CALIENTE

TESIS

QUE PRESENTA

PATRICIA DEL CARMEN ZAMBRANO ROBLEDO


EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO  
EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA  
CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES

SAN NICOLAS DE LOS GARZA N. L.  
MARZO DE 1996

0117-3260


+M  
Z  
M2  
FNE  
196  
Z3

**A mi esposo y a mi hijo,  
quienes son la fuerza motriz  
que mueve mis pensamientos,  
mi alma, mi ser...**



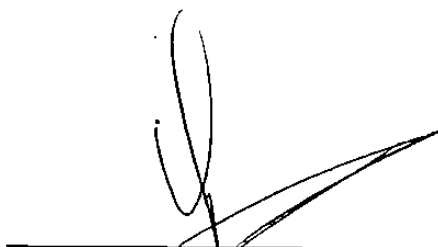
---

**Dr. Rafael Colás Ortiz**  
Asesor



---

**Dr. Juan Antonio Aguilar G.**  
Revisor



---

**Dr. Luis Leduc Lezama**  
Revisor



FONDO TESIS



## AGRADECIMIENTOS

Le doy las gracias primeramente a Dios por haberme permitido llegar al final del camino, por darme la vida y la oportunidad de ser.

Gracias infinitas al Doctor Rafael Colás, quien con sus consejos y guía siempre me apoyo hasta el final.

Gracias a mis Padres que siempre me han apoyado y que nunca han dejado de pensar en mí.

Al Doctor Luis Leduc Lezama y al Doctor Juan Antonio Aguilar Garib, por la revisión de éste trabajo y sus valiosas contribuciones a los diferentes capítulos del mismo.

Al Consejo Nacional de la Ciencia y la Tecnología por el apoyo económico que me brindó para realizar mis estudios.

Al Ing. José Antonio González Director de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica por su apoyo incondicional en mis estudios.

Al programa Doctoral de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica y a la Coordinación Académica del Doctorado en Ingeniería de Materiales, por su apoyo e interés en la realización de esta tesis.

Al personal de la empresa Hojalata y Lámina, S.A. de C.V. por permitirme usar sus instalaciones y por su apoyo recibido.

A todos mis compañeros del DIMAT por su amistad y ayuda en la elaboración de esta tesis, muy especialmente a Martha, Eulogio, Julio, Sigifredo, Ana María, Idalia, Ireri y a los Carlos.

Al Ing. José Luis Castillo Ocañas por sus consejos y todos los ánimos que me dió para el feliz término de esta tesis.

A mis amigas, compañeras y becarias, Malena, Indira, Claudia y Raquel por su ayuda y su aguante.

## RESUMEN

El presente trabajo es un estudio de los factores que afectan al perfil y a la planeza de una cinta de acero al ser laminada en caliente, así como la validación de los modelos que permitan controlar esos factores para poder obtener un producto que cumpla con las especificaciones de calidad.

Parte del trabajo se desarrolló en una línea industrial donde, entre otros trabajos, se realizaron atorones programados de la cinta a diferentes productos críticos, para de ésta manera determinar la evolución del perfil de la misma; adicionalmente se tomaron muestras aleatorias de rollos para establecer el estado de planeza de los mismos. También se capturaron los valores de diversas variables de proceso, como son las fuerzas de separación, presión en el sistema de flexión, velocidades y temperatura tanto a la entrada como a la salida de un tren continuo de seis castillos, datos que fueron utilizados posteriormente en la validación de la simulación del comportamiento de dicho tren continuo. Una vez que se validó el modelo, éste se ejecutó en múltiples ocasiones, alimentándose diversos productos con diferentes anchos y calibres y, de ésta manera, obtener las relaciones que permitan predecir las fuerzas de separación en cada uno de los seis castillos.

La información concerniente a la evolución del perfil y planeza fue

utilizada para calibrar y validar un modelo que simula la variación de dichos atributos de calidad dimensional.

Los resultados de los modelos de simulación de laminación en caliente y de perfil y planeza fueron utilizados en el diseño de un sistema que permitió identificar las condiciones operativas requeridas para asegurar la calidad dimensional del producto laminado en caliente.

# I N D I C E

<b>RESUMEN</b>	<b>PAG.</b>
<b>1. INTRODUCCION</b>	1
<b>2. PARAMETROS DIMENSIONALES</b>	4
2.1 INTRODUCCION	4
2.2 DEFINICION DE LOS ELEMENTOS DEL PERFIL	4
2.3 DEFINICION DE LOS PARAMETROS DE PLANEZA	8
2.4 DEFINICION DE LOS PARAMETROS DE CALIBRE Y ANCHO	11
2.5 PRINCIPALES TIPOS DE ACTUADORES PARA PERFIL Y PLANEZA	17
<b>3. PERFIL Y PLANEZA</b>	20
3.1 INTRODUCCION	20
3.2 FACTORES QUE AFECTAN AL PERFIL	21
3.3 PLANEZA	24
3.4 ESTADO DE PLANEZA DE LA LAMINA	26
3.5 DESCRIPCION DEL MODELO	28
<b>4. PROCEDIMIENTO DE TOMA DE DATOS</b>	37
4.1 INTRODUCCION	37
4.2 DATOS DEL PROCESO	40
4.3 MEDICIONES DE PLANEZA	42
4.4 MEDICIONES DE PERFIL	44
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSION</b>	46
5.1 RESULTADOS	46
5.2 PRUEBAS DE PERFIL Y PLANEZA	55
5.3 DISCUSION	73
<b>6. CONCLUSIONES</b>	76
<b>ANEXO</b>	79
<b>REFERENCIAS</b>	108

# 1. Introducción

Los retos que presenta la firma del Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos y Canadá representan para la industria mexicana un impulso para que ésta se modernice y mejore tanto la calidad de sus productos, como la de su mano de obra. Surge una gran necesidad de que, tanto la industria, como las instituciones educativas se apoyen una a la otra para hacer labor conjunta de investigación y, de esta manera, resolver los problemas que impiden alcanzar una mejor calidad en todos y cada uno de sus productos, lo cual redundará en hacer competitivo a nuestro país a nivel internacional.

En la industria del acero la competencia no deja de sentirse, por esto se realizan investigaciones como la presente, la cual se realizó en conjunto con una empresa de la localidad. El estudio está relacionado con el proceso de laminación en caliente de acero, el cual se inicia con las piezas solidificadas en lingotes, los cuales se mantienen y calientan uniformemente hasta llegar a su temperatura de trabajo (en el caso presente aproximadamente 1300 °C). Esto se hace en una fosa de recalentamiento, que es un horno revestido de ladrillo refractario de sílice, con una atmósfera ligeramente oxidante. Las piezas son laminadas en diferentes formas, a

velocidades tales que no se permita que su temperatura quede por debajo de la de trabajo. Los lingotes son llevados desde un espesor aproximado de 0.445 m. hasta un espesor entre 0.0016 y 0.0127 m., según el fin último que se le dé a la cinta. La lámina una vez llevada a su espesor final es pasada por una mesa de enfriamiento para después ser enrollada, Fig. 1.1

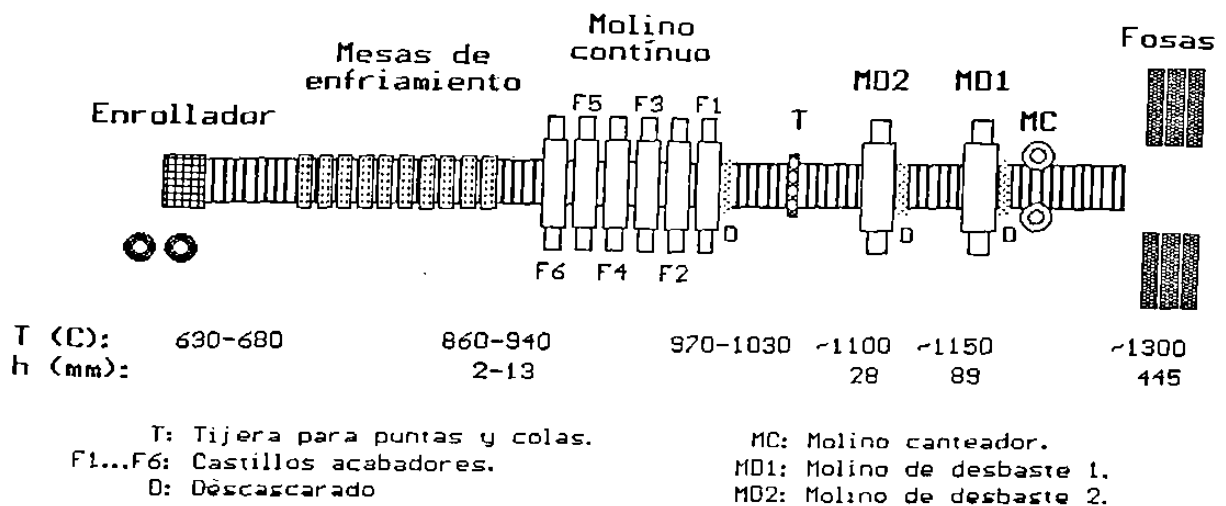


Fig. 1.1 Línea de laminación en caliente.

Este trabajo predice las condiciones de deformación en la zona de laminación de cada uno de los seis castillos del molino continuo, ver Fig. 1.1, para así poder corregir una serie de defectos que pueden ser generados en la cinta laminada en caliente. Para esto se estudian diferentes parámetros dimensionales como son: largo, ancho, calibre y perfil (sección transversal)

de la lamina, así como fuerzas de los rodillos, velocidades de cada uno de los castillos y temperaturas, tanto de entrada como de salida del molino, los cuales son utilizados en la modelación y análisis de las condiciones a aplicar en cada uno de los castillos del molino continuo.

La importancia de un buen perfil de calibre estriba, entre otras razones, en la necesidad de producir una lámina de buena forma (planeza), la cual siga compitiendo tanto en el mercado nacional como en el internacional.

Se encuentra que tanto el perfil como la planeza son dos de los principales parámetros geométricos de un producto plano laminado en caliente. El mercado es exigente y ofrece tolerancias en el perfil bastante estrechas, lo que estimula mayores esfuerzos en el desarrollo de nuevas tecnologías que logren un buen control sobre las mismas.

Se dispone en el mercado de sensores y actuadores de perfiles para molinos de laminación. Es obvio que tanto los constructores de molinos, como los productores de metal necesitan tener más conocimiento y entender acerca de los factores que afectan el perfil y la planeza de la lámina.

## **2. Parámetros dimensionales**

### **2.1. Introducción.**

Durante el proceso de laminación en caliente de cinta de acero, ésta es sometida a diversos esfuerzos internos, los cuales afectan la consistencia de variables tales como ancho, espesor y coronamiento, los cuales son primordiales para lograr un producto completamente plano y con un perfil consistente.

En este capítulo se hará una revisión de dichos parámetros para tener un mejor entendimiento de ellos y poder posteriormente controlarlos y llevarlos a las dimensiones y formas precisas que hagan llegar a un producto de una planeza y perfil tal que satisfagan las exigencias del mercado.

### **2.2 Definición de los elementos del perfil.**

El perfil de un producto plano es usualmente descrito en términos de la medida de su espesor central, el espesor dado a dos distancias de su orilla, el nivel, la cuña, la corona, el espesor de la orilla, la cresta y el valle [1,2],



como se muestra en las Figuras 2.1 y 2.2. El perfil ideal debe mantener una forma cóncava para asegurar el alineamiento de la lámina; el calibre requerido se encuentra al realizar la medición al centro de la lámina.

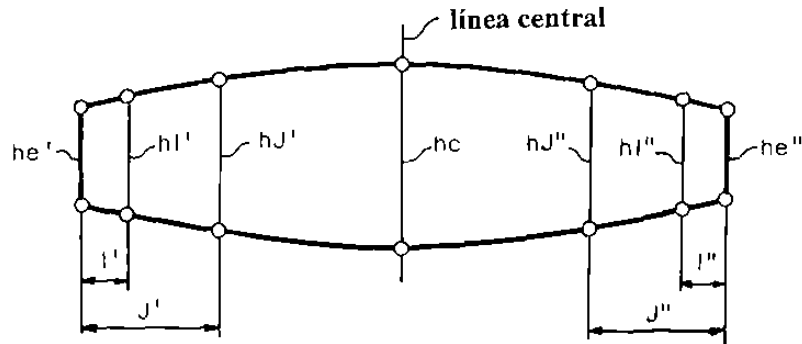


Fig. 2.1 Perfil de un producto plano.

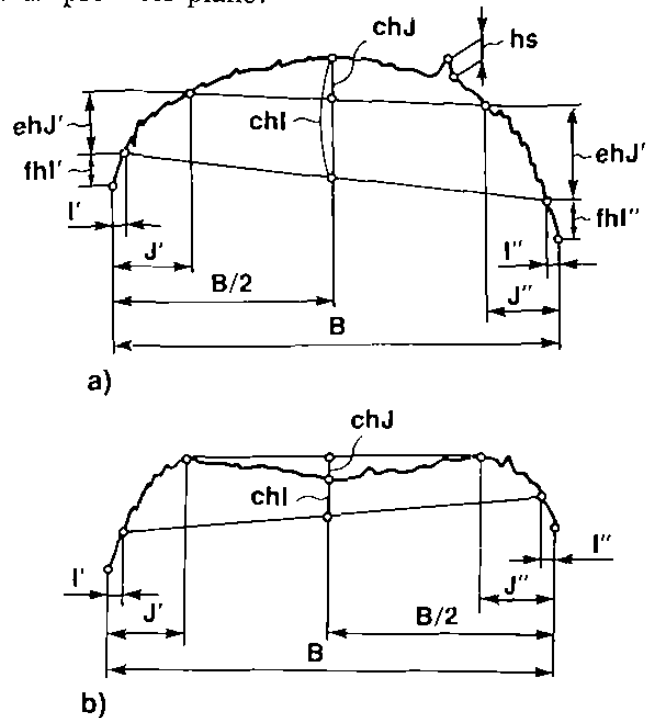


Fig. 2.2 Definición de perfil: a) Corona central y parcial con signos iguales y b) Corona central y parcial con signos opuestos.

En las Figuras 2.1 y 2.2, se puede observar lo siguiente:

- $h_c$  es el espesor de la pieza en su línea central.
  
- $h_I$  y  $h_J$  son el espesor dado a dos distancias de la orilla de la pieza, las cuales son medidas a distancias  $I$  y  $J$  desde el extremo de la pieza trabajada respectivamente.
  - a. Lado izquierdo:  $h_I'$  y  $h_J'$ .
  - b. Lado derecho:  $h_I''$  y  $h_J''$ .

Las distancias seleccionadas para  $I$  varían desde 9.5 a 19 mm. y para  $J$  desde 40 hasta 100 mm.

- El nivel  $\delta h_I$  del perfil está determinado por la diferencia en espesor entre el lado izquierdo y el derecho.

$$\delta h_I = h_I' - h_I''.$$

- La cuña también considera un lado izquierdo y un derecho:
  - a. Cuña izquierda es cuando:

$$h_I' > h_c > h_I''.$$

b. Cuña derecha es cuando:

$$hI'' > hc > hI'.$$

● La corona está definida como la diferencia entre el espesor central  $hc$  y el espesor a una distancia específica dada. Existen cuatro tipos de coronas:

a. Corona central.

$$chI = hc - (hI' - hI'')/2.$$

b. Corona central parcial.

$$chJ = hc - (hJ' - hJ'')/2.$$

c. Corona izquierda.

$$chI' = hc - hI'.$$

d. Corona derecha.

$$chI'' = hc - hI''.$$

● La caída del espesor en la orilla está definido como la diferencia entre el espesor a una distancia específica  $hI$  y  $hJ$ .

Se describen tres tipos:

a. Promedio de espesor en la orilla.

$$eh = (hJ' + hJ'' - hI' - hI'')/2.$$

b. Espesor en la orilla izquierda.

$$eh' = hJ' - hI'.$$

c. Espesor en la orilla derecha.

$$eh'' = hJ'' - hI''.$$

- La cresta y el valle son definidas como la desviación en espesor ya sea sobre o bajo el espesor normal. En la Figura 2.3 se pueden ver proyectadas.

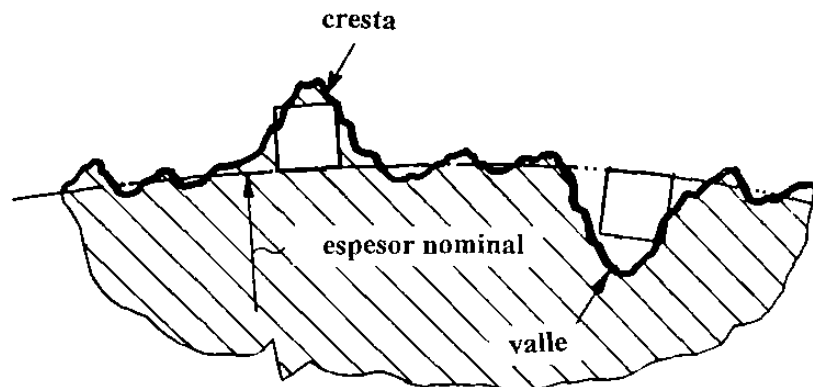


Fig. 2.3 Representación esquemática de la cresta y el valle.

### 2.3 Definición de los parámetros de planeza.

La planeza de la lámina puede describirse cualitativamente como una desviación de la forma ideal, hacia una forma latente, evidente o dual. Esta

desviación puede ser encontrada al cortar la lámina en cintas estrechas y subsecuentemente medir su longitud. Usando este concepto, Pearson [3] dió la siguiente definición de planeza:

$$\Sigma = \frac{(L_m - L_n)}{L_n b}$$

donde:

$\Sigma$  = Planeza de la lámina, mons/cm.

$L_m, L_n$  = Longitud de dos cintas de la lámina, cm.

$b$  = Distancia entre las dos cintas, cm.

Wilmotte [4], también definió la planeza de la lámina como:

$$\rho = \frac{(L - L_{40})}{L}$$

donde:

$\rho$  = Planeza clasificada (adimensional).

$L$  = Longitud de la cinta en el medio de la lámina.

$L_{40}$  = Longitud de la cinta medida a 40 mm. desde la orilla de la lámina.

No obstante, la definición más usada en la industria del acero, y la adoptada para este trabajo [1, 5]:

- Unidades I, ver Figura 2.4: la cual se expresa en la forma

$$I = \frac{\Delta L}{L} 10^5$$

donde: I = Planeza de la lámina, Unidades I.

$\Delta L/L$  = Ondas de la lámina.

$\Delta L$  = Diferencia entre la cinta más corta y la más larga a través del ancho de la lámina.

L = Longitud de la onda.

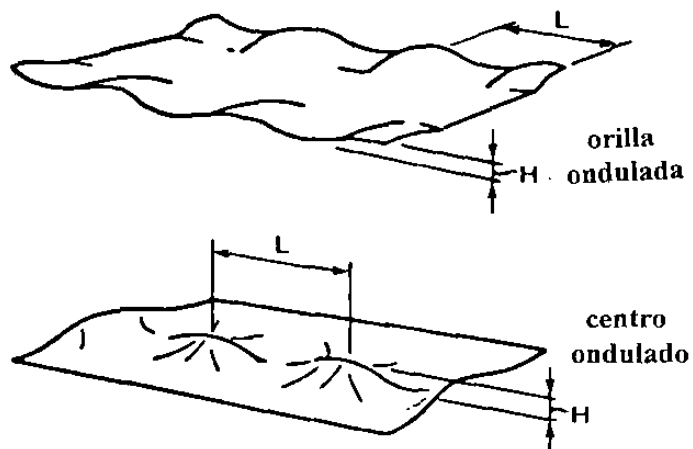


Fig. 2.4 Parámetros de forma de la lámina.

- Altura de pico a pico (H): está definida como la distancia entre picos de dos ondas o combas adyacentes.

● Porcentaje de inclinación (S) está definido como:

$$S = \frac{H}{L} 10^2$$

La relación entre las unidades I, la altura de pico a pico H, y la inclinación S, suponiendo ondas senoidales está dada por [1]:

$$I = \left(\frac{\pi H}{2L}\right)^2 10^5 = 2.5(\pi S)^2$$

$$H = \left(\frac{2L}{\pi}\right) I \times 10^{-5} = \frac{LS}{100}$$

$$S = \left(\frac{2}{\pi}\right) I \times 10^{-1} = \frac{H}{L} 10^2$$

#### **2.4 Definición de los parámetros de calibre y ancho.**

La cinta laminada en caliente debe poseer características dimensionales específicas y consistentes para poder producir productos de buena calidad. Entre los más importantes se pueden incluir al calibre (espesor) y al ancho.

El calibre es el espesor que debe tener la cinta de acero tanto a lo ancho

como a lo largo de la misma.

Para llegar a obtener un calibre consistente en toda la cinta, se debe esperar que las reducciones entre cada uno de los castillos sean homogéneas, esto es, conservar la relación de coronamiento ( $c$ ) sobre espesor ( $h$ ) dentro de un intervalo controlado, ver Figura 2.5. Los términos más comunmente usados en la teoría de productos laminados referente al calibre son:

- Promedio del calibre de la pieza: éste es igual a

$$h_a = (h_1 + h_2)/2$$

donde  $h_1$  y  $h_2$  son el calibre de entrada y el de salida de la cinta respectivamente a un castillo.

- Calibre principal de la cinta: éste es igual a

$$h_m = (h_1 h_2)^{1/2}$$

- Cambio en el calibre: expresado como

$$\Delta = h_1 - h_2$$



- Reducción relativa: expresada como

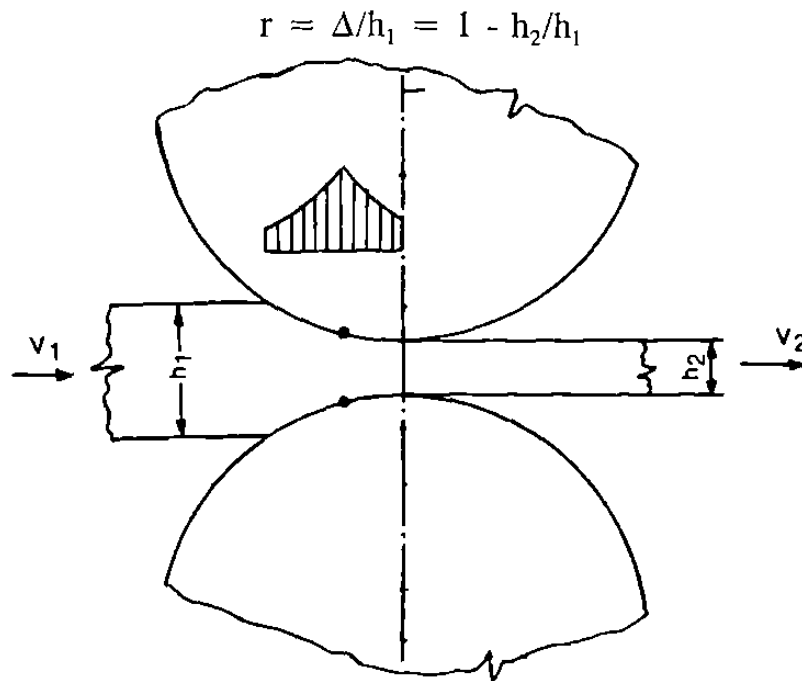


Fig. 2.5 Representación esquemática de la reducción en un pase.

El control del ancho sólo es aplicado al proceso de laminación en caliente, ya que su ajuste por deformación plástica es prácticamente imposible cuando el material laminado está delgado.

El cambio del ancho es usualmente realizado en tres partes principales:

- En línea, después de una máquina de colada continua, ver Figura 2.6.
- En línea, en un molino de laminación en caliente.
- Fuera de línea, ver Figura 2.7.

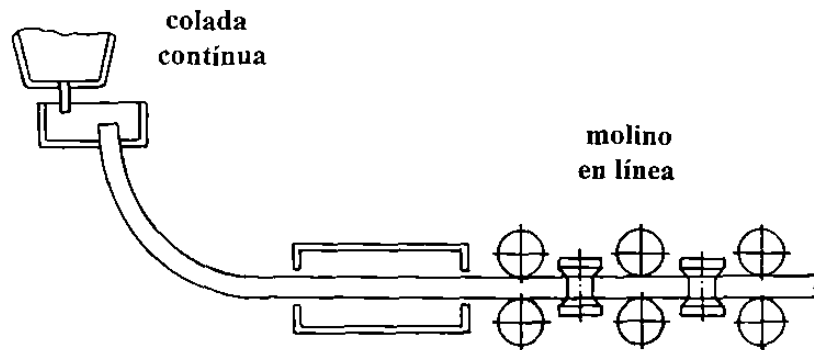


Figura 2.6 Reducción del ancho con molino calibrado en línea.

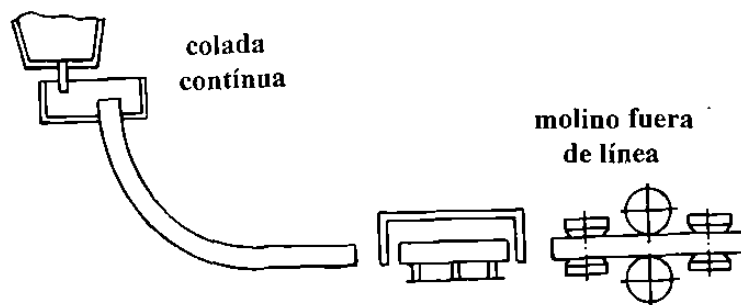


Figura 2.7 Reducción del ancho con molino calibrado fuera de línea.

Los métodos más comunes para cambiar el ancho son:

1. Reducción del ancho por laminación, para lo cual se utilizan molinos verticales los cuales son llamados convencionalmente canteadores verticales. El proceso del canteador vertical se combina usualmente con procesos de laminación plana la cual es implementada en molinos horizontales. Los principales arreglos de molinos verticales (V) y horizontales (H) son:

a) Arreglo VH, en el cual el canteador vertical es una pareja cerrada con un molino horizontal, ver Figura 2.8a.

b) Arreglo HVH, en el cual el canteador vertical está instalado entre dos parejas cerradas de molinos horizontales, ver Figura 2.8b.

c) Arreglo VHV, en el cual un molino horizontal es instalado entre dos parejas cerradas de canteadores verticales, ver Figuras 2.8a y 2.8c.

d) Arreglo HVHVH, en el cual dos canteadores verticales son instalados entre tres parejas cerradas de molinos horizontales, ver Figura 2.6.

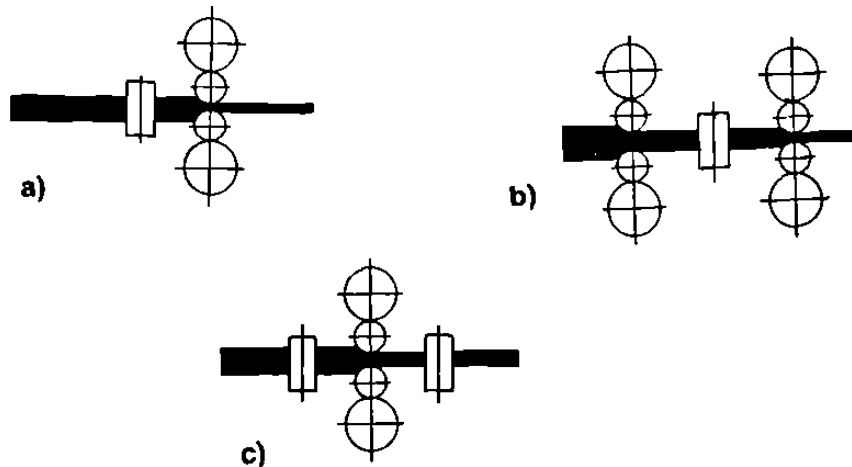


Fig. 2.8 Tipos de arreglos de molinos canteadores en combinación con rolado plano.

2. Reducción del ancho por presión, esto es producido por máquinas

conocidas como "squeezing" o "sizing presses". En estas prensas, las herramientas de presión son recíprocas en el plano horizontal en la dirección perpendicular a la longitud de la cinta. Las herramientas de presión son manejadas normalmente por un mecanismo de flecha-cigüeñal [6] o por un cilindro hidráulico, ver Figura 2.9.

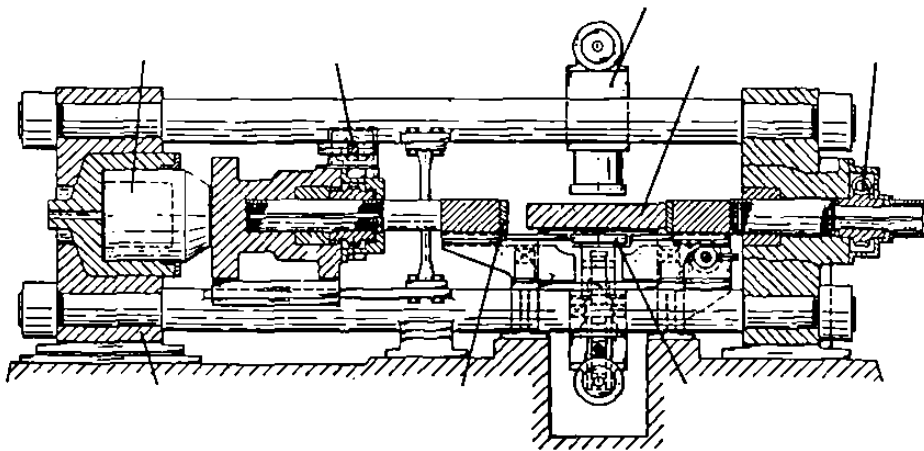


Fig. 2.9 Sizing press con actuador hidráulico.

3. Expansión de ancho por laminación, existen dos métodos básicos para esto, los cuales son clasificados como pasivo y activo. En el método pasivo [7], la expansión del ancho es hecha por alargamiento natural de la pieza trabajada mediante pasadas planas horizontales. El método activo utiliza una técnica que incrementa la expansión. Una de estas técnicas conocida como "Expansión-HI", fue desarrollada por Davy Mckee, Ltd [8]. Esta

técnica involucra la laminación de una o muchas ranuras longitudinales en la cinta para producir una expansión lateral con su subsecuente laminación en un molino horizontal convencional. El promedio de cambio en ancho con este método es tan alto como 25%.

## **2.5 Principales tipos de actuadores para perfil y planeza.**

Los actuadores para perfil y planeza son sistemas complejos que incluyen a los rodillos de trabajo y los de apoyo como un mecanismo para ajustar al perfil del entrehierro.

Los sistemas de actuadores se separan en diferentes grupos de acuerdo al método utilizado para ajustar el perfil del entrehierro, en esta sección sólo se considerarán los tres principales:

1. Sistema de presión en el plano vertical: Este incluye presión simple y positiva en los rodillos de trabajo (a), presión doble y positiva en los rodillos de trabajo (b), presión simple y negativa en los rodillos de trabajo, y presión en los rodillos de apoyo, ver Figura 2.10.

La ventaja de este sistema es su posibilidad de proveer un control continuo del perfil de la cinta durante la laminación. No obstante, el rango

de control de la corona está limitado principalmente por la carga máxima que puede ser resistida por los cojinetes de los rodillos de trabajo.

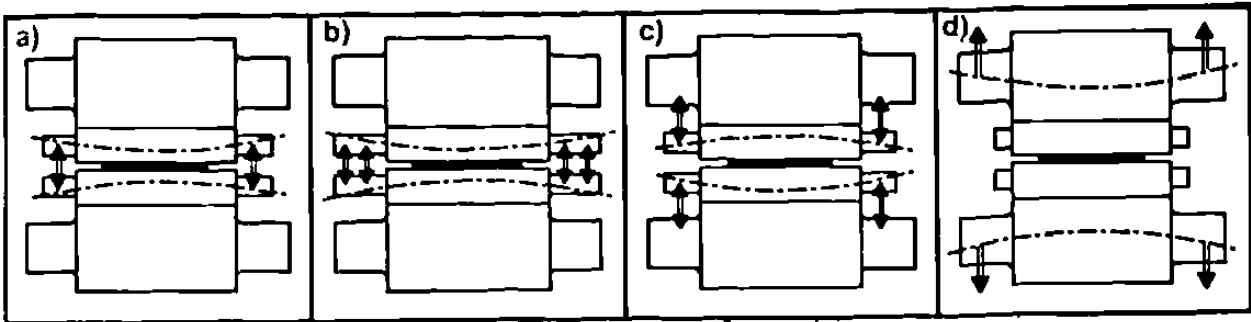


Fig. 2.10 Sistemas de presión en el plano vertical.

2. Sistema de presión en el plano horizontal: Este incluye presión simple en el rodillo de trabajo (a), presión múltiple en el rodillo de trabajo (b) y presión segmentada en el rodillo de trabajo a través de un rodillo intermedio (c), ver Figura 2.11.

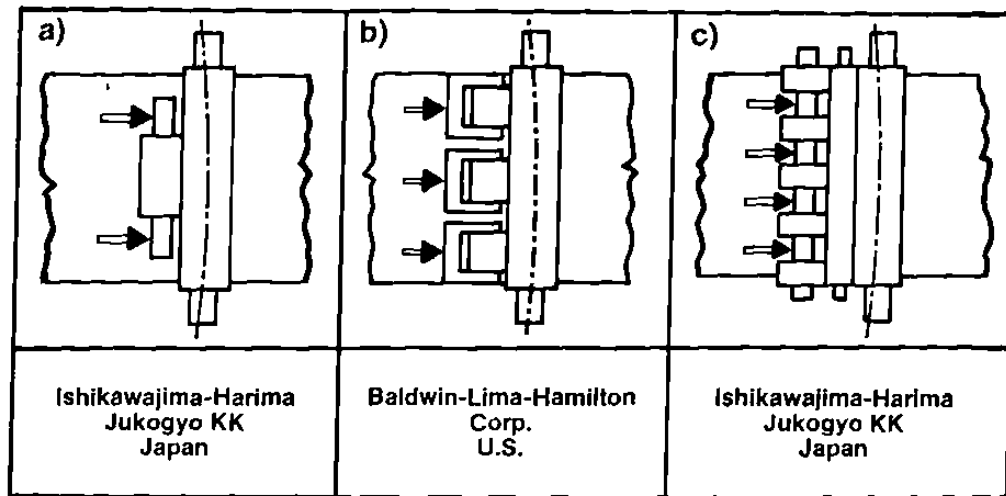


Fig. 2.11. Sistemas de presión en el plano horizontal.

3. Sistema de rodillos cruzados: Se conocen tres tipos de sistemas, el primero es con el eje de los rodillos de apoyo cruzados (a), y el segundo con el eje de los rodillos de trabajo cruzados (b). No obstante, estos arreglos causan un deslizamiento relativo en la dirección del eje entre el rodillo de apoyo y el de trabajo. Esto se resuelve con la introducción del tercer tipo el cual consiste en el cruzamiento de los ejes tanto de los rodillos de apoyo como los de trabajo, ver Figura 2.12.

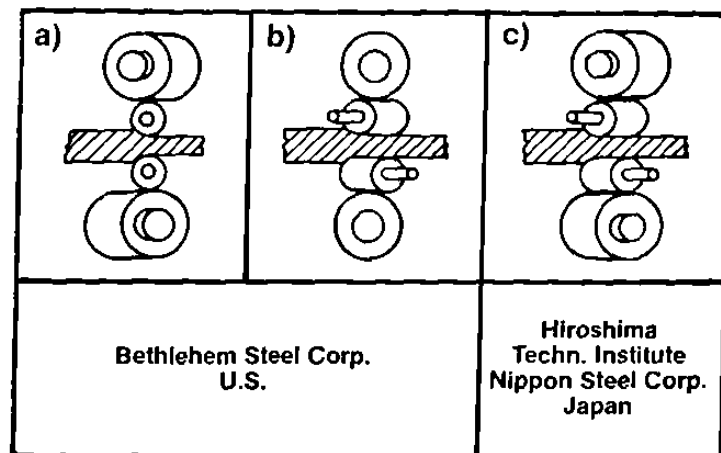


Fig. 2.12. Sistemas de rodillos cruzados.

### **3. Perfil y Planeza.**

#### **3.1. Introducción.**

El perfil y la planeza son dos de los principales factores que afectan la calidad de un producto laminado en caliente, es por esto que se convierten en eje principal de el estudio de este trabajo.

Es importante hacer notar que el modelo elaborado no toma en consideración los efectos del desgaste y el coronamiento térmico, obteniéndose sin embargo una muy buena predicción de perfil. Un perfil inconsistente produce una mala planeza, lo cual hace ver la necesidad de mantener dicho perfil constante tanto a lo ancho como a lo largo de la cinta de acero, misma situación que redundará en la entrega de un producto con excelentes características de calidad.

En este capítulo se hará una revisión de lo que es en sí el perfil, así como de los factores que en determinado momento lo pueden afectar; también se revisará todo lo concerniente al significado de planeza y los factores que la afecten.

Es necesario destacar, que las variables más importantes que afectan



tanto al perfil como a la planeza de una cinta de acero son: el ancho, el espesor final, el carbono equivalente, la corona maquinada a los rodillos de trabajo, las fuerzas de separación y la presión en el sistema de flexión que se ejerzan durante una campaña de laminación.

### **3.2. Factores que afectan al perfil.**

El perfil de un producto plano se puede describir como el conjunto de mediciones de espesor en puntos específicos y a lo ancho de una cinta de acero, referenciadas todas ellas al espesor medido en la parte central del ancho de la lámina, ver Figura 2.1 [1]. Donde el espesor de referencia es el que se encuentra o se mide en la línea central  $h_c$ , y  $h_J$ ,  $h_I$  y  $h_e$  son mediciones en puntos específicos, los cuales se detallaron en el capítulo 2.

Cuando la pieza laminada es reducida sólo por deformación plástica, ésta no se recuperará elásticamente después de haber terminado la operación. En este caso, el perfil de la pieza de trabajo estará completamente determinado por el perfil del entrehierro, siendo éste, dicho sea de paso, el perfil que se produce entre los rodillos de trabajo.

Para analizar los parámetros o fenómenos que afectan el perfil de la

lámina y su subsecuente forma, es necesario considerar los que afectan el perfil de los rodillos de trabajo. Los efectos del fenómeno como calentamiento, planeza y desgaste, tienen que ser calculados y adicionados a la corona maquinada, suponiendo condiciones estáticas y, después de esto, considerar la distorsión del conjunto compuesto por los rodillos de apoyo, los rodillos de trabajo y la lámina, Figura 3.1.

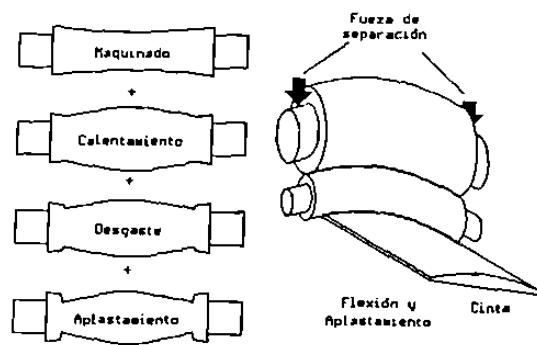


Fig. 3.1 Fenómenos que afectan el perfil de los rodillos de trabajo.

Existen cuatro factores principales que afectan el perfil del entrehierro:

Desplazamiento del plano vertical de los rodillos. Este es producido por:

- a. Ensanchamiento del molino, lo cual es un resultado de la expansión

y contracción de las partes de dicho molino, la retención de los rodillos debido tanto al calentamiento como al peso de los mismos.

b. La presión en el sistema de flexión que es causada tanto por el peso de los rodillos como por la fuerza generada por la presión de los mismos en el plano vertical.

c. Cambio en el espesor de la capa de lubricante hidrodinámico en la mordida del rodillo; fenómeno de interés principalmente durante laminación en frío, o en caliente cuando se aplica el lubricante.

Desplazamiento del plano horizontal de los rodillos. Este es producido por:

a. Componentes horizontales de los actuadores de carga en el rodillo de trabajo el cual tiene su línea de centros fuera de la línea de centros del rodillo de apoyo adyacente.

b. Desplazamiento y presión de los rodillos debidas a una desigual actuación de las fuerzas de tensión en la lámina tanto a la entrada como

a la salida de la mordida del rodillo.

Corona térmica de los rodillos. Se define como el cambio en el diámetro de los rodillos causado por el calentamiento y el enfriamiento de los mismos durante la laminación.

Desgaste en los rodillos. Es considerado el deterioro gradual del contorno de los rodillos debido a condiciones abrasivas, corrosivas y adhesivas, a las cuales pueda estar expuesto.

### **3.3 Planeza.**

La planeza de una lámina o su forma, es un parámetro medible que describe la presencia o ausencia de ondas o combas y su tamaño y localización en la pieza trabajada [1].

La mala planeza, tanto en la laminación en caliente como en frío es causada por diferencias en la elongación de la pieza a través de su ancho [9, 10]. Estas diferencias producidas corresponden a esfuerzos internos en la lámina, los cuales provocan un aumento en las deficiencias de forma, las

cuales pueden ser de naturaleza compresiva, o de cizallamiento. Los esfuerzos compresivos producen combas paralelas al ancho de la lámina, ver Figura 2.4. De acuerdo con Wistreich [11] estas formas de lámina están definidas como ondas en la orilla y combas en el centro. Por otro lado los esfuerzos por cizallamiento dan como resultado combas dispuestas diagonalmente a través de la lámina.

Cuando se aplican tensiones externas a la lámina, estos esfuerzos se combinan con los internos, dando esto como resultado, que los esfuerzos compresivos en la lámina se reduzcan, obteniendo una apariencia de buena planeza. La diferente elongación de la lámina es causada por malos emparejamientos entre la lámina y el perfil del entrehierro bajo carga. Las ondas en la orilla y las combas en el centro son debidas a diferencias en la corona entre la lámina y el rodillo, mientras que irregularidades más complejas en la forma son causadas por el desgaste de los rodillos, la distribución del perfil de temperaturas desigual, crestas en los rodillos, heterogeneidades metalúrgicas de la lámina, una lubricación no uniforme, etc. [12].

### 3.4 Estado de planeza de la lámina

Con respecto al control de la forma, se consideran usualmente cuatro estados de planeza o forma de la lámina [12], ver Figura 3.2.

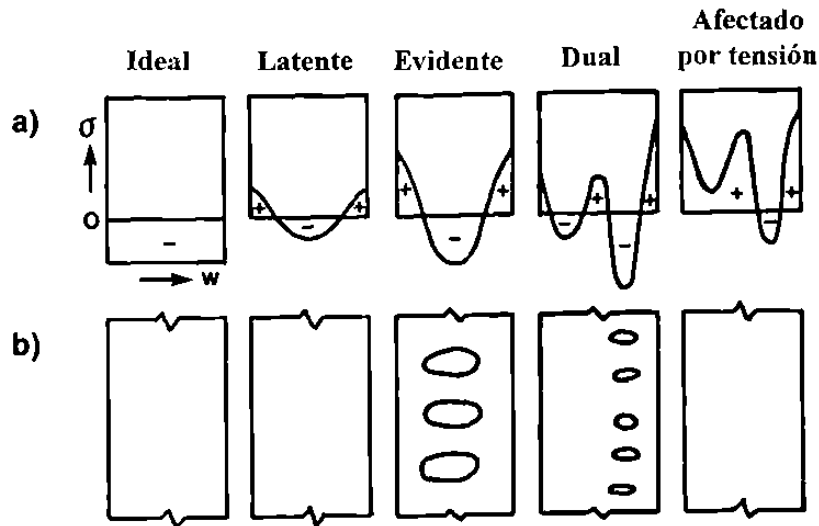


Fig. 3.2 Estados de forma de la lámina: a) distribución de esfuerzos y b) apariencia de la lámina.

a. Estado Ideal. Esta forma es relativa a un caso puramente teórico, cuando los esfuerzos internos son iguales a través del ancho de la lámina. Esta forma plana ideal puede ser mantenida después de que se retiren las tensiones externas y también después de que la lámina ha sido cortada.

b. Estado Latente. La forma latente corresponde al caso donde los

esfuerzos internos no son iguales a través del ancho de la lámina pero el módulo de sección de la lámina es suficientemente grande para resistir la formación de combas. Una lámina con forma latente puede aparecer plana sin el uso de tensiones externas. Sin embargo, el corte de la lámina puede, por relajamiento de las fuerzas latentes, causar irregularidades en la forma.

c. Estado Evidente. La forma evidente aparece cuando los esfuerzos internos no son iguales a través del ancho de la lámina y al mismo tiempo, el módulo de sección de la lámina no es suficiente para resistir la formación de combas. Esto da como resultado combas locales elásticas. Bajo condiciones apropiadas de tensiones externas, el promedio de los esfuerzos compresivos pueden ser reducidos en niveles tales que resulte en una transformación de forma evidente en una forma latente. Por otro lado, removiendo la tensión externa y cortando la cinta, se enfatiza la forma evidente.

d. Estado Dual. La forma dual cubre varios casos como cuando una porción de la lámina tiene forma latente mientras que otra porción tiene forma evidente [13]. Las ondas en la orilla o combas en el centro en un lado de la lámina son ejemplos típicos de este estado en la planeza de la lámina.

### **3.5 Descripción del modelo.**

Para evaluar la evolución del perfil y la planeza durante la producción de una pieza laminada en caliente, se deben considerar variables como la temperatura (dentro de los rodillos de trabajo y de la lámina), esfuerzos en el material, desgaste de los rodillos y las cédulas de reducción, pero estas variables dependen de otros parámetros como la composición química del material o su microestructura [14, 15]. En este caso, las distribuciones de las temperaturas dentro de la lámina y de los rodillos de trabajo y de los esfuerzos dentro de la lámina son calculados por un programa que describe la evolución tanto térmica como microestructural [15]; posteriormente, estos datos son utilizados en el programa para predecir la evolución del perfil y la planeza de la lámina. El producto final, una lámina completamente plana, resulta del uso apropiado de las cédulas de flexión de rodillos y las predicciones del perfil, ver Figura 3.3.



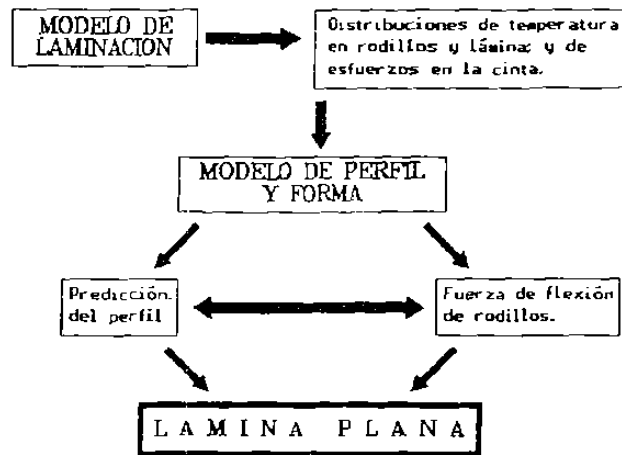


Fig. 3.3 Secuencia propuesta para la obtención de una lámina plana.

El modelo de laminación en caliente considera que la variable más importante es la temperatura [15, 16], debido al fuerte efecto que ésta tiene sobre la evolución microestructural, el crecimiento de la capa de óxido y la resistencia del acero al ser laminado, condiciones suficientes como para justificar el inicio de la modelación con la temperatura [15]. Una complicación adicional que el proceso de laminación en caliente en un molino continuo tiene es que el espesor de la cinta decrece conforme el área superficial se incrementa y, con esto, la velocidad de enfriamiento de la cinta se acelera. Esta velocidad depende de la manera en que la cinta pierde calor, presentándose con diferentes fenómenos a tiempos diferentes: convección y radiación (a través de la capa de óxido) cuando la cinta está expuesta al aire,

convección y evaporación del agua (desde sistemas de enfriamiento), conducción a los rodillos de trabajo (a través de las barreras térmicas que representa la capa aislante de óxido) durante la reducción en sí. La temperatura se incrementa debido al calentamiento adiabático, producto de la deformación, teniendo esto que ser considerado a la hora de la modelación. Es conveniente considerar que el calor ganado por los rodillos de trabajo, producido por conducción desde la lámina puede causar la expansión térmica de los mismos, lo cual puede afectar el perfil maquinado de los rodillos, factor, que a su vez, puede afectar el perfil de la cinta y consecuentemente su forma.

Se debe conocer el comportamiento de deformación del material para poder obtener los esfuerzos a los que está sometido bajo las condiciones de trabajo (temperatura, deformación y velocidad de deformación) [17], los cuales son usados para calcular las fuerzas de laminación [18]. Esto es importante en el control de la forma, porque tanto el desgaste como la flexión en los rodillos depende de la aplicación de la fuerza. El modelo utilizado para analizar el comportamiento del entrehierro supone que el perfil de la cinta está complementado por el de los rodillos de trabajo. El calculo del perfil de los rodillos de trabajo, considera el resultado de la superposición del

coronamiento por maquinado, aplastamiento (con los rodillos de apoyo y la cinta) y el desgaste. Una vez conocido este perfil, es posible calcular la flexión y distorsión a la que está sujeto el ensamble formado por los rodillos de apoyo, los de trabajo y la cinta al estar siendo laminada.

La forma de la cinta depende fuertemente de la manera en que el perfil cambia cuando se hace una reducción en el pase, ver Figura 3.4. La mejor manera de mantener la cinta plana es conservando la relación de coronamiento de la cinta ( $c$ ) sobre la altura ( $h$ ) dentro de un intervalo estrecho [19]. Las ondas en las orillas o al centro de la cinta, pueden aparecer respectivamente, según la relación  $c/h$  aumenta o decrece más allá de ciertos límites (los cuales dependen de condiciones geométricas); esto es más crítico cuando el espesor de entrada de la cinta sobre el ancho ( $h/w$ ) se incrementa, porque el exceso de material removido desde la orilla o el centro de la cinta no puede ser movido hacia los lados [20]. El criterio de forma aplicado en el modelo se obtiene por [19]:

$$-80\left(\frac{h_f}{w}\right) < \Delta\left(\frac{c}{h}\right) < 40\left(\frac{h_f}{w}\right)^2$$

donde  $h_f$  y  $w$  son el espesor de salida y el ancho de la cinta respectivamente,  $\Delta(c/h)$  es la diferencia en la relación de entrada y salida:

$$\Delta\left(\frac{c}{h}\right) = \frac{c_o}{h_o} - \frac{c_f}{h_f}$$

donde los subíndices o y f indican los valores de entrada y salida respectivamente. Los valores negativos en la ecuación del criterio de forma, fuera de los márgenes considerados por esta última ecuación pueden indicar la tendencia al desarrollo de ondas en la orilla después de dar una pasada. Se considera que los esfuerzos tanto en los rodillos de trabajo como en los de apoyo son elásticos y, por lo tanto, el modelo permite que los rodillos hechos de diversos materiales puedan deformarse diferentemente cuando se le apliquen cargas constantes y las condiciones geométricas sean tomadas en cuenta [21, 22].

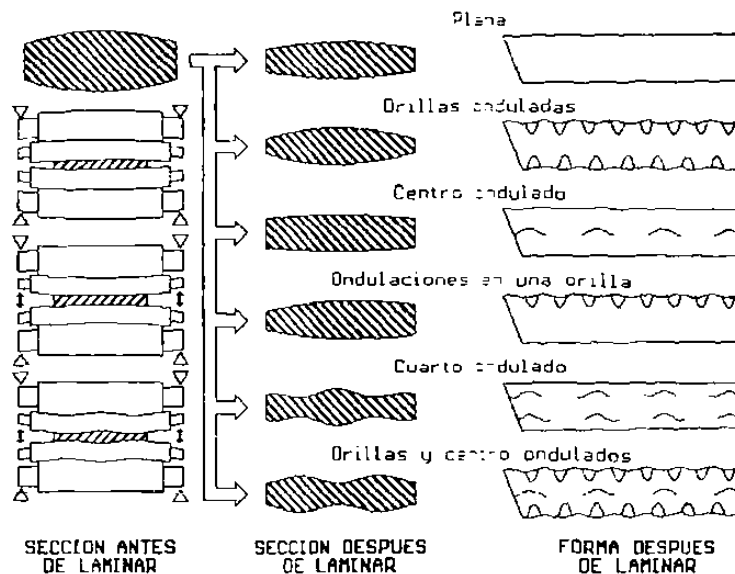


Fig.3.4 Forma resultante de la cinta en función del perfil de entrada y el de salida.

La expansión térmica de los rodillos de trabajo es calculada por la contribución de  $m$  segmentos individuales, en los cuales el rodillo está dividido, para calcular la evolución térmica y microestructural en la cinta se emplea [15]:

$$\Delta R_m = \sum_{i=1}^n \alpha (T_i - T_o) \delta r_i$$

donde  $\Delta R_m$  indica la expansión de la sección  $m$  en la cual el rodillo está dividido,  $\delta r_i$  es la dimensión de la fracción radial,  $T_i$  es la temperatura en el elemento,  $T_o$  es la temperatura ambiente y  $\alpha = 4.2 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  es el coeficiente lineal de expansión térmica. Se puede mencionar que, en la etapa presente, la expansión térmica es compensada o permitida para que se produzca por el primer contacto de los rodillos de trabajo con la cinta [15].

El principio de flexión de los rodillos (que en este molino en particular es provisto por el sistema de balance de los rodillos), ver Figura 3.5, es el de variar la deformación elástica de los rodillos de trabajo para que el perfil del entrehierro y, por consiguiente, el perfil de la cinta, sean alterados. Sin embargo, y con el fin de estimar el perfil del entrehierro, las cargas de deformación de el rodillo tienen que ser conocidas. Esto significa que la distribución de fuerzas transversales entre el rodillo de trabajo y la cinta, y

entre los rodillos de trabajo y de apoyo deben ser conocidas. Estas distribuciones de fuerzas pueden ser calculadas haciendo un análisis en dos dimensiones empleando un método numérico basado en una técnica de influencia lineal. Tal método consiste en dividir una mitad del rodillo para obtener un número de elementos y reemplazar la distribución de fuerzas en el rodillo por una fuerza concentrada en la mitad de cada elemento [21, 23], ver Figura 3.5.

Esto supone que el rodillo de apoyo es deformado como resultado de la transmisión de fuerza de el rodillo de trabajo, de tal manera que el desplazamiento de cualquier punto puede ser calculado dividiendo este rodillo en  $m$  elementos de ancho  $\Delta w$  y suponiendo que la fuerza resultante se concentra en el centro. Si  $p_j \Delta w$  es la fuerza resultante de la presión aplicada en la sección  $j$ , el desplazamiento de la sección  $i$  se obtiene por:

$$D_{b(i)} = \sum_{j=1}^m a_{bij} p_j \Delta w$$

donde  $a_{bij}$ , es el coeficiente de influencia [21,22].

El efecto de las fuerzas actuantes en el rodillo de trabajo es calculado de manera similar, sólo es necesario incluir la fuerza  $q_i \Delta w$  (actuando en  $n$

segmentos en los cuales el ancho de la lámina está dividido) resultando desde el contacto de la cinta con el rodillo:

$$D_{w(i)} = \sum_{i=1}^n a_{wij} q_j \Delta w - \sum_{j=1}^m a_{wij} p_j \Delta w$$

El valor numérico de las presiones  $p_j$  y  $q_j$  puede ser resuelto iterativamente [21]; pero, dado que los valores o la  $q$  son conocidos por simulaciones térmica y estructurales [15], es posible aplicar un método mucho más simple [23].

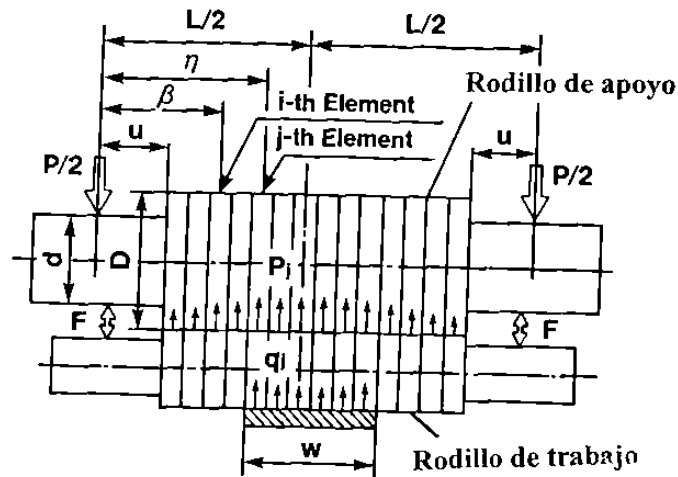


Fig. 3.5. Principio de flexión de rodillos.

El aplastamiento de los rodillos es calculado a partir de fuerzas debidas al contacto con la cinta [22]:

$$Ri' = Ri \left[ 1 + \frac{16(1-\nu^2)}{\pi E} \frac{q_i}{\Delta h_i} \right]$$

donde  $Ri'$  y  $Ri$  son el radio deformado y sin deformar del rodillo respectivamente,  $\nu$  y  $E$  son los módulos de Poisson y de Young, y  $\Delta h_i$  es la reducción en altura que sufre la cinta. Se puede deducir una ecuación similar para explicar por medio del contacto entre el rodillo de apoyo y el de trabajo.



## **4. Procedimiento de toma de datos.**

### **4.1 Introducción.**

Como se mencionó anteriormente, el objetivo de este trabajo consiste en predecir el comportamiento de la lámina al ser deformada por los rodillos de laminación de cada uno de los seis castillos del molino continuo. Para esto se capturaron datos del proceso en el producto laminado en caliente variando el espesor de salida (banda), ancho y tipo de acero (ver Tabla I).

Se realizaron atorones programados de la última secuencia antes de un cambio de rodillos con el fin de documentar la evolución de la sección transversal de la lámina al pasar por el molino continuo. Finalmente se escogieron aleatoriamente rollos para la medición de planeza con el fin de documentar la evolución de la misma a lo largo y ancho del mismo.

Un atorón programado se realiza cuando el tren de laminación es parado intencionalmente al final de un planchón, con la finalidad de estudiar las partes de la lámina que quedan mordidas en cada uno de los seis castillos del molino continuo, estudio mismo que permite describir la evolución del perfil tanto a la entrada como a la salida de cada castillo.

El número de secuencia de un planchón, no es más que el número que en planta tendrá asignado dicho planchón, empezando con el número 1 el día 1 de enero de cada año y siguiendo una numeración consecutiva a lo largo del año hasta terminar con la última solera producida el día 31 de diciembre.

**TABLA I. Productos laminados en caliente a los que se les capturaron datos de proceso.**

<b>Producto</b>	<b>Acero (%C)</b>	<b>Calibre (mm.)</b>	<b>Ancho (m.)</b>
<b>A</b>	0.07	2.159	0.635
<b>B</b>	0.07	2.032	0.953
<b>C</b>	0.08	2.642	1.08
<b>D</b>	0.08	2.032	0.940
<b>E</b>	0.08	2.540	0.940
<b>F</b>	0.12	3.023	0.927
<b>G</b>	0.13	1.575	0.813
<b>H</b>	0.13	1.956	0.914
<b>I</b>	0.15	2.032	0.965
<b>J</b>	0.17	6.096	1.08

## 4.2 Datos del proceso.

Se tomaron valores en la punta, centro y cola de la lámina para cada uno de los seis castillos en diferentes secuencias mediante un programa gráfico [24] que despliega los valores capturados por la computadora de proceso, en función del tiempo, ver Anexo I.

En los productos que fueron escogidos para realizar atorones programados, sólo se observan valores en la cola, ya que ésta es la región de interés para el análisis.

Estos datos documentan las temperaturas de entrada y salida de la lámina al molino continuo, observándose que la temperatura de salida siempre es menor que la de entrada, ya que a través del proceso se pierde calor por conducción en la zona de contacto cinta-rodillo y por convección y radiación al medio ambiente [25].

Además de esta información, también se capturaron los datos de fuerzas de separación, presión en el sistema de flexión de rodillos, velocidad en cada uno de los castillos, la cual se observa que aumenta a medida que pasa del castillo 1 al 6, debido a que la lámina al pasar por el primer castillo, tiene un espesor mucho más grande que el que tiene al pasar por el último

castillo, del cual saldrá con el espesor final.

Para lograr que este cambio en las velocidades de cada uno de los castillos no afecte a la forma de la lámina, se dispone de formadores de onda, los cuales se encargan de controlar el cambio de velocidad, evitando que la lámina sufra una diferente elongación a lo largo del rollo, o lo que es peor, que se atore en alguno de los castillos. La forma de controlarlo, es ejerciendo una cierta tensión en la lámina, formando de esta manera una onda, como se muestra en la Figura 4.1

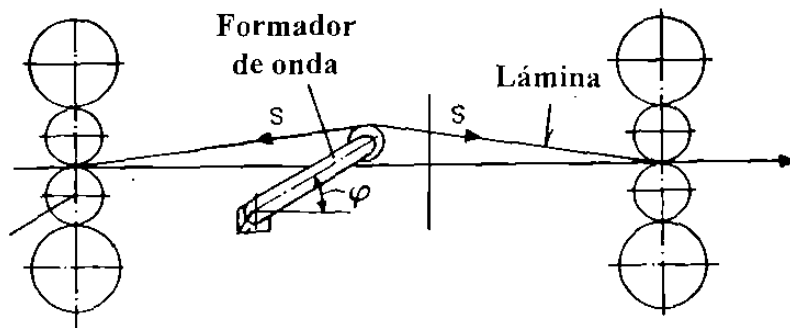


Figura 4.1 Formadores de onda

Los datos mostrados en el Anexo I son alimentados a un programa de simulación del molino continuo [24], para generar el archivo base a ser utilizado en el programa que simula la evolución del perfil y planeza [26] y comparar las predicciones con las mediciones del perfil de la cinta atorada. Las coronas maquinadas utilizadas en la modelación son las mismas que se utilizan en la empresa (-254, -254, -203.2, -152.4, -76.2, -25.4  $\mu\text{m}$ ). Cabe

mencionar en este punto que la forma de la corona maquinada es cóncava, esto es con el objeto de asegurar que las piezas a ser laminadas no se salgan o desvíen del tren de laminación.

### **4.3 Mediciones de Planeza**

Se realizaron mediciones de planeza en hojas cortadas a partir de secuencias de las que se disponía de datos del proceso; mediante un programa gráfico se observó la variación de la planeza a lo largo del cono de laminación, en este mismo programa, además de la planeza, se puede observar en la porción inferior de cada figura, las variaciones del ancho y el espesor a lo largo del cono, además de los cambios de rodillos en los castillos que se pudieran presentar durante la campaña de laminación.

Se tomaron once hojas por rollo, sobre las que se realizó la medición, dos cerca de cada extremo del rollo, tres al centro y tres más aproximadamente a 30 metros de cada uno de los extremos. En la Tabla II se pueden ver las secuencias y los tipos de acero a los cuales se les midió planeza.

Hubo varios productos en la lista original, a los cuales no se pudo

realizar esta medición, debido a que su grueso calibre hacia a la muestra demasiado pesada para la mesa de trabajo en que se realizó la medición.

**TABLA II. Secuencias a las que se les midió planeza.**

<b>Producto</b>	<b>Acero (%C)</b>	<b>Calibre (mm)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Secuencias</b>
<b>C</b>	<b>0.08</b>	<b>2.642</b>	<b>1.08</b>	78449, 78453, 78456, 78565, 78568, 78571
<b>D</b>	<b>0.08</b>	<b>2.032</b>	<b>0.94</b>	75189
<b>E</b>	<b>0.08</b>	<b>2.540</b>	<b>0.94</b>	77728, 77732 77737, 77800, 77803, 77807
<b>F</b>	<b>0.12</b>	<b>3.023</b>	<b>0.927</b>	83127
<b>G</b>	<b>0.13</b>	<b>1.575</b>	<b>0.813</b>	82384
<b>H</b>	<b>0.13</b>	<b>1.956</b>	<b>0.914</b>	80932, 80936, 80940, 80942, 80946, 80949
<b>I</b>	<b>0.15</b>	<b>2.032</b>	<b>0.965</b>	93556

En el Anexo II se encuentran los datos de las secuencias a las cuales se les midió planeza. Estos datos se representan en unidades I, como se explicó en el Capítulo 2.

#### **4.4 Mediciones de Perfil**

Para realizar la medición de perfil se programaron atorones de la última secuencia antes de un cambio de rodillos, esto se realizó en dicho momento, para aprovechar tiempo en que los operarios cambiaban los rodillos de los castillos para cortar y retirar del tren de laminación la lamina atorada.

Una vez atorada la secuencia se procedía a cortar las mordidas de cada uno de los seis castillos para medir a todo lo ancho tanto a la entrada como a la salida de cada castillo el perfil que presentase la lámina para compararlo con las predicciones hechas por el modelo.

Esta medición se realizó como ya se había mencionado a todo lo ancho de cada mordida y en un intervalo de 2.54 cm., entre cada medición. Las mediciones se realizaron utilizando un calibrador de ultrasonido, con precisión de 0.00254 mm., la medición de ambas orillas hasta 5.08 cm. de ellas, se realizó utilizando un micrómetro de esferas, debido a que estudios



anteriores han demostrado que, por la caída del perfil de la lámina, las mediciones vía ultrasonido no son confiables en dicha región [27].

En el Anexo III se encuentran los datos medidos a las secuencias a las cuales se les realizó atorón durante el estudio.

## 5. Resultados y Discusión.

### 5.1 Resultados

Una vez obtenidos todos los datos, se procedió a su análisis. En la Figura 5.1, se observa el cono que se laminó el segundo turno del día 4 de mayo de 1993, en la porción superior de la gráfica se muestran las secuencias escogidas aleatoriamente: 77728, 77732, 77737, 77800, 77803 y 77807, sobre las que se identifican las unidades I que se registraron en cada porción del rollo.

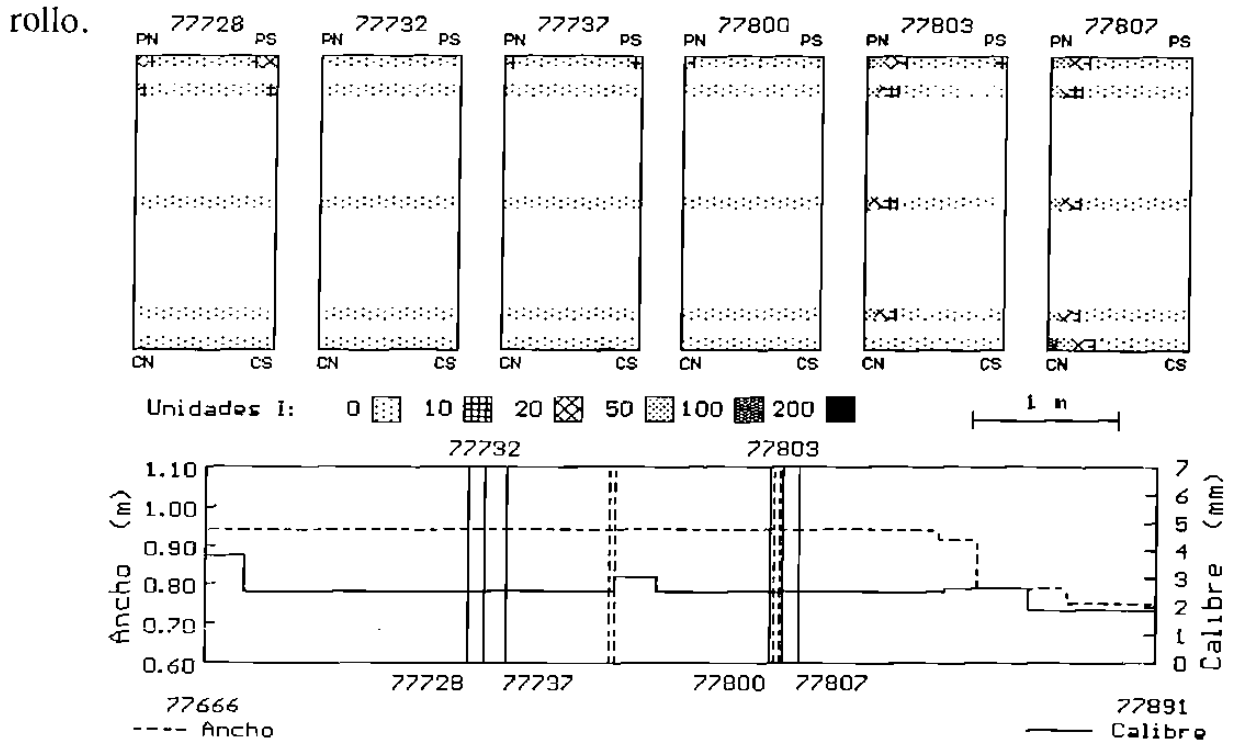


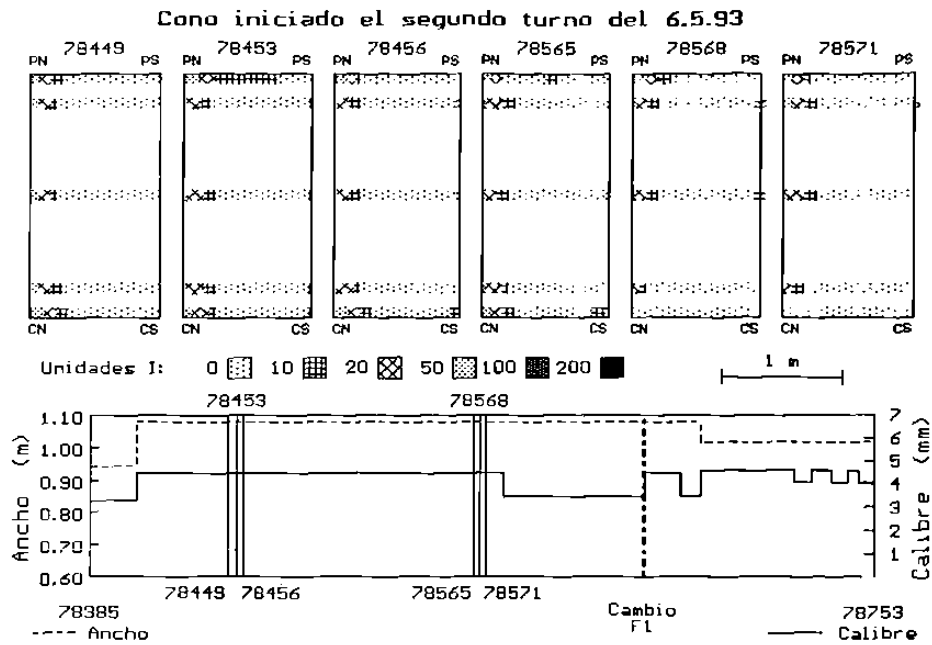
Fig. 5.1. Detalles de planeza en rollos laminados el 4 de mayo de de 1993.

La porción inferior de la gráfica muestra la posición relativa de las diferentes secuencias a lo largo del cono. Aquí se observa como las secuencias antes del cambio de rodillos en los últimos tres castillos tienden a estar onduladas solamente en la punta y a ambas orillas, en tanto que al cambiar los rodillos se observa un incremento en las ondulaciones al lado norte a lo largo de todo el cuerpo de la secuencia.

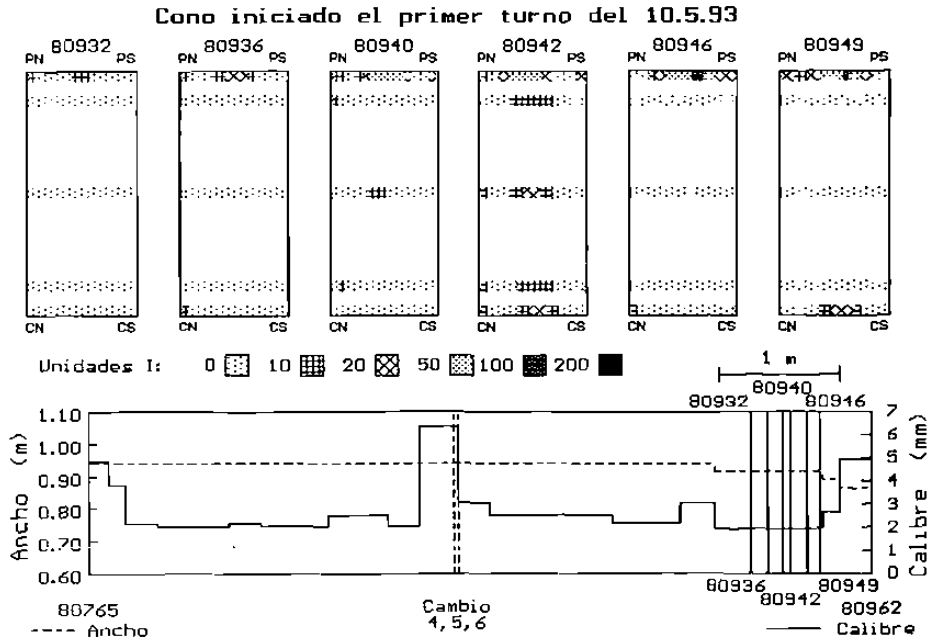
Es interesante observar y confirmar con las secuencias que se laminaron el segundo turno del 6 de mayo de 1993, Figura 5.2, la estabilidad del molino continuo, sin embargo la información recopilada el día 10 del mismo mes, Figura 5.3, permite observar la presencia de ondulaciones al centro en dos secuencias, lo que sirve para dar luz sobre las condiciones operativas que pudieran ocasionar dicho fenómeno en contraste con la estabilidad presentada en las Figuras 5.1 y 5.2.

En la Figura 5.4 se grafica el cociente de la fuerza de separación sobre la fuerza de flexión que se ejerció durante la producción de las secuencias mostradas en la Figura 5.3. Se grafican los cocientes para tres posiciones, punta, centro y cola de la secuencia, observándose que dicha relación se incrementa a medida que se aproxima a la cola, debido sobre todo al incremento en la fuerza de laminación necesarias para reducir material más

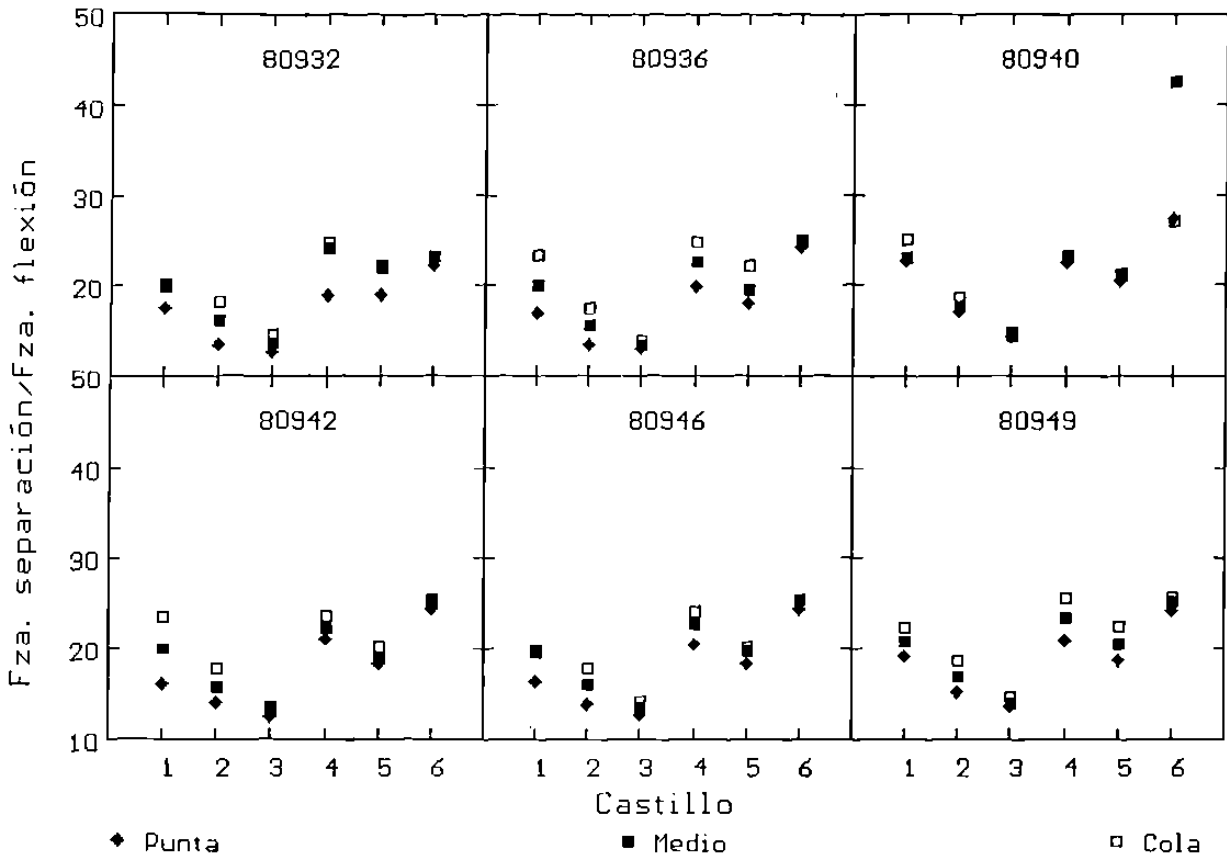
frío.



**Figura 5.2.** Posición de las secuencias a las que se les midió planeza a lo largo del cono laminado el segundo turno del 6 de mayo de 1993.



**Figura 5.3.** Posición de las secuencias a las que se les midió planeza a lo largo del cono laminado el primer turno del 10 de mayo de 1993.



**Figura 5.4.** Cociente de la fuerza de separación sobre la producida por la flexión de rodillos en tres posiciones de secuencias a las que se midió planeza.

No se observa ninguna diferencia significativa en las diferentes secuencias, salvo en la porción media de la 80940 al pasar por el castillo seis, lo que es suficiente para justificar la ondulaciones medidas al centro de las hojas cortadas para este fin.

Se encontró al validar el modelo de simulación de laminación en caliente [24] una buena correlación entre la predicción de la temperatura de salida en base a la temperatura de entrada, Figura 5.5., dado que sólo algunos puntos se encuentran fuera de un intervalo de  $\pm 5\%$ .

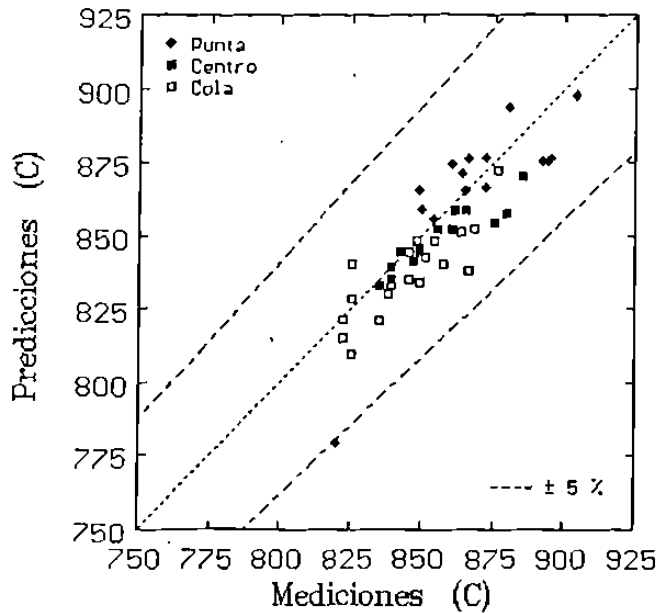


Figura 5.5. Correlación entre las mediciones y predicciones de la temperatura de acabado.

La validación del modelo de simulación de perfil y planeza [26], se basó en las mediciones de los perfiles de las secuencias atoradas Ver Anexo III, utilizando los valores instantáneos de velocidades, fuerzas y presión en el sistema de flexión, Ver Anexo I, Tabla I.4. En las Figuras 5.6 a 5.10 se hace una comparación de las mediciones del perfil de los trozos atorados y las del modelo para las cinco secuencias descritas en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Información relativa a los productos atorados.

Secuencia	Acero (% C)	Ancho (cm.)	Banda (mm.)
75188	0.08	93.98	2.032
82384	0.13	81.28	1.575
83127	0.12	92.71	3.023
93556	0.15	96.52	2.032
107862	0.13	63.50	2.160

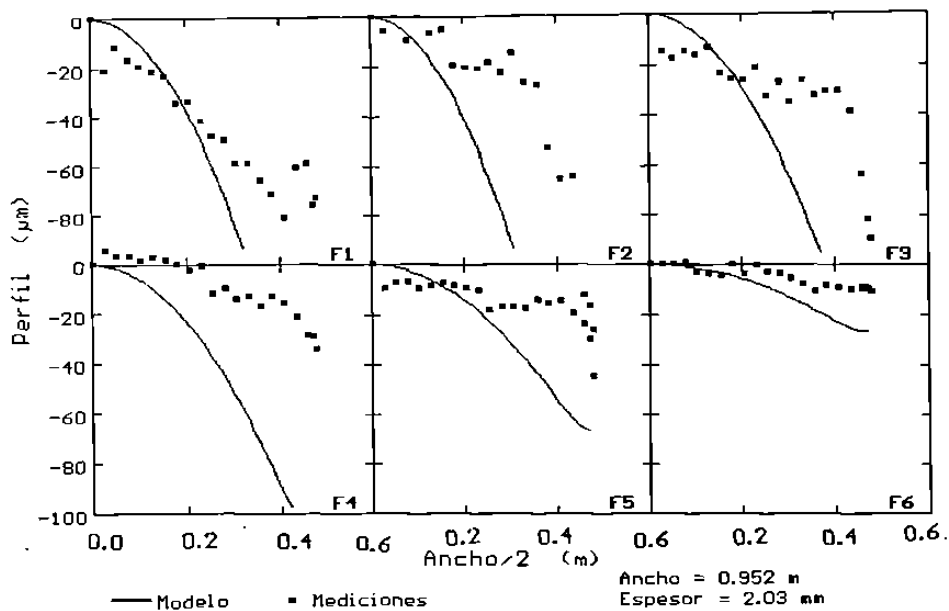


Figura 5.6 Comparación entre los perfiles medidos y predichos para la secuencia 75188.

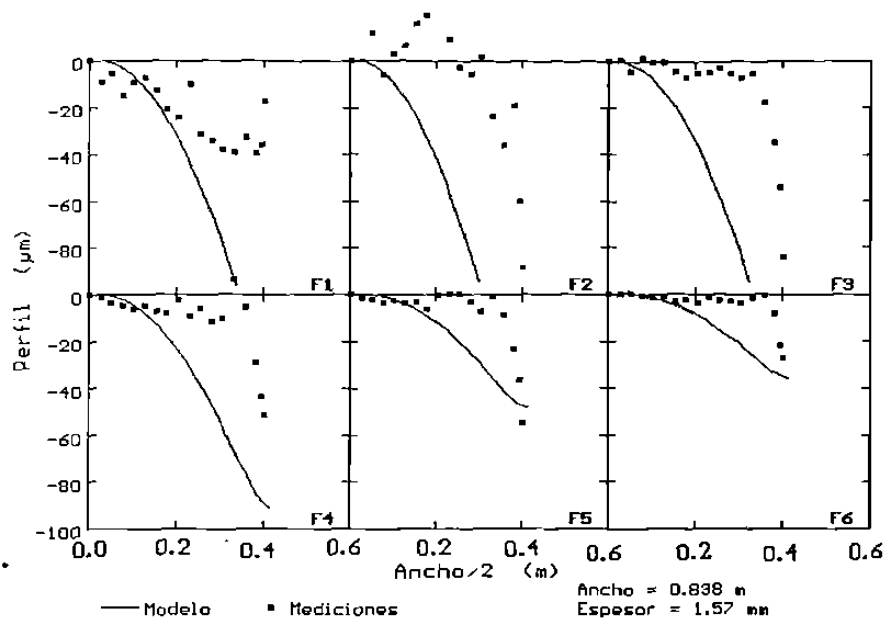


Figura 5.7 Comparación entre los perfiles medidos y predichos para la secuencia 82384.

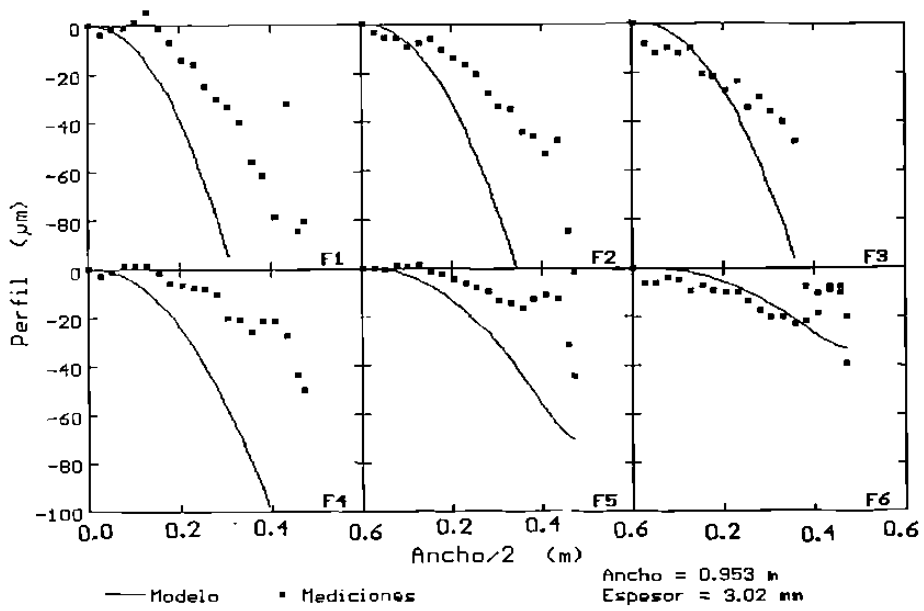


Figura 5.8 Comparación entre los perfiles medidos y predichos para la secuencia 83127.



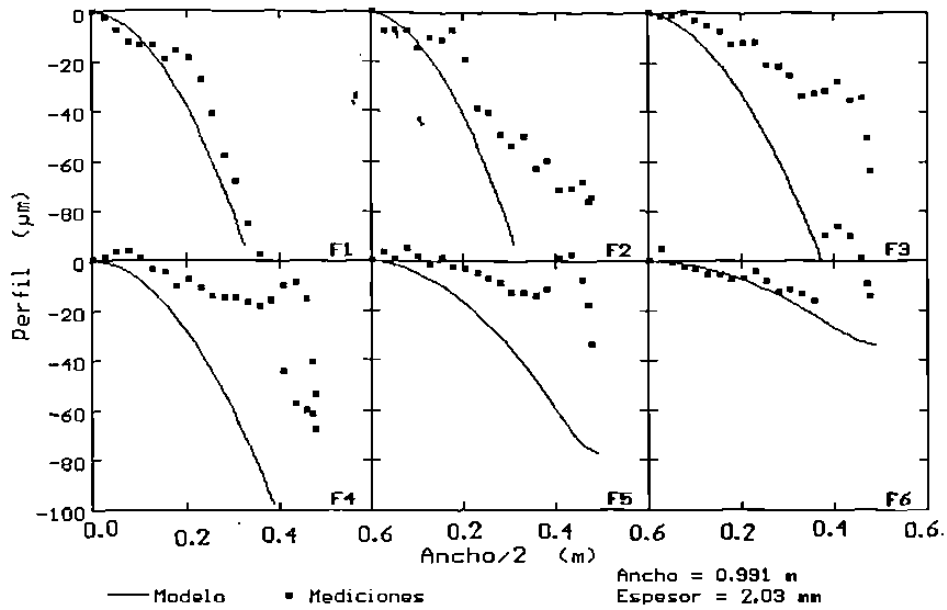


Figura 5.9 Comparación entre los perfiles medidos y predichos para la secuencia 93556.

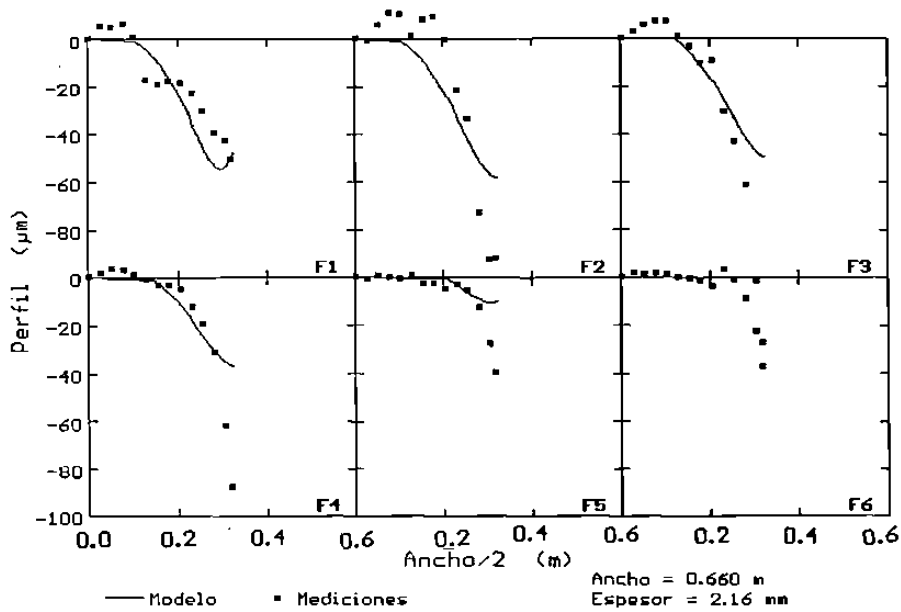


Figura 5.10 Comparación entre los perfiles medidos y predichos para la secuencia 107862.

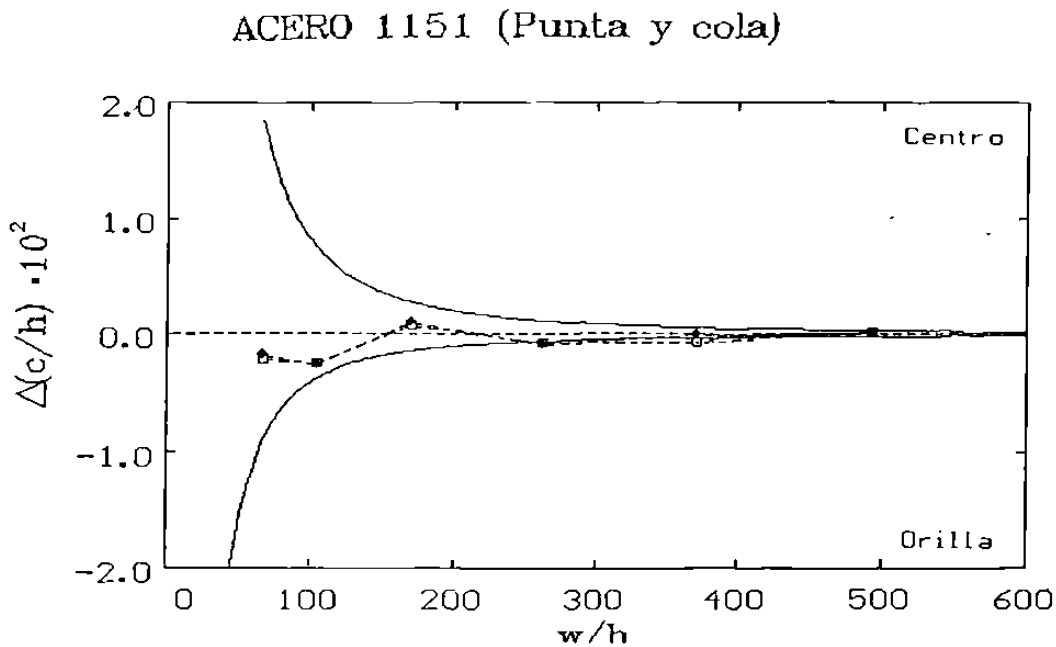
Es interesante observar como en algunos casos la predicción del perfil no concuerda con la medición, lo que se atribuye a la falta de algoritmos o modelos para predecir la contribución del desgaste y el coronamiento térmico, sin embargo si se puede apreciar una cierta tendencia a predecir la envolvente de los datos experimentales; esto afecta directamente al estado de planeza, ya que las ondulaciones en ambas orillas, en el centro o en cualquier otro lugar están asociadas con la variación en la deformación que sufre la cinta en los diferentes pasos de reducción, ver Figura 3.4. El análisis y estudio de los fenómenos y parámetros responsables del cambio en la geometría del pase es complejo, puesto que al perfil maquinado al rodillo de trabajo se le deben adicionar precisamente los efectos de la expansión térmica, el desgaste y el aplastamiento que éste sufre.

## 5.2. Pruebas de Perfil y Planeza.

Una vez obtenidos estos resultados se solicitó la programación de una prueba para evaluar el perfil y planeza en lámina destinada a la producción de perfiles estructurales. Las condiciones de prueba recomendadas fueron las que se muestran en la Tabla 5.2. Se supone que la variación en las fuerzas de separación es debida a la variación de temperatura de punta a cola y de secuencia a secuencia, de tal forma que los valores presentados como mínimos se encontrarán cuando se alimente la punta de una lámina a 1020°C, en tanto que los máximos se producirán en la cola cuando la temperatura de la punta de la misma cinta sea de 900°C. La combinación de coronas maquinadas y presiones en el sistema de flexión de rodillos recomendada en cada castillo permite suponer la obtención de lámina plana con una corona final entre 35.56 y 38.10  $\mu\text{m}$ , misma suposición arrojada por el simulador de perfil y planeza [26], Figs. 5.11 y 5.12.

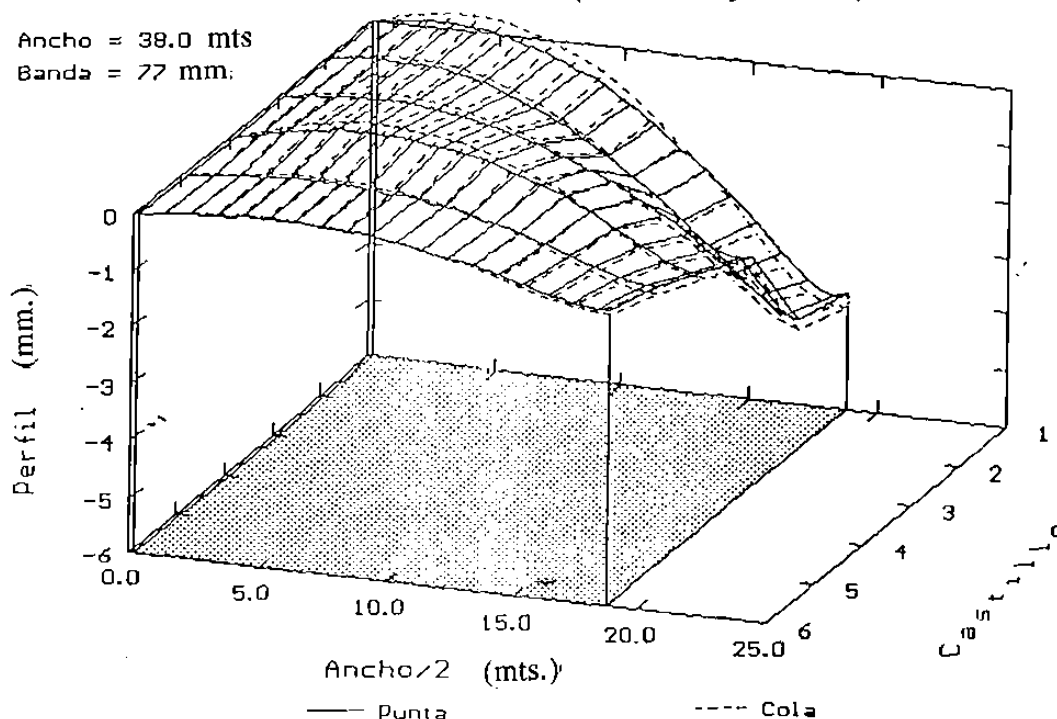
**Tabla 5.2. Condiciones operativas solicitadas para la prueba de perfil y planeza.**

Variable	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Corona maquinada ( $\mu\text{m.}$ )	-177.8	-177.8	-76.2	-50.8	-25.4	-25.4
Fuerza de sep. mín. (MN.)	7.25	8.11	8.28	7.32	6.45	6.19
Fuerza de sep. máx. (MN.)	13.0	11.1	11.6	9.8	8.37	7.07
Fuerza en sist. de flexión (MPa.)	10.3	12.4	12.4	15.3	9.5	8.9



**Figura 5.11.** Criterio de planeza correspondiente a las predicciones suponiendo que la punta entra a 1020°C y la cola entra a 900°C.

### ACERO 1151 (Punta y cola).



**Figura 5.12.** Predicción de la evolución del perfil de punta y cola suponiendo las mismas condiciones que las descritas para la figura 5.11.

Durante el transcurso de la prueba se recopiló la información de las condiciones operativas, obteniéndose como resultado los datos mostrados en la Tabla 5.3 y en las Figs. 5.13 a 5.18. En la Fig. 5.13 se presenta en forma gráfica la variación de la planeza, en unidades I, según se midió en hojas cortadas de las siete secuencias anteriores al cambio de los rodillos de trabajo de los últimos tres castillos. En la porción inferior de esta figura se representan en forma gráfica los anchos y calibres de las láminas producidas en el cono de prueba. Es interesante observar los bajos valores en unidades

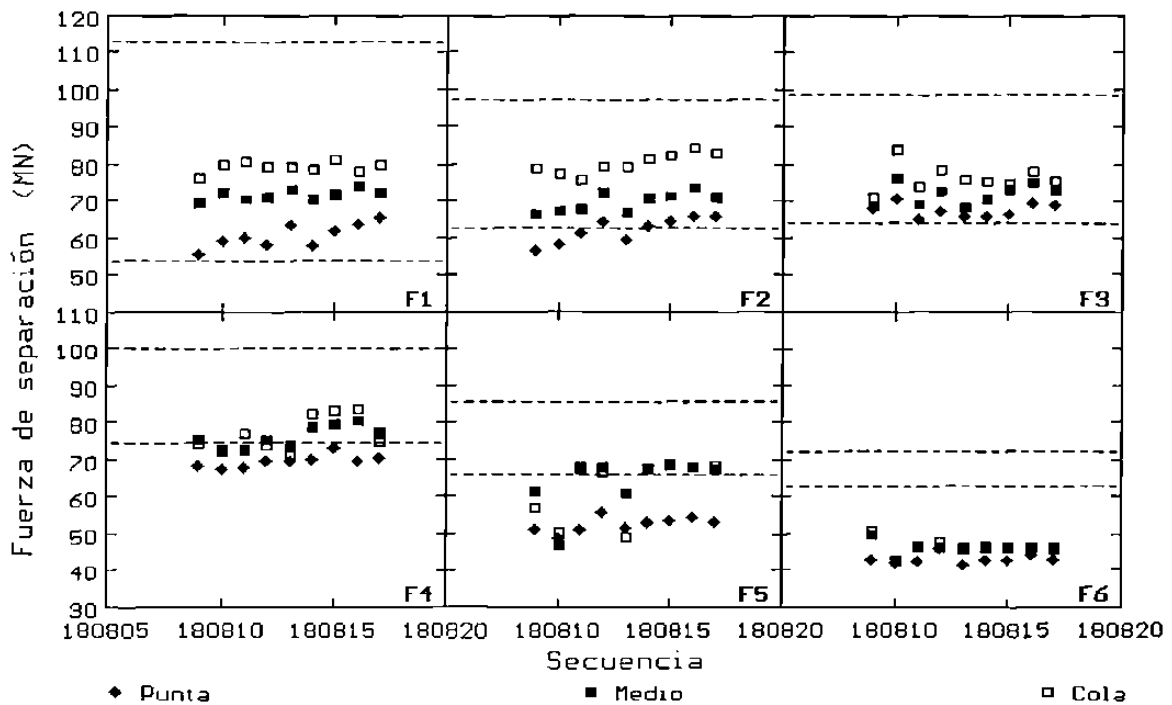
I en los cuerpos de las secuencias medidas, lo que implica una buena planeza; también resulta conveniente mencionar que la falta de planeza (asociada con altos valores de unidades I) registrada en las hojas correspondientes a las puntas de los rollos separados para este fin se debe a errores de medición ocasionados por el maltrato, causado por el manejo de los rollos antes de llegar al laboratorio de medición, que exhibieron estas hojas en particular.

**Tabla 5.3. Resumen de la información recopilada durante la prueba.**

Variable	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Corona maquinada ( $\mu\text{m}.$ )	-177.8	-177.8	-203.2	-152.4	-25.4	-25.4
Fuerza de sep. mín. (MN.)	7.4	7.5	8.3	6.6	4.8	4.1
Fuerza de sep. máx. (MN.)	9.9	10.2	10.1	8.2	6.7	4.7
Fuerza mín. para flexión (MPa)	10.5	12.2	12.0	15.2	8.9	7.7
Fuerza máx. para flexión (MPa)	10.6	12.2	12.1	15.3	8.9	8.0
Fuerza de separación/flexión mín.	17.1	15.0	16.7	10.5	13.1	12.4
Fuerza de separación/flexión máx.	23.1	20.2	20.6	13.1	18.3	15.1



de estas variables a lo largo del rollo, por lo que se recurrió a la captura convencional (cuatro mediciones de cada variable por secuencia). En la Fig. 5.16 se muestra la variación del cociente que resulta de dividir la fuerza de separación por la de flexión, observándose su poca variación en cada uno de los seis castillos.



**Figura 5.14** Variación de la fuerza de separación registrada en punta, centro y cola de cada una de las secuencias de prueba; las líneas indican los valores predichos máximos y mínimos.



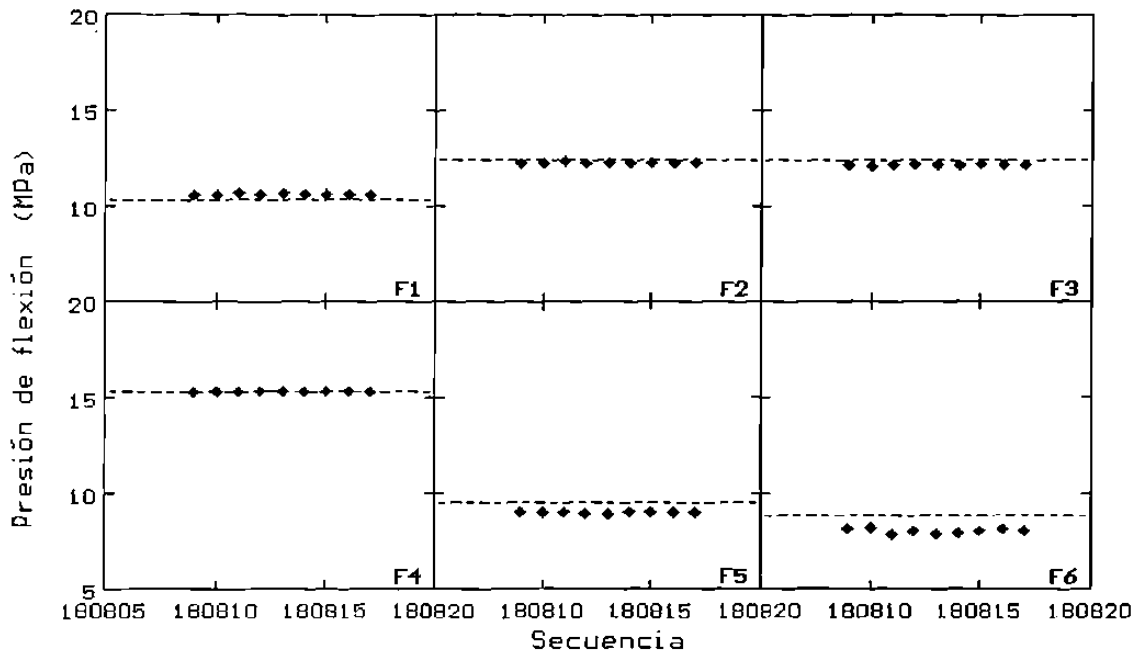


Figura 5.15 Variación de la presión del sistema de flexión de rodillos para cada secuencia de prueba, la línea indica el valor solicitado.

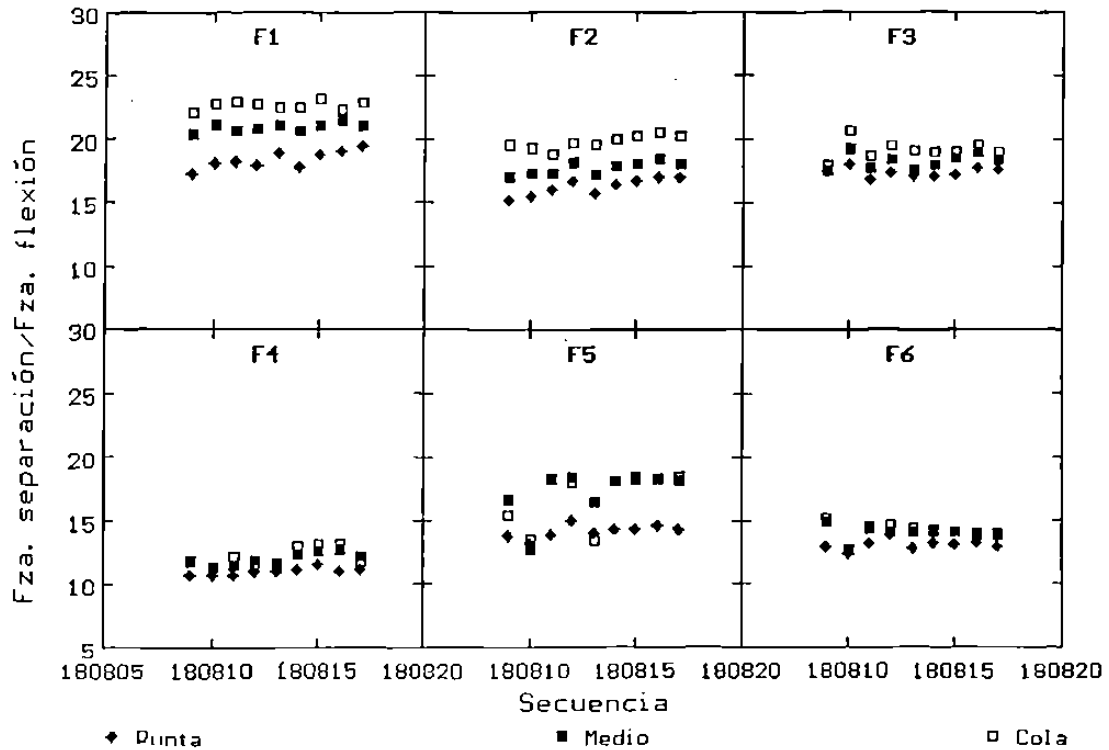


Figura 5.16 Variación del cociente de la fuerza de separación entre la de flexión en punta, centro y cola de las secuencias de prueba.

En las Figuras 5.17 y 5.18 se grafican los perfiles medidos en trozos de lámina correspondientes a diferentes secuencias de la prueba realizada. En la Figura 5.17 se documenta la variación del perfil a lo largo de la secuencia 180814, en tanto que en la Figura 5.18 se presentan los perfiles medidos en el cuerpo de diferentes láminas; éste último diagrama permite evaluar el coronamiento del producto, mismo que se encuentra entre 23.88 y 71.88  $\mu\text{m}$ . Es conveniente recordar que el coronamiento que se muestra en las Figs. 5.17 y 5.18 corresponde al de las dos superficies (diámetro), en tanto que el que el modelo predijo, entre 35.56 y 38.10  $\mu\text{m}$ ., Figura 5.12, corresponde a una sola superficie (radio).

El análisis de pruebas anteriores apuntaba hacia la necesidad de mantener relaciones constantes en cada castillo del cociente de las fuerzas de separación sobre la de flexión con el fin de asegurar la planeza de la lámina; de esta manera se puede observar en la prueba realizada, como los valores de planeza obtenidos se encontraron dentro de un margen aceptable, debido a que dicho cociente se mantuvo dentro de un intervalo bastante controlado, como se observa en la Figura 5.16; lo que concuerda con la Figura 5.4, en donde en los casos en que este cociente no se mantuvo constante la lámina producida presentó defectos de forma por encima del aceptable.

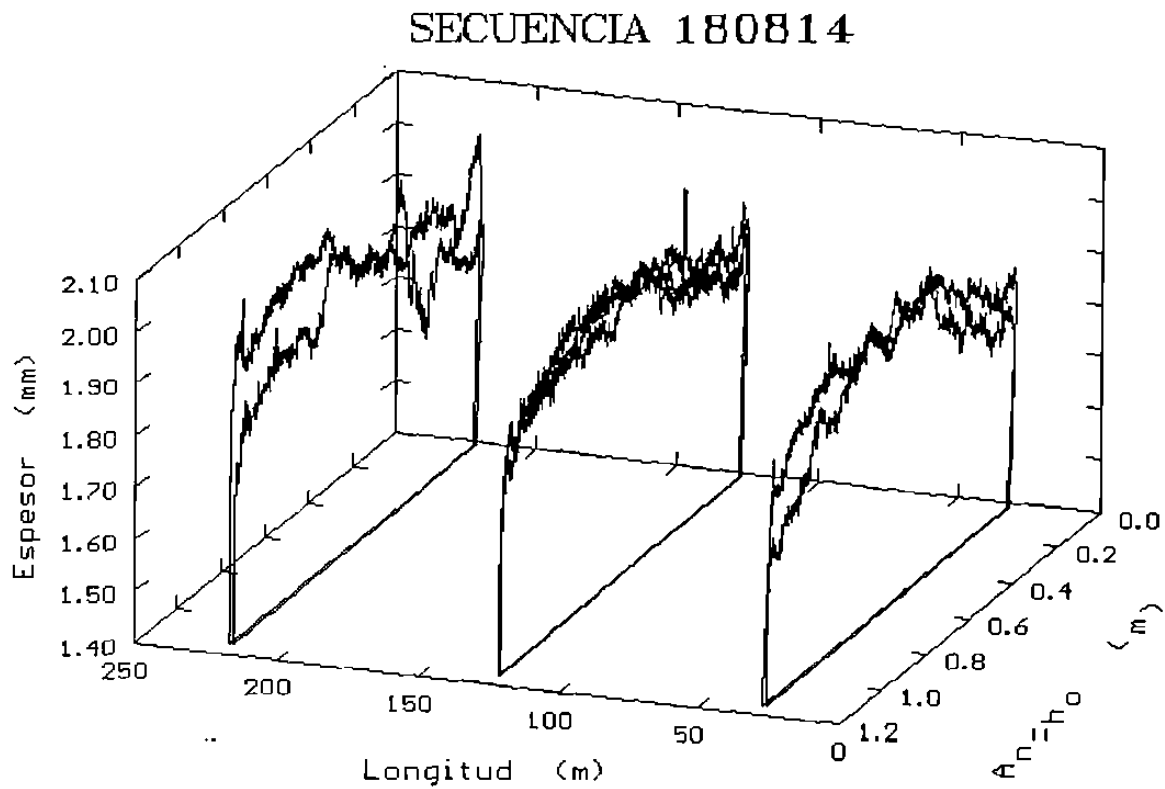


Fig. 5.17 Variación del perfil de la lámina a lo largo de la secuencia 180814.

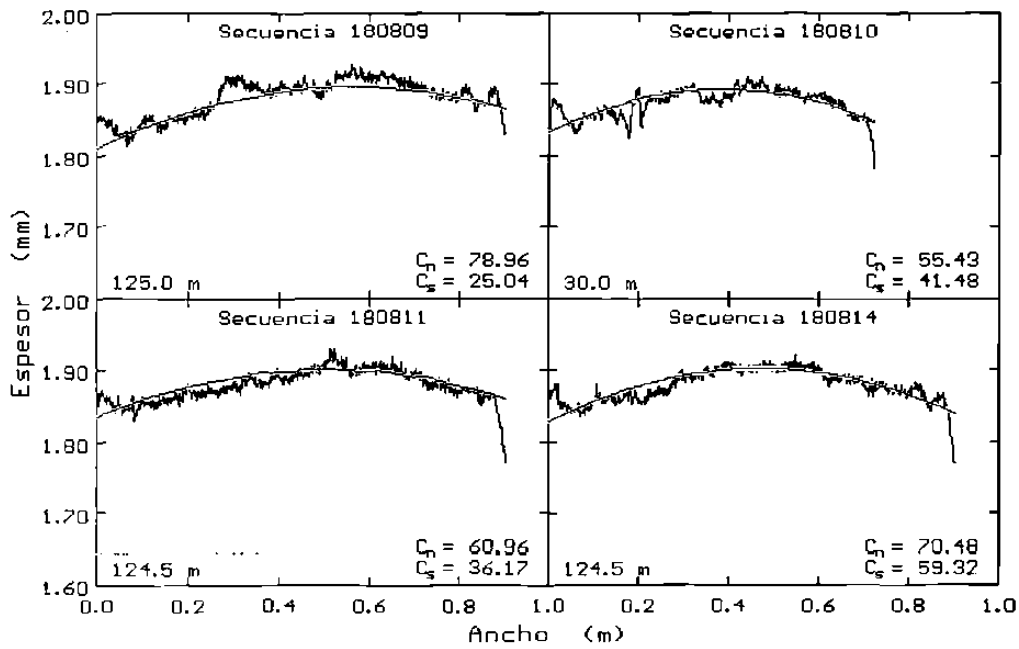


Fig. 5.18. Perfiles medidos en el cuerpo de cuatro secuencias diferentes.

Una vez concluída esta parte, y corroborada la premisa de mantener constante el cociente de la fuerza de separación sobre la fuerza de flexión del sistema para poder obtener una buena forma en la lámina, se procedió a ejecutar una serie de corridas en el simulador de laminación en caliente [24] con el fin último de elaborar un modelo estadístico que permita calcular la fuerza de separación esperada en cada uno de los seis castillos del molino continuo en función a diversas variables del proceso como lo son: composición química del acero, ancho, y banda de salida de la lámina. Se supuso que el acero presenta la menor resistencia a la deformación plástica cuando se alimenta la punta de la secuencia a temperaturas de 1030°C, en tanto que los valores máximos de fuerzas de separación se esperarán cuando se procese la cola de las secuencias cuyas puntas se introdujeron a 970°C.

Las mejores correlaciones encontradas siguen la fórmula:

$$F_{ij} = a_{ij} + b_{ij}W + \frac{c_{ij}}{H} + \frac{d_{ij}}{H^2} + e_{ij}CE \quad (1)$$

donde **F** es la fuerza de separación esperada, **W** y **H** son respectivamente el ancho y espesor (banda) a la salida del molino continuo, **CE** representa la

composición química del acero expresada en función del carbono equivalente y los subíndices *i* y *j* representan respectivamente el número del castillo y el tipo de fuerza a evaluar (*j* igual a 1 implica fuerzas mínimas, en tanto que las máximas se evalúan con *j* igual a 2). Los valores de los coeficientes *a* al *e* se reportan en el Anexo IV.

El carbono equivalente se calcula por medio de:

$$CE = [\%C] + \frac{[\%Mn] + [\%Si]}{10} \quad (2)$$

donde los contenidos de carbono, manganeso y silicio se toman como los nominales.

La fuerza de separación promedio ( $F_i$ ) se calcula como la media geométrica de los valores máximo y mínimo:

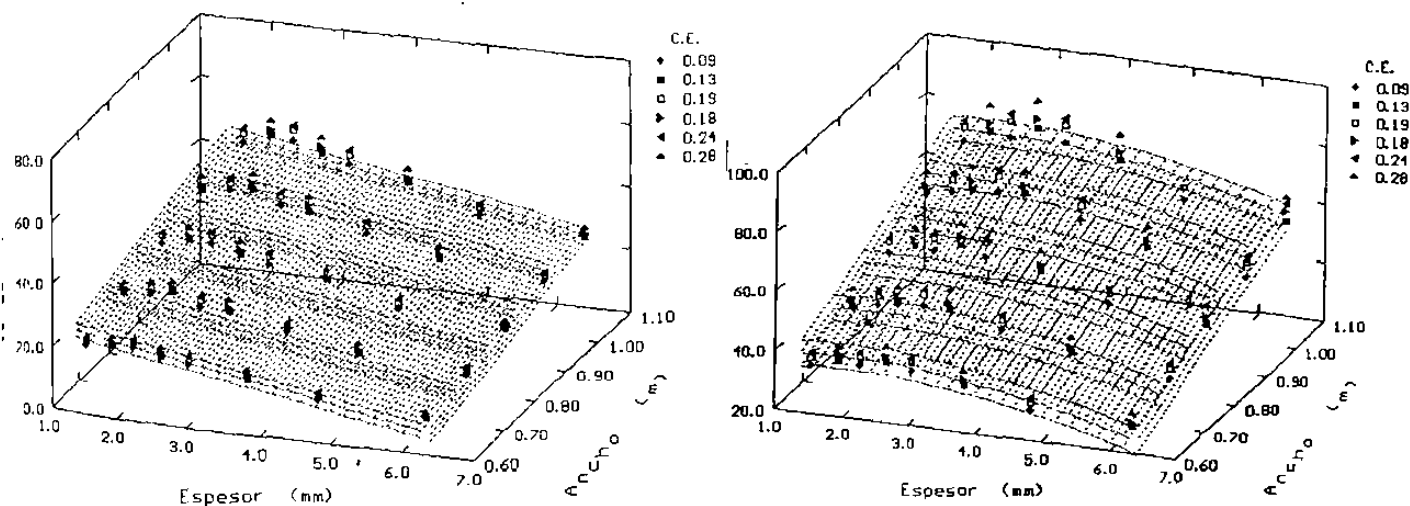
$$F_i = (F_{i,1} \cdot F_{i,2})^{0.5}$$

donde  $F_{i,1}$  y  $F_{i,2}$  son respectivamente las fuerzas mínima y máxima en el castillo *i*.

En la Fig. 5.19 se comparan las predicciones de las fuerzas de separación mínimas (a) y máximas (b) obtenidas por medio del modelo de

simulación de laminación en caliente [24] (puntos) para el sexto castillo, con el ajuste estadístico (líneas) que resulta del empleo de las ecuaciones (1) y (2) y los coeficientes del Anexo IV. Siendo posible observar la buena concordancia del ajuste.

La capacidad de predecir adecuadamente la fuerza de separación es empleada para el control de planeza, dada la necesidad de mantener constante el cociente de dicha fuerza sobre la presión ejercida por el sistema de flexión, con la finalidad de asegurar el perfil de la cinta. De esta forma, la planeza de la lámina se asegura al reducir el coronamiento de la cinta en la misma proporción que su espesor [28].



**Fig. 5.19** Comparación entre las fuerzas de separación mínimas (a) y máximas (b) predichas por el modelo de simulación [1] (puntos) y el estadístico (líneas) para el sexto castillo.

La predicción de la corona de la lámina a la salida de cada uno de los seis castillos se obtuvo al ejecutar repetidamente el programa de perfil y planeza [26], alimentándose en cada corrida diferentes datos de proceso como son la fuerza de separación, la corona maquinada a los rodillos, la presión ejercida por el sistema de flexión de rodillos y el ancho de la lámina. Con estos datos se pretendió elaborar un modelo estadístico que sirviera como base para elaborar las cédulas de planeza. Sin embargo, no fue posible encontrar una sola relación, para todos los anchos, que permitiera predecir la corona resultante en función de las variables de proceso mencionadas.

Se encontró que las predicciones de la corona podían ser ajustadas a ecuaciones del tipo:

$$C_{r,i} = \alpha_i + \beta_i \frac{F_i}{1,000} + \gamma_i \frac{P_i}{1,000} + \delta_i C_{m,i}$$

donde  $C_{r,i}$  y  $C_{m,i}$  son respectivamente la corona resultante y maquinada en el castillo  $i$ ,  $F_i$  y  $P_i$  son las fuerzas de separación y la presión del sistema de flexión en el mismo castillo y  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ,  $\gamma_i$  y  $\delta_i$  son coeficientes que dependen del ancho de la lámina, Figuras 5.20 a 5.23 y Anexo IV.

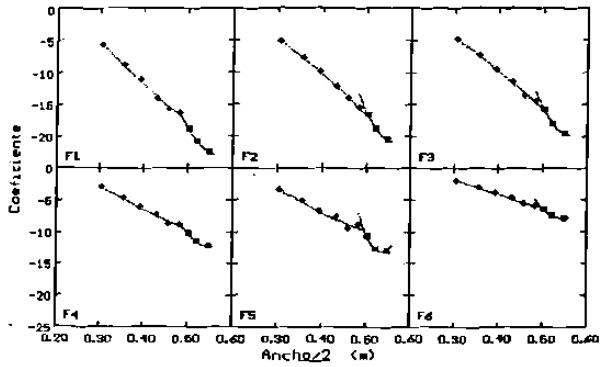


Fig. 5.20 Variación del parámetro  $\alpha$  con el ancho de la lámina.

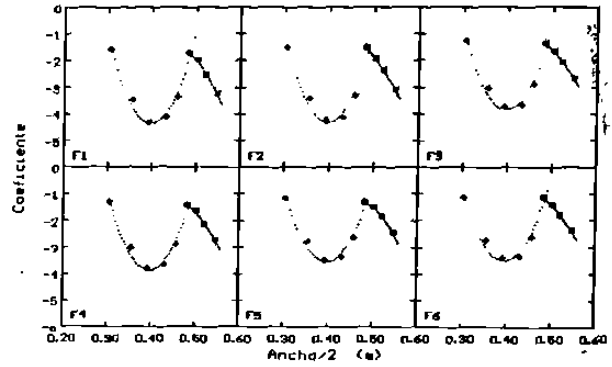


Fig. 5.21 Variación del parámetro  $\beta$  con el ancho de la lámina.

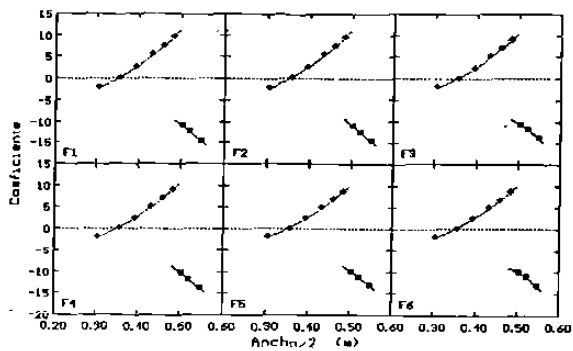


Fig. 5.22 Variación del parámetro  $\gamma$  con ancho de la lámina.

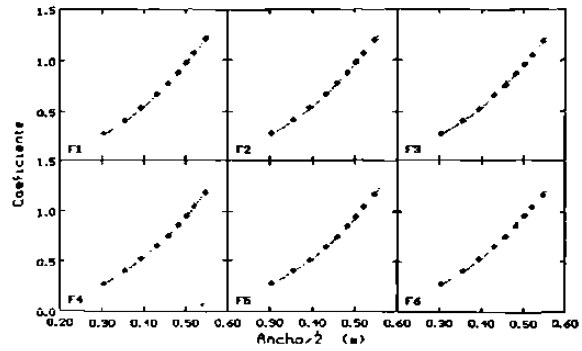
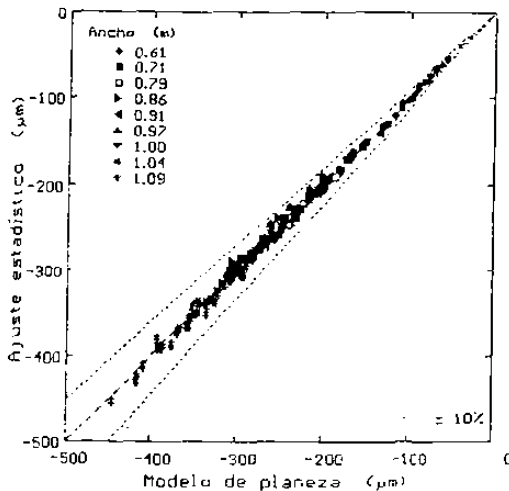


Fig. 5.23 Variación del parámetro  $\delta$  con el ancho de la lámina.

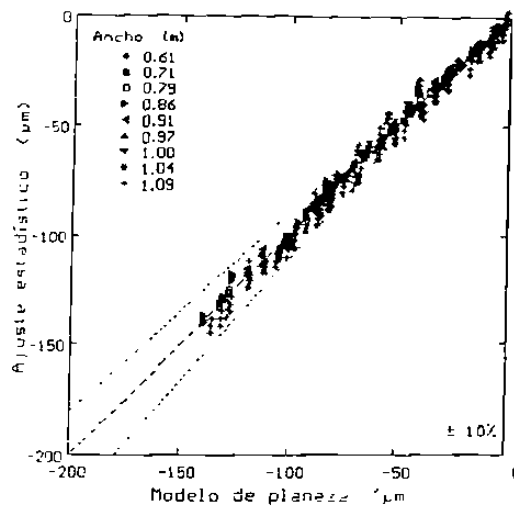


En la Figuras 5.20 a 5.22 se puede observar como los coeficientes  $\alpha$  a  $\gamma$  son representados por dos diferentes curvas, cuyo dominio cambia a un semiancho de 49.53 centímetros (para  $\alpha$  y  $\gamma$ ) y de 48.26 centímetros (para  $\beta$ ), en tanto que el último coeficiente es descrito por una sólo curva de segundo grado. Los coeficientes que se emplean para describir la dependencia con el ancho se presentan en el Anexo IV.

La concordancia entre el modelo de perfil y planeza [26] y el estadístico, descrito por la combinación de relaciones similares a la descrita por la Ec. (4) se muestra en las Figuras 5.24 y 5.25 para los castillos F1 y F6 respectivamente, lo que confirma la validez de las relaciones mostradas gráficamente en las Figuras 5.20 a 5.23.



**Fig. 5.24** Correlación entre las coronas predichas por los modelos de planeza y estadístico para el castillo F1.



**Fig. 5.25** Correlación entre las coronas predichas por los modelos de planeza y estadístico para el castillo F6.

El uso de las relaciones estadísticas permite agilizar la elaboración de las cédulas de presión del sistema de flexión de rodillos mediante su incorporación a un programa dinámico tipo CAD. En este caso, se mantienen constantes a la composición química, el ancho y la banda del producto y se varían los valores de las fuerzas de separación, presiones, coronas maquinadas o espesores esperados en cada uno de los castillos.

El programa calcula la corona resultante de la lámina, de acuerdo a los valores establecidos para un dado pase y grafica el perfil normalizado correspondiente a dicha corona, así como el criterio de planeza, que establece que para que la reducción no cause ondulaciones el cambio de la relación de coronamiento a espesor debe mantenerse dentro de un margen estrecho [28]:

$$-80\left(\frac{h_f}{w}\right)^2 < \frac{c_o}{h_o} - \frac{c_f}{h_f} < 40\left(\frac{h_f}{w}\right)^2$$

donde  $w$  es el ancho de la lámina,  $c_o$ ,  $c_f$ ,  $h_o$  y  $h_f$  son respectivamente los coronamientos y espesores de la lámina a la entrada (subíndice o) y a la salida del pase (subíndice f). En la Figura 5.26 se puede apreciar la combinación de parámetros requeridos por medio del programa tipo CAD para la obtención de lámina plana de acero con 0.13% de Carbono, de 93.98 centímetros de

ancho y 2.159 milímetros de espesor, utilizando como base para el cálculo los valores promedio de fuerza de separación (F).

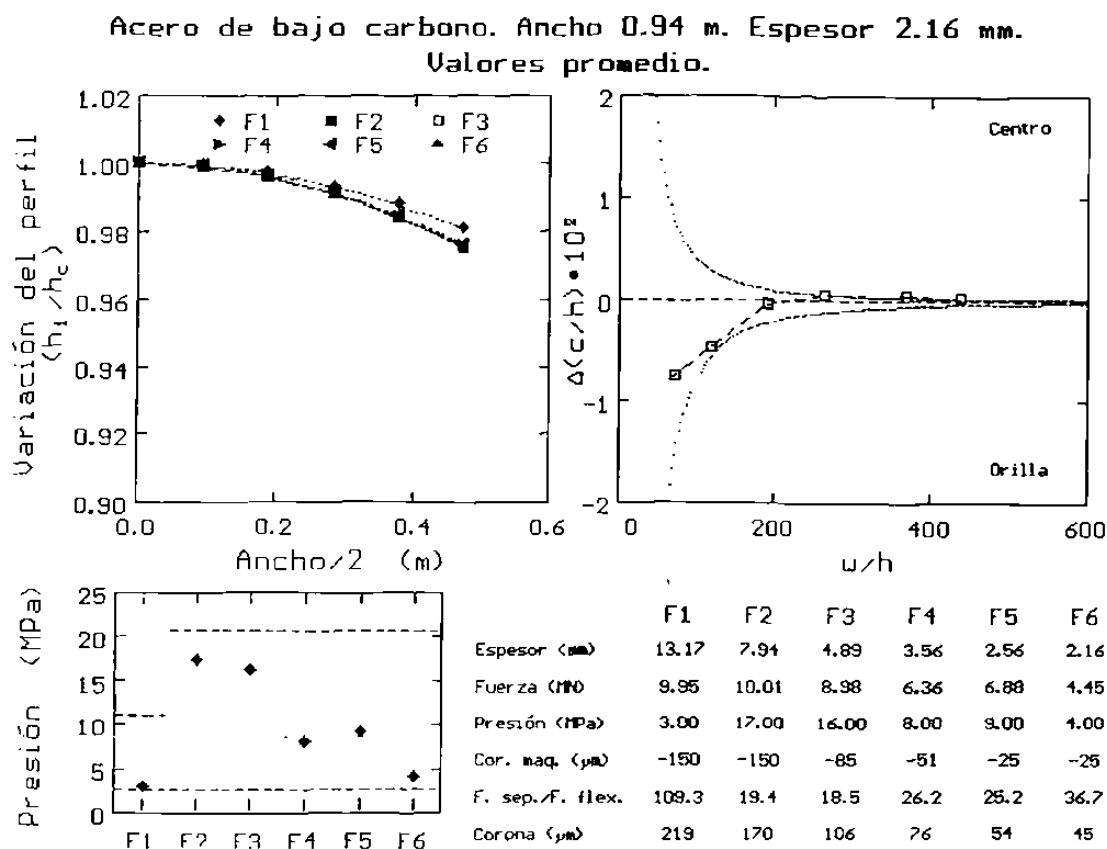
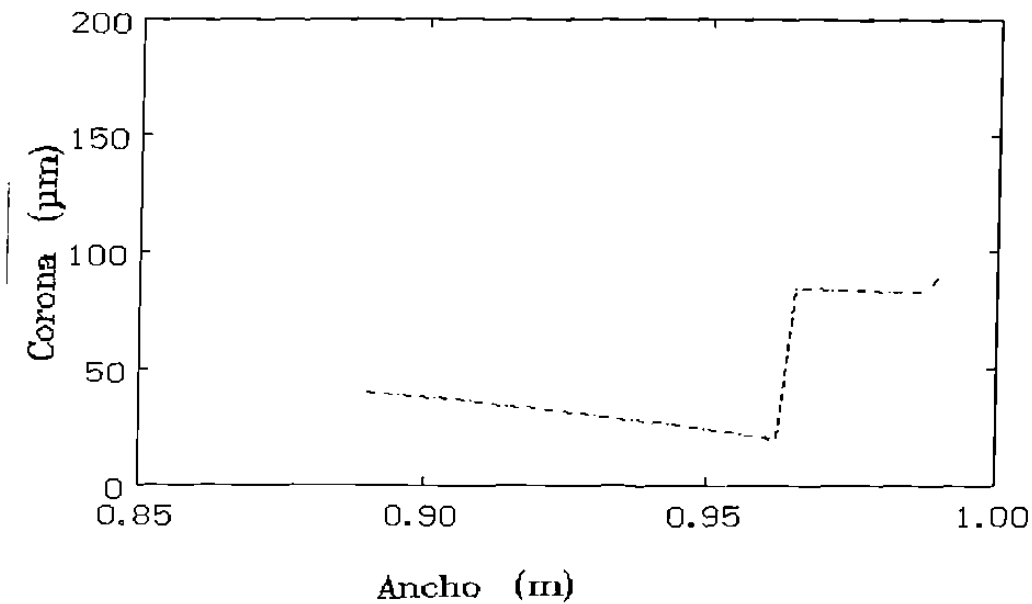


Fig. 5.26 Ejemplo del programa empleado para determinar las cédulas de presión.

El inconveniente de la inestabilidad mostrada por la corona resultante de la lámina con respecto al ancho, ejemplificada por las Figuras 5.20 a 5.23, radica en los cambios abruptos en perfil, que pueden ser producidos por la

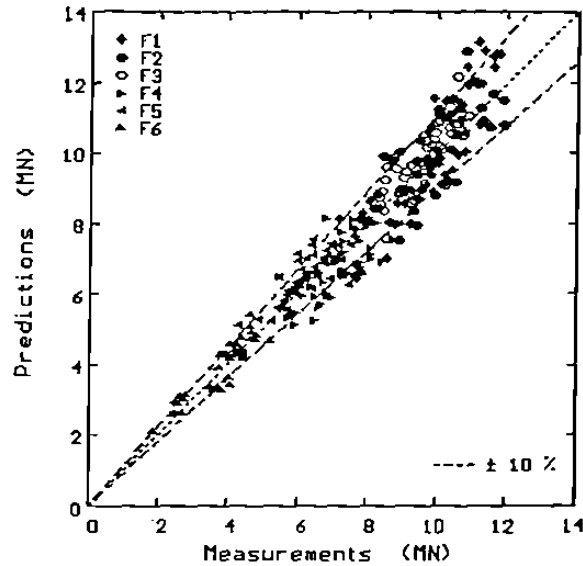
variación normal del ancho o por descentrado de la lámina. En la Figura 5.27 se muestra la variación de dicho coronamiento (entre 40.64 y 63.5  $\mu\text{m}$ ) para una lámina producida según las condiciones mostradas en la Figura 5.26, es conveniente apreciar las discontinuidades que surgen a anchos equivalentes a 96.52 y 99.06 centímetros, como resultado de la inestabilidad en el ancho de los parámetros  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ , Figuras 5.20 a 5.22.



**Fig. 5.27** Variación del coronamiento mecánico en una lámina de 93.98 centímetros según se descentre un máximo de cinco cm. a cada lado.

### 5.3 Discusión

Es posible producir tanto el perfil como la forma de una lámina mediante el esquema mostrado en la Fig. 3.3. Sin embargo, éste procedimiento consume mucho tiempo, puesto que primero se deben obtener las distribuciones de temperatura en rodillo y lámina y los esfuerzos durante la reducción, para posteriormente, determinar la distorsión del entrehierro [24], por lo tanto, este procedimiento es muy difícil aplicarlo en línea. Motivo por el cual se recurrió al empleo de relaciones estadísticas que permiten predecir diversos parámetros como fuerza de separación en las diferentes estaciones en función del espesor de salida, ancho y composición química de la lámina producida, como ya se explicó con anterioridad en éste capítulo. El uso de éstas relaciones estadísticas como las mostradas en la Fig. 5.19, se justifica después de comprobar la precisión de la predicción del modelo de laminación tal y como se muestra en la Fig. 5.28, en la que se comparan las predicciones de fuerza de separación con mediciones realizadas durante la producción de cintas de diferente ancho, espesor y acero.



**Fig. 5.28** Correlación entre las fuerzas de separación predichas por el modelo y las mediciones en línea.

De igual manera, los límites de la variación del coronamiento se pueden encontrar por medio de la ejecución del programa que predice la evolución del perfil y planeza [26] repetidas veces, pero dado el tiempo que involucra el cálculo de los diferentes parámetros, esto se vuelve impráctico. Tomando nuevamente como solución alternativa el ajuste estadístico de la variación del coronamiento en función de las principales condiciones de proceso como son el ancho, espesor final, fuerzas de separación y de flexión, como se puede observar en las Figs. 5.24 y 5.25, la concordancia entre el coronamiento predicho por el modelo y su ajuste estadístico para el primer y sexto castillos mostrados se encuentra dentro de un intervalo de  $\pm 10\%$ .

Existía la problemática de fijar un sólo juego de coronas para los rodillos de trabajo, ya que las condiciones operativas indican que la corona

de la cinta debe disminuir en la misma proporción que el espesor de la cinta, lo que implica que las coronas a maquinar a los rodillos de trabajo cambien de castillo a castillo, lo que a su vez implica que el inventario de los rodillos se incremente. Sin embargo se puede reducir dicho inventario, puesto que al finalizar el estudio se recomendó que sólo se maquinaran cuatro diferentes tipos de coronas (-150, -85, -51 y -25), empleando la primera en los dos primeros castillos y la última en las estaciones cinco y seis.

Este modelo a diferencia de otros resulta de gran utilidad en la capacitación de los operadores de la línea, puesto que es posible fijar una serie de condiciones de trabajo para que el operador las modifique y evalúe su actuación, siempre dentro de los límites establecidos en el modelo. De esta forma, se puede lograr una mejor capacitación en menor tiempo, puesto que las condiciones más críticas y difíciles pueden ser programadas a voluntad.

## 6. Conclusiones

Después de realizar los estudios pertinentes para la validación del modelo de simulación de perfil y planeza, se concluye lo siguiente:

1. La primera parte del modelo de laminación en caliente está enfocada a la temperatura y a otros efectos térmicos, debido al fuerte efecto que la temperatura tiene en otros parámetros o variables.
2. Una vez validada esta primera parte, fué posible contabilizar fenómenos metalúrgicos, recristalización y crecimiento de grano, en orden para incrementar la precisión en la predicción de fuerzas y cargas.
3. Se establece la estabilidad del molino continuo para entregar una dada planeza una vez que se establecen sus condiciones operativas.
4. Los resultados permiten concluir sobre la necesidad de mantener el cociente de la fuerza de separación sobre la de flexión dentro de un intervalo restringido, explicado esto en función de la distribución de fuerzas que se



encuentran en la sección de la lámina en el entrehierro al ser procesada.

5. Es conveniente realizar un estudio más a fondo sobre la distribución de esfuerzos en y alrededor del punto de contacto entre los rodillos de apoyo y de trabajo.

6. La respuesta del rodillo de trabajo es insensible a la presión ejercida por el sistema de flexión cuando la lámina que se está deformando tiene un ancho de alrededor de 0.711 metros, situación que se puede explicar en función de la distribución de fuerzas de flexión entre el centro y la orilla de la lámina y entre ésta y la distancia entre centro y torniquetes, que se anulan a las 0.711 metros, por lo que el control de perfil y planeza a este ancho puede ser realizado mediante la variación en la reducción o la fuerza de separación.

7. Los valores recomendados para las presiones a ejercer por el sistema de flexión están limitadas al intervalo operativo (11 MPa máximo para el F1 y 20.7 MPa para los otros castillos; 2.8 MPa mínimo del F1 al F6), por lo que en algunos casos no es posible obtener una lámina del todo plana.

8. La modelación realizada sirve de punto de partida para la automatización del sistema de control en línea de perfil y planeza en cinta laminada en caliente, lo que incidirá directamente en la productividad de las líneas que posteriormente procesen al material.

9. Los resultados del presente trabajo indican la necesidad de evaluar el cambio en la longitud de los rodillos de apoyo, esto se podría realizar por medio de técnicas matemáticas más complejas como es el caso del método del elemento finito.

## **Anexo I. Datos de proceso capturados.**

A continuación se presentan los datos de proceso capturados durante la fabricación de las diferentes secuencias analizadas en este estudio.

El número de castillo de que se trata se identifica con la letra F antecediendo a su número, la fuerza es la de separación, la presión es la de flexión en los rodillos de trabajo, la velocidad es la de la lámina, el radio es el de los rodillos de trabajo,  $T_e$  es la temperatura de entrada de la lámina al primer castillo y  $T_s$  es la temperatura de salida de la lámina del molino continuo.

Se tomaron mediciones tanto en la punta, en el centro y en la cola de la lámina al pasar por cada uno de los castillos, sólo en las secuencias que pertenecen a la Tabla I.IV, la cual es de atorones, se encontrarán mediciones solamente en la cola. En la porción superior de cada una de las tablas encontramos el tipo de acero, el ancho y la banda (espesor) de salida, así como la secuencia de la cual se está hablando.

**Tabla I.I ACERO 0.08%C ANCHO 0.94 m. BANDA 2.54 mm.**

		SECUENCIA 77728			
Te	1000 C	FUERZA NEWTON (x10e6)	PRESION PASCAL (x10e7)	VELOCIDAD RAD/SEG	RADIO MTS.
Ts	845 C				
F1	Punta	7.4	1.04	20.23	0.449
	Centro	9.3	1.09	21.43	0.449
	Cola	10.4	1.04	22.11	0.449
F2	Punta	7.5	1.07	19.98	0.445
	Centro	8.8	1.08	21	0.445
	Cola	9.4	1.08	21.76	0.445
F3	Punta	7.5	1.06	21.51	0.474
	Centro	8.2	1.05	22.87	0.474
	Cola	8.7	1.06	23.55	0.474
F4	Punta	5.6	0.75	25.08	0.448
	Centro	6.7	0.76	27.11	0.448
	Cola	7.4	0.75	27.88	0.448
F5	Punta	5.7	0.95	29.41	0.461
	Centro	7.2	0.96	29.83	0.461
	Cola	7.4	0.95	31.1	0.461
F6	Punta	2.5	0.9	27.79	0.474
	Centro	2.6	0.91	28.39	0.474
	Cola	2.7	0.9	30.25	0.474
		SECUENCIA 77732			
Te	987 C	FUERZA NEWTON (x10e6)	PRESION PASCAL (x10e7)	VELOCIDAD RAD/SEG	RADIO MTS.
Ts	839 C				
F1	Punta	7.7	1.04	20.15	0.449
	Centro	9.7	1.09	21.34	0.449
	Cola	10.4	1.02	22.02	0.449
F2	Punta	7.9	1.08	19.9	0.445
	Centro	9.1	1.07	21	0.445
	Cola	9.5	1.08	21.76	0.445
F3	Punta	8	1.07	21.51	0.474
	Centro	8.7	1.06	22.44	0.474
	Cola	9	1.06	22.95	0.474
F4	Punta	6.2	0.75	24.99	0.448
	Centro	7	0.75	27.37	0.448
	Cola	7.5	0.75	27.88	0.448
F5	Punta	5.7	0.96	29.32	0.461
	Centro	6.6	0.96	30	0.461
	Cola	7	0.95	31.1	0.461
F6	Punta	2.4	0.91	27.71	0.474
	Centro	2.5	0.9	28.81	0.474
	Cola	2.6	0.9	29.41	0.474

		SECUENCIA 77734			
Te	973 C	FUERZA NEWTON (x10e6)	PRESION PASCAL (x10e7)	VELOCIDAD RAD/SEG	RADIO MTS.
Ts	835 C				
F1	Punta	7.8	1.03	20.15	0.449
	Centro	9.8	1.09	20.74	0.449
	Cola	10.2	1.04	22.19	0.449
F2	Punta	8	1.08	19.98	0.445
	Centro	9	1.07	20.83	0.445
	Cola	9.6	1.08	21.84	0.445
F3	Punta	8	1.06	21.51	0.474
	Centro	8.5	1.06	22.53	0.474
	Cola	8.9	1.06	22.95	0.474
F4	Punta	6.3	0.75	25.33	0.448
	Centro	6.8	0.75	27.96	0.448
	Cola	7.8	0.75	27.88	0.448
F5	Punta	5.8	0.96	28.22	0.461
	Centro	7.2	0.96	30.68	0.461
	Cola	6.2	0.95	30.93	0.461
F6	Punta	2.4	0.91	26.94	0.474
	Centro	2.5	0.91	29.75	0.474
	Cola	2.7	0.9	29.66	0.474

		SECUENCIA 77800			
Te	1024 C	FUERZA NEWTON (x10e6)	PRESION PASCAL (x10e7)	VELOCIDAD RAD/SEG	RADIO MTS.
Ts	851 C				
F1	Punta	7.4	1.03	19.3	0.449
	Centro	8.9	1.09	19.81	0.449
	Cola	10	1.05	20.91	0.449
F2	Punta	8.6	1.08	18.88	0.445
	Centro	9.1	1.08	19.13	0.445
	Cola	9.7	1.08	20.23	0.445
F3	Punta	8.2	1.06	20.15	0.474
	Centro	8.7	1.07	21.26	0.474
	Cola	9.2	1.06	21.84	0.474
F4	Punta	5.4	0.75	24.05	0.45
	Centro	6.1	0.75	25.5	0.45
	Cola	7.1	0.75	26.35	0.45
F5	Punta	5	0.96	26.43	0.458
	Centro	5.2	0.95	28.81	0.458
	Cola	6.1	0.96	28.99	0.458
F6	Punta	4.1	0.94	25.84	0.468
	Centro	4.2	0.94	28.39	0.468
	Cola	4.3	0.95	28.56	0.468

		SECUENCIA 77803			
Te	1002 C	FUERZA NEWTON (x10e6)	PRESION PASCAL (x10e7)	VELOCIDAD RAD/SEG	RADIO MTS.
Ts	848 C				
F1	Punta	7.5	1.04	18.45	0.449
	Centro	8.7	1.09	20.83	0.449
	Cola	9.9	1.03	21.09	0.449
F2	Punta	8.3	1.08	18.12	0.445
	Centro	9.1	1.08	20.23	0.445
	Cola	9.8	1.05	20.49	0.445
F3	Punta	8.1	1.06	19.81	0.474
	Centro	8.9	1.06	22.53	0.474
	Cola	9.3	1.06	22.61	0.474
F4	Punta	5.2	0.75	24.9	0.45
	Centro	6.1	0.74	27.2	0.45
	Cola	6.3	0.74	27.46	0.45
F5	Punta	4.7	0.95	27.03	0.458
	Centro	5.7	0.96	29.83	0.458
	Cola	5.7	0.96	30	0.458
F6	Punta	3.5	0.93	26.43	0.47
	Centro	3.4	0.95	29.41	0.47
	Cola	3.7	0.94	29.41	0.47

		SECUENCIA 77807			
Te	1002 C	FUERZA NEWTON (x10e6)	PRESION PASCAL (x10e7)	VELOCIDAD RAD/SEG	RADIO MTS.
Ts	849 C				
F1	Punta	8.2	1.03	19.13	0.449
	Centro	9.5	1.09	20.83	0.449
	Cola	10.2	1.04	21.09	0.449
F2	Punta	9	1.05	18.7	0.445
	Centro	9.5	1.08	20.06	0.445
	Cola	10.1	1.07	20.06	0.445
F3	Punta	8.9	1.06	20.66	0.474
	Centro	9.2	1.06	22.27	0.474
	Cola	9.5	1.06	22.53	0.474
F4	Punta	5.9	0.75	25.16	0.45
	Centro	6.1	0.75	27.03	0.45
	Cola	6.8	0.75	27.37	0.45
F5	Punta	5.4	0.95	27.46	0.458
	Centro	5.5	0.95	29.83	0.458
	Cola	5.8	0.96	30.09	0.458
F6	Punta	3.9	0.94	27.03	0.47
	Centro	3.9	0.95	29.75	0.47
	Cola	4.2	0.94	29.49	0.47

**Tabla I.II ACERO 0.13%C ANCHO 0.914 m. BANDA 1.96 mm.**

		<b>SECUENCIA 80932</b>			
Te	996 C	<b>FUERZA NEWTON (x10e6)</b>	<b>PRESION PASCAL (x10e7)</b>	<b>VELOCIDAD RAD/SEG</b>	<b>RADIO MTS.</b>
Ts	822 C				
F1	Punta	8	1.14	17.85	0.459
	Centro	9.6	1.17	20.06	0.459
	Cola	10.9	1.35	20.49	0.459
F2	Punta	8.1	1.5	18.7	0.472
	Centro	9.9	1.51	20.58	0.472
	Cola	11.1	1.51	20.83	0.472
F3	Punta	8.7	1.69	22.19	0.474
	Centro	9.5	1.7	24.32	0.474
	Cola	10.1	1.7	24.65	0.474
F4	Punta	5.8	0.76	27.37	0.446
	Centro	7.5	0.76	30.09	0.446
	Cola	7.8	0.77	30.17	0.446
F5	Punta	5.5	0.71	29.49	0.461
	Centro	6.3	0.71	32.89	0.461
	Cola	6.5	0.72	32.89	0.461
F6	Punta	3.7	0.41	29.92	0.476
	Centro	3.9	0.42	33.4	0.476
	Cola	3.9	0.41	33.23	0.476
<b>SECUENCIA 80936</b>					
Te	1005 C	<b>FUERZA NEWTON (x10e6)</b>	<b>PRESION PASCAL (x10e7)</b>	<b>VELOCIDAD RAD/SEG</b>	<b>RADIO MTS.</b>
Ts	825 C				
F1	Punta	7.6	1.1	17.77	0.459
	Centro	9.5	1.17	20.33	0.459
	Cola	10.7	1.13	20.33	0.459
F2	Punta	8.4	1.5	18.7	0.472
	Centro	9.7	1.51	20.83	0.472
	Cola	10.6	1.5	20.83	0.472
F3	Punta	8.9	1.7	22.11	0.474
	Centro	9.3	1.7	24.65	0.474
	Cola	9.6	1.7	24.57	0.474
F4	Punta	6.2	0.77	27.11	0.446
	Centro	7.1	0.76	30	0.446
	Cola	7.8	0.77	30.17	0.446
F5	Punta	5.2	0.71	29.41	0.461
	Centro	5.7	0.72	23.46	0.461
	Cola	6.5	0.72	33.14	0.461
F6	Punta	4.1	0.41	29.92	0.476
	Centro	4.2	0.41	32.98	0.476
	Cola	4.3	0.42	33.56	0.476

Te 883 C		SECUENCIA 80940			
		FUERZA NEWTON (x10e6)	PRESION PASCAL (x10e7)	VELOCIDAD RAD/SEG	RADIO MTS.
Ts 753 C					
F1	Punta	10.4	1.13	18.03	0.459
	Centro	11	1.17	21	0.459
	Cola	11.3	1.12	20.33	0.459
F2	Punta	10.4	1.51	18.7	0.472
	Centro	10.9	1.51	21.34	0.472
	Cola	11.4	1.51	21.34	0.472
F3	Punta	9.9	1.7	21.94	0.474
	Centro	10.1	1.69	24.82	0.474
	Cola	10	1.7	24.9	0.474
F4	Punta	7	0.76	26.78	0.446
	Centro	7.3	0.76	30	0.446
	Cola	7.3	0.77	30.17	0.446
F5	Punta	6	0.72	28.99	0.461
	Centro	6.1	0.7	32.3	0.461
	Cola	6.2	0.72	32.55	0.461
F6	Punta	4.5	0.4	29.57	0.476
	Centro	4.5	0.26	32.89	0.476
	Cola	4.5	0.41	32.8	0.476

Te 997 C		SECUENCIA 80942			
		FUERZA NEWTON (x10e6)	PRESION PASCAL (x10e7)	VELOCIDAD RAD/SEG	RADIO MTS.
Ts 828 C					
F1	Punta	7.6	1.17	17.69	0.459
	Centro	9.4	1.16	19.81	0.459
	Cola	10.7	1.11	20.41	0.459
F2	Punta	8.6	1.51	18.7	0.472
	Centro	9.6	1.51	20.91	0.472
	Cola	10.8	1.5	20.83	0.472
F3	Punta	8.6	1.7	22.11	0.474
	Centro	9	1.69	24.65	0.474
	Cola	9.3	1.7	24.65	0.474
F4	Punta	6.5	0.76	27.11	0.446
	Centro	7	0.77	30	0.446
	Cola	7.4	0.76	30.09	0.446
F5	Punta	5.3	0.72	29.41	0.461
	Centro	5.6	0.72	32.46	0.461
	Cola	5.9	0.71	32.98	0.461
F6	Punta	4.1	0.41	30.25	0.476
	Centro	4.2	0.41	33.14	0.476
	Cola	4.2	0.41	33.48	0.476



		SECUENCIA 80946			
Te	1009 C	FUERZA NEWTON (x10e6)	PRESION PASCAL (x10e7)	VELOCIDAD RAD/SEG	RADIO MTS.
Ts	825 C				
F1	Punta	7.4	1.12	17.69	0.459
	Centro	9.4	1.17	19.9	0.459
	Cola	10.8	1.36	20.33	0.459
F2	Punta	8.4	1.51	18.8	0.472
	Centro	9.7	1.51	20.83	0.472
	Cola	10.9	1.51	20.83	0.472
F3	Punta	8.6	1.7	22.36	0.474
	Centro	9.3	1.71	24.57	0.474
	Cola	9.7	1.71	24.74	0.474
F4	Punta	6.4	0.76	27.11	0.446
	Centro	7.2	0.77	30	0.446
	Cola	7.5	0.76	30.09	0.446
F5	Punta	5.3	0.72	29.49	0.461
	Centro	5.7	0.71	32.55	0.461
	Cola	5.9	0.72	32.89	0.461
F6	Punta	4	0.41	30.25	0.476
	Centro	4.2	0.41	33.4	0.476
	Cola	4.3	0.41	33.56	0.476

		SECUENCIA 80949			
Te	987 C	FUERZA NEWTON (x10e6)	PRESION PASCAL (x10e7)	VELOCIDAD RAD/SEG	RADIO MTS.
Ts	822 C				
F1	Punta	8.5	1.1	17.6	0.459
	Centro	9.8	1.17	20.06	0.459
	Cola	10.4	1.15	20.41	0.459
F2	Punta	9.1	1.5	18.7	0.472
	Centro	10.2	1.51	20.66	0.472
	Cola	11.4	1.51	20.83	0.472
F3	Punta	9.3	1.7	22.27	0.474
	Centro	9.7	1.71	24.4	0.474
	Cola	10	1.7	24.65	0.474
F4	Punta	6.6	0.77	26.94	0.446
	Centro	7.4	0.76	29.92	0.446
	Cola	8.1	0.76	30	0.446
F5	Punta	5.5	0.72	29.49	0.461
	Centro	6	0.71	32.71	0.461
	Cola	6.6	0.72	33.4	0.461
F6	Punta	4.1	0.41	30.17	0.476
	Centro	4.2	0.41	33.48	0.476
	Cola	4.3	0.41	33.82	0.476

Tabla I.III ACERO 0.08%C ANCHO 1.08 m. BANDA 2.64 mm

Te 1028 C Ts 868 C		SECUENCIA 78565			
		FUERZA NEWTON (x10e6)	PRESION PASCAL (x10e7)	VELOCIDAD RAD/SEG	RADIO MTS.
F1	Punta	8.7	1.12	21	0.449
	Centro	10.1	1.16	22.95	0.449
	Cola	11.2	1.12	23.12	0.449
F2	Punta	8.8	0.93	20.33	0.449
	Centro	10	0.92	22.11	0.449
	Cola	11	0.93	22.36	0.449
F3	Punta	8.1	1.1	22.27	0.468
	Centro	9.4	1.1	24.32	0.468
	Cola	9.9	1.1	24.48	0.468
F4	Punta	6.8	0.53	27.03	0.45
	Centro	7.4	0.53	29.15	0.45
	Cola	7.9	0.53	29.49	0.45
F5	Punta	6.2	0.55	29.92	0.452
	Centro	6.5	0.55	32.38	0.452
	Cola	6.7	0.55	32.89	0.452
F6	Punta	3.6	0.34	29.32	0.476
	Centro	3.9	0.34	32.03	0.476
	Cola	4.6	0.34	32.46	0.476
Te 998 C Ts 863 C		SECUENCIA 78568			
		FUERZA NEWTON (x10e6)	PRESION PASCAL (x10e7)	VELOCIDAD RAD/SEG	RADIO MTS.
F1	Punta	9.3	1.12	20.74	0.449
	Centro	10.5	1.15	22.79	0.449
	Cola	11.2	1.12	23.37	0.449
F2	Punta	9.5	0.94	20.15	0.449
	Centro	10.3	0.93	21.94	0.449
	Cola	11.1	0.93	22.44	0.449
F3	Punta	8.4	1.09	22.44	0.468
	Centro	9.5	1.1	24.05	0.468
	Cola	10.1	1.1	24.65	0.468
F4	Punta	7	0.53	26.94	0.45
	Centro	7.6	0.52	28.99	0.45
	Cola	8.5	0.54	29.57	0.45
F5	Punta	6.3	0.55	29.75	0.452
	Centro	6.7	0.55	32.63	0.452
	Cola	7.2	0.55	33.06	0.452
F6	Punta	3.9	0.34	29.32	0.476
	Centro	4.1	0.33	32.13	0.476
	Cola	4.7	0.34	32.71	0.476

Te 998 C		SECUENCIA 78571			
Ts 854 C		FUERZA NEWTON (x10e6)	PRESION PASCAL (x10e7)	VELOCIDAD RAD/SEG	RADIO MTS.
F1	Punta	9.4	1.13	20.83	0.449
	Centro	10.4	1.15	22.53	0.449
	Cola	11.3	1.12	23.29	0.449
F2	Punta	9.7	0.93	20.49	0.449
	Centro	10.1	0.92	21.51	0.449
	Cola	11.5	0.93	22.36	0.449
F3	Punta	8.2	1.1	22.44	0.468
	Centro	9.7	1.09	23.89	0.468
	Cola	10.5	1.1	24.65	0.468
F4	Punta	7	0.53	26.86	0.45
	Centro	7.7	0.52	28.81	0.45
	Cola	8.6	0.53	29.57	0.45
F5	Punta	6.1	0.55	29.83	0.452
	Centro	6.5	0.55	32.03	0.452
	Cola	6.9	0.55	32.98	0.452
F6	Punta	3.9	0.34	29.32	0.476
	Centro	4.2	0.34	31.7	0.476
	Cola	4.5	0.34	32.46	0.476

## ATORONES

Tabla I.IV ACERO 0.10%C ANCHO 0.927 m. BANDA 2.03 mm

Te 955 C		SECUENCIA 75188			
Ts 845 C		FUERZA NEWTON (x10e6)	PRESION PASCAL (x10e7)	VELOCIDAD RAD/SEG	RADIO MTS.
F1	Cola	10.3	1.09	20.58	0.466
F2	Cola	10.3	1.09	23.37	0.448
F3	Cola	8.1	1.68	26.61	0.469
F4	Cola	6.4	0.96	31.02	0.454
F5	Cola	5.4	0.8	33.74	0.459
F6	Cola	3.6	0.88	33.23	0.472

ACERO 0.13%C ANCHO 0.813 m. BANDA 1.57 mm.

Te 907 C		SECUENCIA 82384			
Ts 785 C		FUERZA NEWTON (x10e6)	PRESION PASCAL (x10e7)	VELOCIDAD RAD/SEG	RADIO MTS.
F1	Cola	9.6	0.96	16.33	0.476
F2	Cola	10	0.65	18.88	0.45
F3	Cola	10.3	0.89	22.36	0.474
F4	Cola	7	0.66	29.07	0.445
F5	Cola	4.9	0.61	32.71	0.468
F6	Cola	3.7	0.52	35.52	0.469

**ACERO 0.12%C ANCHO 0.927 m. BANDA 3.02 mm.**

		<b>SECUENCIA 83127</b>			
Te	907 C	<b>FUERZA NEWTON (x10e6)</b>	<b>PRESION PASCAL (x10e7)</b>	<b>VELOCIDAD RAD/SEG</b>	<b>RADIO MTS.</b>
Ts	785 C				
F1	Cola	10.4	0.95	19.98	0.458
F2	Cola	9.6	1.17	18.62	0.476
F3	Cola	9.9	1.62	21.17	0.47
F4	Cola	6.5	0.7	24.48	0.448
F5	Cola	5.5	0.75	25.75	0.467
F6	Cola	4.3	0.58	25.25	0.468

**ACERO 0.15%C ANCHO 0.965 m. BANDA 2.03 mm.**

		<b>SECUENCIA 93556</b>			
Te	963 C	<b>FUERZA NEWTON (x10e6)</b>	<b>PRESION PASCAL (x10e7)</b>	<b>VELOCIDAD RAD/SEG</b>	<b>RADIO MTS.</b>
Ts	840 C				
F1	Cola	10.8	1.18	17.6	0.469
F2	Cola	10.8	1.1	19.47	0.455
F3	Cola	10.2	1.92	21.84	0.475
F4	Cola	8.4	0.63	27.2	0.446
F5	Cola	6.2	0.48	30.25	0.456
F6	Cola	5	0.3	30.77	0.472

**ACERO 0.10%C ANCHO 1.08 m. BANDA 6.1 mm**

		<b>SECUENCIA 103823</b>			
Te	946 C	<b>FUERZA NEWTON (x10e6)</b>	<b>PRESION PASCAL (x10e7)</b>	<b>VELOCIDAD RAD/SEG</b>	<b>RADIO MTS.</b>
Ts	846 C				
F1	Cola	9.1	1.06	22.27	0.464
F2	Cola	8.6	1.33	18.8	0.445
F3	Cola	6.6	1.23	18.54	0.459
F4	Cola	4.4	0.91	18.7	0.456
F5	Cola	3.8	0.83	17.95	0.464
F6	Cola	1.8	0.61	16.16	0.473

**ACERO 0.13%C ANCHO 0.635 m. BANDA 2.16 mm.**

		<b>SECUENCIA 107862</b>			
Te	953 C	<b>FUERZA NEWTON (x10e6)</b>	<b>PRESION PASCAL (x10e7)</b>	<b>VELOCIDAD RAD/SEG</b>	<b>RADIO MTS.</b>
Ts	833 C				
F1	Cola	6.9	1.09	21.84	0.456
F2	Cola	8.9	1.1	22.53	0.47
F3	Cola	7.4	1.1	24.82	0.457
F4	Cola	5.7	1.01	30.25	0.451
F5	Cola	4.1	1.03	33.91	0.468
F6	Cola	2.9	1	32.98	0.467

## **Anexo II. Datos de planeza.**

A continuación se presentan los datos de planeza medidos durante el muestreo de las diferentes secuencias analizadas. Cada rollo muestreado fue cortado en hojas; una en la punta, tres más a 29 metros de la misma, una en la cola y tres más 30 metros antes de la misma; los cortes se hicieron en intervalos de 0.5 metros. Una vez cortadas éstas, se procedió a medir las unidades I a todo lo ancho de la hoja, con intervalos entre cada medición de 5.1 cm.

En la porción superior de cada tabla se encontrará el tipo de acero, el ancho y la banda (espesor) de salida, así como la secuencia de la cual se está hablando.

En algunas secuencias se encontrarán menos hojas que en otras, debido esto a que tuvieron que ser desechadas, ya sea por el mal manejo de las mismas, lo que provocó su deterioro, o por que en el traslado dentro de planta fueron extraviadas.

**Secuencia 77728 Acero 0.08% C Ancho 0.94 m. Banda 2.54 mm.**

L (m)	A (cm)																	
	0	6.1	10.2	16.2	20.3	25.4	30.5	35.6	40.6	45.7	50.8	55.9	61	66.1	71.1	76.2	81.3	86.4
0	42.9	24.5	14.2	7.3	3.2	1.7	0.8	0.3	0.2	0	0.4	0.6	1.1	1.9	2.8	5.4	10.2	20.7
29.5	42.9	26.9	16.1	8.9	4.8	2.4	1.2	0.6	0.2	0.2	0	0.3	0.4	0.8	1.6	3.3	8.1	19.5
30	44.8	26.7	15.9	8.2	4.2	1.9	0.8	0.2	0	0	0.1	0.4	0.7	1	1.5	2.7	6.2	14.5
30.5	27.8	17.6	9.1	6.3	2.6	1.4	0.6	0.3	0	0.2	0.3	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	1.3	5.7
124.5	8.7	5.9	2.8	2.1	1.4	0.8	0.1	0	0	0.1	0.2	0.6	0.8	0.9	1.1	1.9	3.8	8.8
125	5.5	3.2	2.4	1.9	1.1	1.1	0.9	0.9	0.5	0.6	0.4	0.6	0.2	0.2	0	0.3	1.9	6.4
125.5	3.2	2.1	2.5	1.6	1	1.1	0.9	1.1	0.9	1.2	1	1.1	0.9	0.8	0.4	0	0.6	1.4
219.5	2.9	2	0.9	0.5	0.4	0.3	0	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1
220	1.7	1.7	1.1	1.2	0.6	0.7	0.3	0.5	0.5	0.5	0.6	0.8	0.7	0.7	0.6	0.4	0.2	0
250	2.1	1.6	1	0.9	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.5	0.5	0.1	0

**Secuencia 77732 Acero 0.08% C Ancho 0.94 m. Banda 2.54 mm.**

L (m)	A (cm)																	
	0	6.1	10.2	16.2	20.3	25.4	30.5	35.6	40.6	45.7	50.8	55.9	61	66.1	71.1	76.2	81.3	86.4
0	1.3	0	0.5	0.9	1.2	1.8	2.1	2.6	2.9	3.4	3.4	3.3	3	2.5	1.8	1.5	0.8	0.5
29.5	0	0.7	1.5	2	2.6	3.8	4.2	5.3	5.5	6.1	6	6.1	5.1	4.3	3	2.1	1.2	1.4
30	2.7	1.2	1.1	0.7	1	1.5	1.8	2.2	2.6	3	3	3.2	2.7	2.3	1.6	1.1	0.4	0.8
30.5	0	0.1	1	1.9	1.6	2.2	2.6	3.4	3.7	4.1	4	4.2	3.6	2.8	2.2	1.9	1.3	0.7
124.5	40.5	24.1	13.4	6.7	4.8	3.2	1.5	1.4	1.6	1.5	1.7	1.7	1.6	1.6	1.2	0.6	0.7	0
125	49.6	28.8	17	8.7	4.4	3.3	1.2	1.1	0.8	1.4	1.3	1.6	1	1	0.1	0	1.5	2.5
125.5	0	0.2	0.7	2	2.3	3.2	3.6	4.4	4.7	5.4	5.2	5.2	4.7	3.8	2.5	1.6	2.1	2.6
219.5	0.1	0	1	1.6	2.4	2.8	3.4	4.3	4.5	5.3	5	5.2	4.5	4	2.9	2	1.1	0.5
220	2.9	3.5	4	5.7	6.1	7.9	8.3	9.6	10.1	10.9	10.1	9.9	8.1	6.6	4.3	2.9	1.4	0.4
250	0.7	0.6	1.6	3	4.1	5.9	7.2	9.1	10.2	11.9	12.4	12.6	10.8	8.9	6.3	4.3	1.9	0.9

**Secuencia 77737 Acero 0.08% C Ancho 0.94 m. Banda 2.54 mm.**

L (m)	A (cm)																	
	0	6.1	10.2	16.2	20.3	25.4	30.5	35.6	40.6	45.7	50.8	55.9	61	66.1	71.1	76.2	81.3	86.4
0	23.8	15.3	7.7	4	1.9	0.9	0.3	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0.3	0.9	2.7	6.7
29.5	17.9	11.4	6.1	4.5	2.3	1.4	0.8	0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.2	0.2	0	0.8	1.6	3.7
30	30.8	18.8	11.2	6.2	3	1.6	0.7	0.6	0.3	0.5	0.3	0.5	0.3	0.2	0	0.4	2.3	3.4
30.6	13	7.1	3.3	1.8	0.6	0.5	0	0.4	0	0.4	0.1	0.1	0	0.1	0	0.2	1.3	3
124.5	17.4	10	4.9	2.7	0.9	0.7	0.1	0.4	0	0.3	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	0.5	2.2	7.3
125	17.8	9.5	4	1.7	0.8	0.6	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0.6	2	5.5
125.5	12.3	6.9	2.9	1.5	1	0.8	0.4	0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5	0.7	1.2	2.3	5.9
219.5	12.2	7.1	3.3	2.1	1.5	1.1	1	1	1	1.4	1.3	1.5	1.2	1.1	0.8	0.3	0.2	0
220	20.6	10.4	4.5	2.3	1.5	1.3	0.8	0.7	0.7	0.8	0.9	1.1	1	1	0.7	0.4	0.1	0
250	4.4	3.3	1.6	1.4	0.8	1	0.9	1.5	1.8	2.6	3.1	3.3	2.8	2.1	1.6	1.2	0.6	0.1

**Secuencia 77800 Acero 0.08% C Ancho 0.94 m. Banda 2.54 mm.**

L (m)		A (cm)																
0	0	5.1	10.2	15.2	20.3	25.4	30.5	35.6	40.6	45.7	50.8	55.9	61	66.1	71.1	76.2	81.3	86.4
130.5	84.2	55.3	35.3	20.8	12.2	6.7	3	1.7	0.7	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.6	1.2	2.9	5.7
29.5	112.7	72.1	45.6	26	15.2	8.5	4.4	1.9	0.4	0	0	0	0	0.1	0.3	1	1.5	3.6
30	120.4	80.2	50.3	28.8	16.7	9.4	4.8	2.3	0.6	0.3	0	0	0.1	0.2	0.3	0.8	1	1.9
30.5	115.3	77.3	49.7	30.7	19	11.3	6.7	4.4	2.8	2.3	1.3	1.1	0.7	0.6	0.5	0.3	0.2	0
124.5	114	75.9	47.2	29.6	16.4	8.9	4.7	2.3	1.3	0.9	0.5	0.3	0.2	0.1	0	0.4	0.3	0.1
125	96.3	65.1	39.9	25.2	15.3	8.5	4.8	2.8	1.5	1	0.4	0.1	0	0	0.2	0.4	0.8	2.4
125.5	108.3	72.8	45.6	28.7	17	10	5.7	3.4	2.1	1.5	1	0.9	0.6	0.5	0.3	0.3	0.2	0
219.5	107.5	73.2	46.3	29.1	18	10.5	6.2	3.7	2.4	1.6	1.2	0.9	0.7	0.7	0.6	0.5	0.3	0
220	120.4	81.6	51.6	32.3	19.7	11.6	6.7	3.8	2.2	1.6	1.1	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0
250	138.6	96.4	63.1	40.1	25.2	15.3	9	5.2	3	2	1.4	0.9	0.8	0.6	0.4	0.2	0.1	0

**Secuencia 77803 Acero 0.08% C Ancho 0.94 m. Banda 2.54 mm.**

L (m)		A (cm)																
0	0	5.1	10.2	15.2	20.3	25.4	30.5	35.6	40.6	45.7	50.8	55.9	61	66.1	71.1	76.2	81.3	86.4
0	25.9	13.8	6.7	3.1	1	0.1	0	0.7	1.8	4	6.2	8.4	7.6	5.9	3.2	1.8	1	1.9
29.5	13.4	7.1	3.2	1.6	0.6	0.6	0	0.1	0	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.6	1.3	3.1	8.8
30	12.7	6.6	4	1.7	0.8	0.4	0.2	0	0.1	0.7	0.7	1	0.9	0.9	0.9	1.2	1.9	5.7
30.5	10.2	6.4	2.8	2.1	1	0.4	0.1	0.1	0	0.2	0.3	0.9	0.8	0.8	0.3	0.6	0.9	0.7
124.5	3	2.5	1.2	0.9	0.7	0.4	0.3	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.5	0.6	0.3	0.3	0.5	0
125	3.5	2	1.3	1	1.1	0.4	0.1	0.3	0.3	0.3	0.5	0.4	0.4	0.3	0.1	0	0.5	0.2
125.5	3.5	2.6	1.4	1.1	1	0.5	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1	1	0.8	0.7	0.6	0.6	0.4
219.5	5.9	3.5	1.6	0.9	0.8	0.6	0.6	0.7	0.6	0.8	1.1	1.2	1.2	1	0.6	0.5	0.1	0
220	0.5	0	0.2	0.4	0.7	1.6	1.4	2.2	2.5	3.4	3.6	3.9	3.8	3.1	2.2	1.6	0.9	0.6
250	0.2	0	0.1	0.8	1.4	2.4	3.2	4.9	6.1	7.6	8.5	9	8.1	6.7	4.6	2.7	1.5	0.6

**Secuencia 77807 Acero 0.08% C Ancho 0.94 m. Banda 2.54 mm.**

L (m)		A (cm)																
0	0	5.1	10.2	15.2	20.3	25.4	30.5	35.6	40.6	45.7	50.8	55.9	61	66.1	71.1	76.2	81.3	86.4
0	129.3	89.1	57.2	35.2	21.1	11.9	6.5	3.7	2.6	1.8	1.1	1.1	0.9	1.1	0.5	0.4	0.2	0
29.5	131	88.7	59.1	35.2	21	12.1	7	3.8	2.4	1.8	1.2	0.8	0.6	0.6	0.3	0.3	0	0
30	109	71.5	45.3	27.5	15.3	8.4	4.5	2.6	1.4	0.8	0.5	0.2	0	0.1	0	0.1	0.2	0.7
30.5	117.2	80.5	51.1	32.1	19.7	11.4	6.6	3.3	1.8	0.9	0.5	0.3	0	0	0	0	0.4	0.5
124.5	119.4	80.4	51.2	31.7	18.9	10.6	5.8	2.9	1.7	1.1	0.6	0.3	0.2	0.3	0	0.2	0.1	0
125	121.4	79.2	50.2	30.8	18.4	10.6	6	3.2	1.9	1.3	0.8	0.6	0.3	0.2	0.2	0	0.1	0.2
125.5	108.1	74.5	47.9	30.7	19.1	11.6	7.2	4.1	2.5	1.8	1.2	1	0.7	0.7	0.4	0.5	0.2	0
219.5	106.2	72	45	28.9	18.1	10.9	6.5	3.7	2.3	1.5	1	0.9	0.6	0.5	0.2	0.2	0.2	0.1
220	97.2	63.6	41.5	25.8	15.8	9.5	5.9	3.7	2.2	1.5	0.9	0.7	0.6	0.4	0.2	0	0.2	0
250	158.2	106.7	69.1	44.4	27.1	16.6	9.9	5.9	3.3	2.3	1.6	1.3	0.8	0.6	0.5	0.1	0	0.2

**Secuencia 78449 Acero 0.08% C Ancho 1.08 m. Banda 2.642 mm.**

L (m)		A (cm)																					
0	U	5.1	10.2	15.2	20.3	25.4	30.5	35.6	40.6	45.7	50.8	55.9	61	66.1	71.1	76.2	81.3	86.4	91.4	96.5	101.6	106.7	
0	110.6	74.2	49.3	30.5	17.9	11.7	8	7.4	6.5	7	6.4	5.9	5.4	5.2	3.1	2.7	1.8	1.5	0.7	0.5	0.2	0	0
29.5	119.3	86.9	60.8	39.6	24.6	17	11.5	9.3	7.2	7.1	5.8	5.8	5.3	4.8	3	2.6	2	1.4	1	0.8	0.3	0	0
30	112	80.4	54.1	34.8	21.1	14.5	9.3	8.4	6.3	6.8	5.5	6	4.9	4.6	2.6	1.7	0.3	0.2	0	1.6	5.1	10.7	
30.5	100.3	71.1	48.7	30.5	18.6	12.5	8.4	7.2	5.6	5.7	4.7	5.1	4.1	3.7	2	1.6	0.5	0.7	0	0.2	1.6	3.5	
124.5	95.4	67.4	45.2	27.8	17.3	10.5	6.4	5	3.5	3.4	2.5	2.9	1.8	1.7	0.6	0.3	0	0.3	0.5	2.3	5.8	11.3	
125	120.4	82.9	55.9	34.4	20.7	11.8	6.9	3.7	2.2	1.7	1.3	1.1	0.6	0.6	0.1	0.2	0	0.2	0.6	2	5.2	9.9	
125.5	104	75.6	54.2	35.9	24.6	16	10.7	7.1	5.5	4.6	3.7	3.7	2.9	2.6	2	1.8	1.3	1.1	0.4	0	0.2	0.1	
219.5	96.5	67.9	47.3	31	20	13.2	8.6	7.1	4.8	4.4	3	3	1.6	1.4	0.8	0.4	0	0.4	1	3.2	8.1	15	
220	103.5	73.9	53	35.9	24.9	17	12	9.5	7.2	6.4	5.1	5.2	4.2	4.1	3.5	3.4	2.4	2.1	3.3	0.6	0.1	0	
220.5	105.7	77	55	37.2	25.7	18.1	12.5	10.1	7.7	6.9	5.6	5.5	4.4	4.4	3.6	3.4	2.4	2.1	1.2	0.8	0.2	0.2	
260	106.7	77.5	56.3	36.6	24.9	16.5	11.2	8.4	6	5	3.8	3.6	3.1	3.1	2.4	2.4	1.7	1.3	0.7	0.2	0	0	

**Secuencia 78453 Acero 0.08% C Ancho 1.08 m. Banda 2.642 mm.**

L (m)		A (cm)																					
0	U	5.1	10.2	15.2	20.3	25.4	30.5	35.6	40.6	45.7	50.8	55.9	61	66.1	71.1	76.2	81.3	86.4	91.4	96.5	101.6	106.7	
0	120.7	83.9	56.1	38.3	25.7	21.8	16.7	18	16	18.7	17.2	19.5	16.7	18	13.6	12.9	8.9	8	4.7	3.1	0	0.2	
29.5	119.4	81.4	52.5	33.2	19.8	14.3	8.9	8.6	5.7	6.6	4.4	4.9	3	2.9	1.1	1.2	0	0.6	0.3	3.6	7.2	15.7	
30	108.2	72.8	45.9	28.7	16.5	11.9	8.1	8.8	7.5	9.1	7.5	8.6	6.1	6	3.2	2.8	0.7	0.5	0	3.1	8.2	17.9	
30.5	108.9	68.4	45	27.9	16.9	11.4	7.1	6.6	4.8	5.5	3.8	4.5	3.1	3.2	1.6	1.6	0	0.6	0.7	3.5	8.8	18	
124.5	101.8	70.7	49.5	33.2	21.9	15.8	10	8.3	5.4	4.9	3.3	3.4	1.8	1.9	0.6	0.7	0	0.4	1.4	4.5	10	18.2	
125	107.4	77	52.2	34.5	22.8	16.6	10.8	8.5	5.8	5	3	3.4	1.6	1.6	0.4	0.5	0	0.8	2.1	5.5	11.9	22.1	
125.5	97.7	69.1	48	31.2	20	13.9	8.4	8.4	4.1	3.7	2.2	2.2	1.4	1.4	0.6	0.5	0	0.5	1.3	3.6	8.6	15.6	
219.5	92.7	67.9	47.8	33.2	22.6	17.1	10.8	8.8	6	5.5	3.6	3.3	2	2	0.8	0.9	0	0.6	1.6	4.5	10.3	18.1	
220	96.4	70.1	49.3	33.3	21.9	16.1	10.5	8.6	5.8	5.3	3.2	3	1.5	1.4	0.1	0.3	0	0.3	1.2	3.7	8.5	16.2	
220.5	92.9	67.7	47.6	31.6	21.1	14.7	9.4	7.1	4.5	3.8	2.2	2.1	1	1.2	0.2	0.3	0	0.4	2	4.8	10.8	19.2	
260	96.8	68.9	48.2	31.9	21.2	14.5	9.2	6.8	4.5	4.1	2.5	2.4	1.1	1.1	0.4	0.5	0	0.6	1.7	4.4	9.7	17.4	

**Secuencia 78456 Acero 0.08% C Ancho 1.08 m. Banda 2.642 mm.**

L (m)		A (cm)																					
0	U	5.1	10.2	15.2	20.3	25.4	30.5	35.6	40.6	45.7	50.8	55.9	61	66.1	71.1	76.2	81.3	86.4	91.4	96.5	101.6	106.7	
0	120.7	83.9	56.1	38.3	25.7	21.8	16.7	18	16	18.7	17.2	19.5	16.7	18	13.6	12.9	8.9	8	4.7	3.1	0	0.2	
29.5	119.4	81.4	52.5	33.2	19.8	14.3	8.9	8.6	5.7	6.6	4.4	4.9	3	2.9	1.1	1.2	0	0.6	0.3	3.6	7.2	15.7	
30	108.2	72.8	45.9	28.7	16.5	11.9	8.1	8.8	7.5	9.1	7.5	8.6	6.1	6	3.2	2.8	0.7	0.5	0	3.1	8.2	17.9	
30.5	108.9	68.4	45	27.9	16.9	11.4	7.1	6.6	4.8	5.5	3.8	4.5	3.1	3.2	1.6	1.6	0	0.6	0.7	3.5	8.8	18	
124.5	101.8	70.7	49.5	33.2	21.9	15.8	10	8.3	5.4	4.9	3.3	3.4	1.8	1.9	0.6	0.7	0	0.4	1.4	4.5	10	18.2	
125	107.4	77	52.2	34.5	22.8	16.6	10.8	8.5	5.8	5	3	3.4	1.6	1.6	0.4	0.5	0	0.8	2.1	5.5	11.9	22.1	
125.5	97.7	69.1	48	31.2	20	13.9	8.4	8.4	4.1	3.7	2.2	2.2	1.4	1.4	0.6	0.5	0	0.8	2.1	5.5	11.9	22.1	
219.5	92.7	67.9	47.8	33.2	22.6	17.1	10.8	8.8	6	5.5	3.6	3.3	2	2	0.8	0.9	0	0.6	1.6	4.5	10.3	18.1	
220	96.4	70.1	49.3	33.3	21.9	16.1	10.5	8.6	5.8	5.3	3.2	3	1.5	1.4	0.1	0.3	0	0.3	1.2	3.7	8.5	16.2	
220.5	92.9	67.7	47.6	31.6	21.1	14.7	9.4	7.1	4.5	3.8	2.2	2.1	1	1.2	0.2	0.3	0	0.4	2	4.8	10.8	19.2	
260	96.8	68.9	48.2	31.9	21.2	14.5	9.2	6.8	4.5	4.1	2.5	2.4	1.1	1.1	0.4	0.5	0	0.6	1.7	4.4	9.7	17.4	



**Secuencia 78565 Acero 0.08% C Ancho 1.08 m. Banda 2.642 mm.**

L (m)		A (cm)																				
0	97.2	5.1	10.2	15.2	20.3	25.4	30.5	35.6	40.6	45.7	50.8	55.9	61	66.1	71.1	76.2	81.3	86.4	91.4	96.5	101.6	106.7
29.5	85.9	56.1	32.2	19.3	9	6.5	3.3	4.8	3.4	5.3	3.7	5	2	2.7	0.4	1.1	0	1.5	0.3	1.4	1.6	4.6
30	94.4	66.7	43.8	29.6	17.8	15.5	10.6	11.2	8.1	9.3	6.6	7.6	4.8	4.9	2.3	2.6	0.1	1.1	0	2.9	7.4	16.1
30.5	96.8	68.5	46.1	30.8	19.5	15.4	10	9.5	6.3	6.8	4.4	4.9	2.7	3.1	1	1.3	0	0.6	1	4	10.4	19.5
124.5	96.4	68.3	45.2	29.5	18.4	12.8	8.4	6.7	4.3	3.7	2.3	2.3	1.4	2	0.3	0.4	0	0.4	2	5.4	12.6	21.7
125	93.2	65.1	46.2	31.3	21	14.6	9.4	7.5	4.8	3.9	2.4	2.4	1.1	1.1	0	0	0	0.1	0.9	3.4	8.4	15.7
125.5	87	59.9	42.5	27.9	17.9	12.4	8.1	6.2	4	3.3	2	1.9	0.8	1	0	0.2	0.4	1.6	4.7	9.2	17.9	29.3
219.5	107	73	50.4	32	20.1	13.5	8.7	6.4	4.4	3.4	2.1	1.9	1.2	1	0.5	0.6	0	0.5	1.2	2.3	5.7	10
220	100.6	70.7	50.4	34	22	15.5	10	7.4	5.1	4.2	2.7	2.5	1.6	1.3	0.6	0.3	0	0.6	1.5	3.7	7.9	14.1
220.5	95.5	67.5	46.6	30.1	19.3	13.2	8.7	6.7	4.4	3.8	2.3	2.1	1.3	1.3	0.4	0.7	0	0.3	0.9	2.6	6.1	11.6
250	86.9	59.8	41.2	26	16.1	10.6	6.6	5.4	3.4	2.6	1.5	1.5	0.6	0.4	0	0.3	0.6	2	4.9	10	19.6	31.9

**Secuencia 78568 Acero 0.08% C Ancho 1.08 m. Banda 2.642 mm.**

L (m)		A (cm)																				
0	113.9	78.1	52.6	35	22.5	16	10.8	8.6	6.1	5.7	4.2	4	3	2.8	2	1.8	1	0.8	0.1	0.2	0	0.6
29.5	86.1	60.6	40.6	27.6	18.4	13.4	9.1	7.1	4.8	4.3	2.9	2.6	1.7	1.4	0.5	0.4	0	0.5	1.6	4.3	9.5	17
30	82.9	58.5	39.5	25.9	16.7	11.6	7.6	6.1	4	3.2	1.9	1.7	1	0.7	0	0.2	0.1	1.2	2.6	5.6	11.5	20.1
30.5	93.8	64.3	44.9	28.4	18.4	12.6	8.2	6	3.9	3.3	2	2.1	1.2	1.2	0.5	0.3	0	0.3	1.1	3.3	7.2	13.6
124.5	84.1	57.4	39.1	25	16	10.3	6.6	5	3.3	2.6	1.6	1.4	0.5	0.5	0	0.1	0.4	1	3.1	6.8	13.2	21.3
125	92.4	63.5	44.5	28.5	18.7	12.7	8.4	6.5	4.3	3.5	2.3	2.1	1.4	1.3	0.6	0.5	0	0.2	0.3	1.2	3.4	6.6
125.5	90.3	61.6	42.8	27	17.4	11.8	7.2	5.1	3.1	2.5	1.5	1.4	0.6	0.5	0.1	0	0.1	1.1	2.5	5.1	10.7	17.1
219.5	81.1	55.5	38.6	23.8	14.8	9.8	6.2	4.6	2.8	2.4	1.4	1.5	0.6	0.7	0	0.2	0.3	1.2	3.5	7.1	14.4	24.4
220	86	58.7	39.7	24.6	15.5	10.3	6.5	5	3	2.9	1.6	1.5	0.6	0.7	0.1	0.2	0	0.5	2.4	5.4	11.6	20.2
220.5	91.4	63.3	43	26.5	16.9	11.2	6.8	5.2	3.1	2.9	1.6	1.8	0.8	0.6	0.2	0.4	0	0.7	2.6	6	12.1	20.7
250	86.2	61.5	42.9	28.5	19	13.7	8.7	7.1	4.6	3.9	2.4	2.3	1	1.1	0.1	0.2	0	0.4	2	4.9	10.8	18.7

**Secuencia 78571 Acero 0.08% C Ancho 1.08 m. Banda 2.642 mm.**

L (m)		A (cm)																				
0	95.5	64.2	43.5	26.3	15.6	9.3	5.5	3.5	2	1.5	1.4	1.1	1	1.5	1	1.2	1.2	0.8	0.5	0.4	0	0.2
29.5	114.2	77.7	50.3	31.4	18.6	11.1	6.8	5.3	4.2	4.4	3.5	3.6	2.8	2.9	1.9	1.6	0.9	1	0.2	0.2	0	0
30	119.3	83.4	57.3	38.4	26.2	18.8	12.2	9.8	6.3	5.5	3.6	3.4	1.8	1.6	0.4	0.4	0	0.6	2.3	5.5	12.1	21.8
30.5	103.7	75.5	55.6	38.3	26.8	19.2	12.7	9.5	6.3	5.3	3.3	3	1.8	1.4	0.5	0.7	0	0.5	0.4	1.1	3.9	7.3
124.5	101.8	73.3	54.8	38.8	27.5	20	13.7	10	7	5.7	4.1	3.9	2.5	2.4	1.5	1.2	0.6	0.3	0	0	0.6	2.3
125	95	69.7	52.2	37.2	27.2	20	19.6	10.7	7.6	6.4	4.1	3.9	2.6	2.4	1.3	1	0.1	0	0	0.5	2.2	5
125.5	97.7	69.8	53	36	25.2	17.5	12	8.9	6	4.9	3.4	3.2	2.2	2.2	1.4	1.2	0.4	0.2	0	0.1	0.7	2
219.5	92.8	67.3	48.7	34.3	23.7	16.9	11.3	8.5	5.8	4.7	3.1	2.6	1.4	1.4	0.7	0.5	0	0.2	0	0.6	2.8	4.4
220	101.2	73	53.5	36.4	25.1	17.3	11.8	8.8	6.1	5	3.4	3.3	2.1	1.7	1	0.7	0.1	0.1	0	0.5	2.1	5.1
220.5	102.7	74.3	54.3	35.8	24.8	16.5	10.8	7.5	5	3.9	2.6	2	1.4	1.1	0.6	0.5	0	0	0.1	0.5	1.9	4.5
250	99.9	73.1	53.4	35.9	24.8	17	11.2	8.1	5.7	4.2	2.9	2.7	1.5	1.5	0.7	0.5	0	0.1	0.1	0.6	2.1	5.4

Secuencia 80932 Acero 0.13% C Ancho 0.91 m. Banda 1.96 mm.

L (m)	0	5.1	10.2	15.2	20.3	25.4	30.5	35.6	40.6	45.7	50.8	55.9	61	66.1	71.1	76.2	81.3	86.4	91.4
0	33	11.8	2.4	0	0.6	3	5.8	8.7	11.1	11.3	11.3	9.1	6.2	3.8	2.3	1.9	2.8	5.5	8.7
29.5	34	18	9	3.9	1.9	1	0.5	0.3	0.1	0	0.1	0.4	0.4	0.8	0.8	1.3	3	6.7	13.3
30	13	7.4	3.8	2.5	1.2	1	0.5	0.8	0.4	1.2	0.8	1.1	0.7	0.9	0.5	0.4	0	0.5	1.2
30.5	21.8	11.4	5.7	2.7	1.3	0.8	0.2	0.1	0	0	0.1	0.5	0.3	0.4	0.3	0.3	0.5	0.9	1.4
124.5	28	15	7.4	3.5	1.7	1	0.4	0.1	0.1	0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.7	1.1	2.6
125	18.5	10.6	5.6	3.5	1.9	1.4	0.7	0.8	0.4	0.7	0.4	0.7	0.6	0.5	0.1	0.1	0	0.4	1
125.5	19.5	8.6	3.5	1.4	0.5	0.4	0.1	0	0.2	0.2	0.3	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.9	1.6	3.8
219.5	30.1	16.2	7.9	3.5	1.7	0.9	0.2	0.1	0.1	0	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.8	2.1	4.7
220	25.8	13.3	6.5	3.1	1.5	0.9	0.3	0.1	0	0.2	0.2	0.5	0.4	0.5	0.6	1.1	2.1	4.3	8.5
250	20.6	11.1	5.5	2.9	1.5	1	0.5	0.5	0.1	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0	0	0.3	2.6	7.5

Secuencia 80936 Acero 0.13% C Ancho 0.91 m. Banda 1.96 mm.

L (m)	0	5.1	10.2	15.2	20.3	25.4	30.5	35.6	40.6	45.7	50.8	55.9	61	66.1	71.1	76.2	81.3	86.4	91.4
0	38.2	16.6	5.1	0.7	1.1	4.8	10.3	18.4	25.8	30	27	20.8	13.1	6.6	1.8	0	1.7	8.5	20.4
29.5	29	15.8	7.8	3.7	1.8	1	0.3	0.1	0	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.6	0.9	1.3	1.9
30	18.5	11.1	6.2	3.8	2.1	1.5	0.8	0.9	0.5	0.6	0.6	1.1	0.5	0.7	0.3	0.4	0	0.1	0.1
30.5	25.6	11.6	4.8	2.7	1.4	1.2	1	0.8	0.6	0.8	0.9	1.2	1	1.1	0.8	0.9	0.4	0.3	0
124.5	24.4	12.2	5.5	3	1.7	1.3	0.6	0.6	0.3	0.5	0.6	1.1	0.7	0.8	0.4	0.5	0.1	0.1	0
125	20.6	9.6	3.5	1.7	0.8	0.6	0.4	0	0.2	0.2	0.4	0.5	0.4	0.5	0.3	0.4	0.2	0.3	0.3
125.5	17.5	9.1	4.3	3	1.7	1.3	0.5	0.6	0.4	0.6	0.7	0.9	1	1	0.8	0.6	0.3	0.3	0
219.5	11	5.2	2.2	1.3	0.6	0.4	0	0.2	0.2	0.6	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.5	0.3	0.3	0.1
220	11.9	5.5	2.3	1.1	0.7	0.3	0	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3
250	13.3	5.7	2.5	1.4	0.8	0.5	0.3	0.2	0.1	0.3	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3	0.2	0	0.1	0.9

Secuencia 80940 Acero 0.13% C Ancho 0.91 m. Banda 1.96 mm.

L (m)	0	5.1	10.2	15.2	20.3	25.4	30.5	35.6	40.6	45.7	50.8	55.9	61	66.1	71.1	76.2	81.3	86.4	91.4
0	22.7	12.2	11.6	6.7	9.1	19.5	37	54.4	77.7	85.8	91.6	73.7	52.6	26.1	9.1	0	3.6	31.7	67.9
29.5	30.1	10.7	4.7	3.6	3.5	4.2	4.2	4.2	3.5	3.3	2.6	2.4	1.5	1.1	0.7	0.4	0	0.5	1.4
30	49	19.4	8.2	6.1	5.2	6.3	6	6.3	5.2	4.9	3.6	2.9	1.8	1	0.4	0	0.1	0.6	1.8
30.5	62.6	27.4	13.2	18.2	9.6	9.5	8.9	9.2	7.8	7.5	5.5	4.5	2.8	1.6	0.3	0	1.2	6.1	13.6
124.5	41.2	11.4	0.9	0.8	6	12.7	20	24	26.8	25.6	24.4	19.4	15.4	9.4	5	1.2	0	2.6	9.1
125	44.2	15.5	4.2	1.5	1.1	1.5	1.5	2	1.9	2.1	1.5	1.3	0.7	0.4	0.2	0.1	0	3.1	9.8
125.5	29.4	6.7	0.1	2	8.8	17	25.6	28.7	31.1	28.4	26.2	20.7	16.2	10	6.2	1.9	0	0.4	2.3
219.5	35.1	9.4	0.2	0.4	5.5	12.3	19.4	22.7	24.9	23.5	21.9	17.7	14	9.3	5.3	2	0	0.3	2.2
220	30.3	9	5.5	0	0.5	0.2	0.2	1.4	0.4	0.7	0.4	0.4	0.2	0.5	0.5	1.6	3.9	11.6	22.6
250	11.4	3	1.4	1.4	1.3	1.6	1.6	1.6	1.3	1.3	1	0.9	0.4	0.3	0	0.1	0.5	1.3	3.4

**Secuencia 80942 Acero 0.13% C Ancho 0.91 m. Banda 1.96 mm.**

A (cm)																			
L (m)	0	5.1	10.2	15.2	20.3	25.4	30.5	35.5	40.6	45.7	50.8	55.9	61	66.1	71.1	76.2	81.3	86.4	91.4
	0	45.7	16.1	5.7	8.4	22.1	41.1	61	75.2	80.3	63.7	43.8	23.9	9	1.4	0	9.7	39.2	77.5
	29.5	16.6	5.2	2.8	10.2	24.2	41.9	58.1	69.8	77	77.1	70.9	57.2	40.3	23.5	10.2	2	0	7
	30	44.1	14.1	2	1.4	6.4	14.5	22.9	28.3	32	31.9	30.7	26.1	20.8	14	8.6	4.4	1.8	0.5
	30.5	45.4	15.3	2.3	1	5.2	11.5	18.9	23.3	26.6	26.4	25.3	20.7	16	10.3	6.6	3.2	1.3	0.5
	124.5	53.9	19.1	4.7	3.5	9.4	17.3	27.4	32.2	37	34.8	33.5	26.7	21	13.8	9	4.9	2.3	1.3
	125	104.3	37	6.1	0	5.2	15	28.7	37.8	45.3	44.8	44.2	36.2	28.7	18.3	11.5	6	3	1.8
	125.5	40.9	14.5	2.9	0	1.2	4.2	8.2	13.2	16	16.2	17.2	15.2	10.7	6.5	2.8	0.5	0.2	2.1
	219.5	56.4	21.6	5.4	1.3	1.9	5.2	9.7	15.5	18.9	21.3	20.2	17.5	12.6	7.6	3.3	0.7	0	1.9
	220	36.5	12.7	2.1	0	2.5	6.8	13.6	19.1	25.5	26.8	28.7	25.4	21.9	15.6	11.1	7.5	9.6	21.4
	250	47.9	18.6	4.6	1.1	2.7	6.4	12.5	17.7	22.3	23.8	24.5	20.6	15.8	9.6	5	1.8	0	0.6

**Secuencia 80946 Acero 0.13% C Ancho 0.91 m. Banda 1.96 mm.**

A (cm)																			
L (m)	0	5.1	10.2	15.2	20.3	25.4	30.5	35.5	40.6	45.7	50.8	55.9	61	66.1	71.1	76.2	81.3	86.4	91.4
	0	2.6	0	2.4	6.9	14.3	25.3	39.7	54.1	69.5	82.9	99.9	107.6	100.6	76.2	52.1	33.9	24.2	23.3
	29.5	81.3	44.5	21.9	10.5	4	1.8	0.3	0.1	0	0.5	0.9	1.9	2.4	2.3	1.3	1.7	4.4	13.5
	30	14.5	7.5	3.8	1.9	0.9	0.5	0.3	0.1	0	0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	1	1.3	1.7	3
	30.5	15.2	8.4	4.5	3	1.4	0.9	0.4	0.6	0.1	0.4	0.1	0.3	0.2	0.2	0	0.4	1.2	3.6
	124.5	31	18.1	9.5	5.8	3.4	2.5	1.6	1.7	1.1	1.3	0.7	0.9	0.5	0.4	0	0.2	1	4.2
	125	24	13	6.3	2.9	1.5	0.8	0.1	0.4	0	0.1	0.2	0.5	0.4	0.4	0.3	0.8	1.5	4.8
	125.5	25.9	12.3	4.9	2.2	0.8	0.5	0	0.2	0	0.3	0.3	0.6	0.4	0.5	0.2	0.5	1.2	4.1
	219.5	25	13.2	6.1	2.9	1.4	0.8	0.4	0.2	0	0.3	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3	2	2.2	6.4
	220	22.1	11.3	4.6	3.1	1.5	1.5	0.8	1.2	0.8	1	0.7	1	0.4	0.7	0	0.5	1.2	4.8
	250	19.5	10.3	4.7	2.7	1.1	0.8	0.2	0.3	0	0.4	0.3	0.5	0.4	0.4	0	0.6	1.8	6

**Secuencia 80949 Acero 0.13% C Ancho 0.91 m. Banda 1.96 mm.**

A (cm)																			
L (m)	0	5.1	10.2	15.2	20.3	25.4	30.5	35.5	40.6	45.7	50.8	55.9	61	66.1	71.1	76.2	81.3	86.4	91.4
	0	70.2	40.5	21.3	12.9	14.2	22.4	36.6	69.7	82.4	99.3	103.9	94.6	70.3	46.5	24	8.8	1.3	0
	29.5	65.1	31	11.8	3.1	0	0.7	1.5	3.8	4.7	7.1	7.6	8.6	8	5.9	4.8	3.8	7.2	13.1
	30	22.8	11.3	5.1	2.7	1.6	1.4	0.9	1.1	1.1	1.1	1.5	1.3	1.1	0.9	0.8	0.4	0.5	0
	30.5	29.9	14.6	5.9	3.2	1.8	1.6	1.1	1.2	1.1	1.5	1.7	1.8	1.7	1.4	1.1	0.5	0.4	0
	124.5	24.2	10.8	4.3	2.4	1.3	1.1	0.8	0.9	0.9	1.2	1.2	1.7	1.7	1.2	1.1	0.6	0.2	0
	125	22.9	11.5	5	3.4	2	2.1	1.4	1.7	1.4	2.1	1.7	2.1	1.7	1.2	1.1	0.7	0.3	0
	125.5	18.2	9.9	4.9	3.9	2.8	3.2	2.2	2.6	2	2.7	2.5	3	2.5	2	1.6	1.1	0.8	0
	219.5	11.6	5.5	2.4	1.8	1.1	1	0.5	0.5	0.3	0.5	0.7	0.5	0.5	0.3	0.4	0.2	0.1	0
	220	16.2	7	2.4	1.2	0.5	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4	0.5	0.4	0.2	0.1	0.2	0	0.2
	250	10.9	4.5	1.7	0.9	0.5	0.1	0	0.1	0.1	0.3	0.4	0.5	0.3	0.2	0.2	0	0	0.2

**Secuencia 93556 Acero 0.15% C Ancho 0.97 m. Banda 2.032 mm.**

A (cm)																				
L (m)	0	5.1	10.2	15.2	20.3	25.4	30.5	35.6	40.6	45.7	50.8	55.9	61	66.1	71.1	76.2	81.3	86.4	91.4	96.52
0	112.7	49.3	16	9.6	14.2	26.9	40.5	50.4	58.4	60	60.3	54.3	45.9	30.8	16	4.5	0	4.5	20.5	36.7
29.5	122.5	51.5	16.4	4.8	1.2	0.5	0.3	0.1	0	0	0	0.1	0.2	0.5	1	2.3	7	17.8	42.5	68.5
30	110.4	49.4	16.3	4.6	1.3	0.4	0.2	0.1	0	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	0.9	2.4	6	14.5	32.1	48.3
30.5	147.3	65.7	22.5	7.4	1.9	1	0.2	0.1	0	0	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6	1.5	3.8	10.4	24.4	39.7
124.5	132.5	59.1	20.7	6.1	1.7	0.6	0.4	0	0.2	0.3	0.4	0.5	0.4	0.2	0.1	1.1	2.8	8.7	20.9	34.7
125	111.5	71.6	37.4	25.2	15.5	12.9	8.7	5.7	2.3	1.4	0.1	0	0	0.7	1.5	2.7	6.5	13.1	26.8	37.7
125.5	94.6	47.3	18.6	7.5	3.1	2.2	1.2	0.2	0.1	0	0.4	1	1.9	3.5	6.1	9.8	15.3	22.9	32.9	41.3
220	80.6	42	17.6	7.5	3.6	1.6	0.7	0.4	0	0.3	0.6	1.3	2.2	4.3	7.4	12	17.3	27.1	41.1	58
260	99.1	55.7	25.9	11.4	3.5	0.6	0	0.8	5	9.4	15.9	13.8	11.5	6.7	6	6.5	8.4	15.5	27	38.3

**Secuencia 83127 Acero 0.12% C Ancho 0.93 m. Banda 3.023 mm.**

A (cm)																				
L (m)	0	5.1	10.2	15.2	20.3	25.4	30.5	35.6	40.6	45.7	50.8	55.9	61	66.1	71.1	76.2	81.3	86.4	91.4	96.52
0	104.9	72	49.3	28.1	15.4	6.8	1.9	0	0.1	1.4	3.4	7.1	10.1	15.9	24.3	33.7	49.8	68.4	99.8	99.7
29.5	132.6	94.3	66.7	41.1	25.1	13.8	7.3	3.2	1.4	0.2	0	1	2.6	6.7	11.7	21.3	33	50.9	74.3	75.5
30	153.4	109.3	79.6	49.9	31.8	17.1	9	3.6	1.5	0.6	0.4	0	0.1	1.6	3.7	8.2	15.3	25.4	42.1	70.3
30.5	156.8	114.9	82.8	55.4	36.4	21.8	12.8	6.8	3.3	1.5	0.2	0	0.1	1.2	3.5	6.9	12.3	19.3	30.3	31.7
124.5	156.1	112.5	82.9	54	36	21.8	13.6	7.3	3.9	1.1	0.1	0	0.2	2.1	3.2	6.5	11.2	17.6	26	26.5
125	111.2	80.3	58.4	38.4	25.2	15.7	9.6	4.4	1.9	0.6	0.5	0	1.2	2.2	5.5	9	15.1	22.9	34.9	34.3

**Secuencia 82384 Acero 0.13% C Ancho 0.81 m. Banda 1.575 mm.**

A (cm)																				
L (m)	0	5.1	10.2	15.2	20.3	25.4	30.5	35.6	40.6	45.7	50.8	55.9	61	66.1	71.1	76.2	81			
0	27	16.6	20.4	36.8	58.8	66.7	58.6	40.1	19.8	6.9	1.7	0.4	0.1	0	0.3	0.8	5.2			
29.5	2.1	2.8	3.9	6.2	7.3	6.5	3.9	1.2	0	0.7	5	14	27.9	36.7	38.2	38.5	45.8			
30	41.7	19.6	9.4	4.3	2.1	0.9	0.5	0.3	0	0.3	0.9	1.4	2.1	3.7	5.6	8.8	12.5			
30.5	7.9	4.5	2.3	1.1	0.8	0.4	0	0	0	0.4	1.2	2.6	4.7	7.2	11.3	17.8	25.9			
124.5	88.1	42.9	19.4	9.7	4.9	2.2	0.7	0.2	0	0.5	1.2	2.5	5	8.3	13.9	24.9	40.2			
125	26.5	16	8.9	4.5	2	0.5	0	0.2	0.6	1	1.8	3.7	7.2	15.3	37.3	106.4	227.1			
126.5	80.6	39.1	17.8	8.5	3.7	1.4	0.7	0.3	0.1	0	0.1	0.2	0.6	1.1	2.1	4.3	7.5			
220	3.7	2	1.3	0.9	0.5	0.2	0.1	0	0.3	0.2	0.6	1.5	3.1	6.2	13.8	28.6	50.1			
220.5	16	7.9	4.1	2	1.1	1	0.4	0.4	0.3	0	0.1	1.1	1.8	4.3	10.1	24.5	46.7			
260	122.7	47.6	17.8	7.2	3	0.9	0.1	0	0.3	1.3	3.5	8.4	13	18.3	39.1	118.6	273.3			

Secuencia 107862 Acero 0.13% C Ancho 0.635 m. Banda 2.16 mm.

A (cm.)

L (m.)	0	5.1	10	15	20	25	31	36	41	46	51	56	61	63
0	33.8	19	8.6	3.7	0.9	0	0.1	0.5	2.4	6.2	16.2	38.3	88.8	100
29.5	40.2	23.2	11.5	4.7	0.9	0	0.5	2.6	6.9	14	26.7	45.8	77.8	84.3
30	38.1	21.5	10	3.8	0.7	0	0.5	2.7	6.7	13.7	26.3	44.5	76.3	81.8
30.5	68.5	39.2	20.4	8.7	2.6	0.3	0	1.8	5.6	12	24	41.9	74.8	80.5
124.5	48.8	27.5	13.4	5.1	1.4	0	0.2	1.6	4	8.5	16.8	28.9	50.7	52.1
125	52.4	30.6	16.4	6.9	2.3	0	0	2.2	6.5	13.4	26.5	43.9	74.2	77.8
125.5	42.7	24.4	12.7	5.1	1.5	0	0.7	2.5	6.6	13.7	26.4	44	74.6	78.7
220	118	61	27.7	10.7	2.8	0.3	0	1.4	5.6	14.6	37.6	80.8	167	188
250	146	72	29.7	11.4	3.3	0.7	0	1	5.7	17	45.4	104	207	232

### **Anexo III. Datos de perfil medidos en planta.**

A continuación se presentan los datos de los perfiles medidos en planta a las secuencias atoradas durante este estudio.

En la parte superior se encuentra la información referente al tipo de acero, calibre, ancho y secuencia de que se trate. Seguidamente se encuentra la distancia en milímetros de la orilla norte a la sur (D) a la cual se tomó cada una de las mediciones, dándose el centro del ancho a la distancia 0.000 mm.

El castillo de que se trata se representa con su número correspondiente precedido de la letra E o la S, según se trate de la Entrada o la Salida del castillo.

Acero 0.08 %C, Calibre 2.032 mm., Ancho 0.94 m., Secuencia 75189.

D	1E	1S	2S	3E	3S	4S	5E	5S	6E	6S
-0.476	27.559	13.002	6.477	6.502	4.008	3.010	2.997	2.245	2.240	2.029
-0.470	27.534	13.000	6.472	6.528	3.993	3.030	2.997	2.311	2.286	2.032
-0.457	27.559	13.035	6.477	6.510	4.008	3.012	3.010	2.342	2.304	2.035
-0.432	27.610	13.028	6.551	6.513	4.016	3.023	3.023	2.316	2.301	2.032
-0.406	27.483	12.959	6.543	6.505	4.064	3.010	3.048	2.311	2.311	2.009
-0.381	27.737	12.979	6.576	6.568	4.094	3.023	3.056	2.301	2.329	2.019
-0.356	27.661	12.997	6.624	6.589	4.084	3.023	3.035	2.316	2.329	2.014
-0.330	27.711	13.002	6.642	6.591	4.112	3.028	3.035	2.301	2.327	2.022
-0.305	27.864	13.000	6.652	6.632	4.089	3.038	3.051	2.311	2.329	2.032
-0.279	28.092	13.020	6.612	6.652	4.094	3.040	3.056	2.306	2.329	2.024
-0.254	28.194	13.028	6.634	6.647	4.079	3.043	3.063	2.296	2.332	2.024
-0.229	28.448	13.030	6.614	6.652	4.115	3.089	3.071	2.337	2.337	2.037
-0.203	27.559	13.048	6.612	6.662	4.089	3.096	3.058	2.334	2.332	2.022
-0.178	27.762	13.033	6.642	6.652	4.089	3.076	3.066	2.339	2.339	2.035
-0.152	27.838	13.066	6.617	6.673	4.089	3.073	3.061	2.327	2.342	2.032
-0.127	27.915	13.081	6.637	6.685	4.140	3.081	3.068	2.324	2.337	2.032
-0.102	27.965	13.101	6.670	6.701	4.102	3.076	3.091	2.304	2.337	2.037
-0.076	27.762	13.101	6.645	6.683	4.117	3.068	3.086	2.322	2.342	2.037
-0.051	27.838	13.134	6.652	6.706	4.110	3.073	3.076	2.309	2.347	2.042
-0.025	28.092	13.094	6.655	6.673	4.112	3.078	3.089	2.301	2.339	2.042
0.000	27.838	13.147	6.665	6.662	4.138	3.058	3.071	2.337	2.342	2.040
0.025	28.092	13.117	6.634	6.650	4.105	3.063	3.073	2.306	2.337	2.037
0.051	28.169	13.114	6.642	6.660	4.097	3.066	3.068	2.304	2.342	2.037
0.076	28.042	13.127	6.609	6.645	4.100	3.061	3.068	2.301	2.339	2.045
0.102	28.092	13.114	6.629	6.657	4.110	3.051	3.056	2.311	2.332	2.029
0.127	28.016	13.127	6.640	6.640	4.082	3.086	3.045	2.294	2.334	2.032
0.152	27.940	13.134	6.695	6.627	4.092	3.076	3.063	2.294	2.339	2.029
0.178	27.889	13.124	6.609	6.594	4.084	3.056	3.061	2.294	2.334	2.045
0.203	28.321	13.111	6.617	6.599	4.082	3.043	3.043	2.291	2.324	2.042
0.229	27.838	13.096	6.624	6.594	4.077	3.051	3.045	2.278	2.319	2.040
0.254	27.889	13.076	6.629	6.591	4.064	3.030	3.028	2.276	2.309	2.029
0.279	27.838	13.076	6.609	6.601	4.072	3.045	3.043	2.276	2.306	2.040
0.305	27.965	13.058	6.634	6.614	4.046	3.033	3.028	2.276	2.301	2.024
0.330	27.762	13.056	6.609	6.599	4.056	3.048	3.033	2.278	2.309	2.027
0.356	27.762	13.035	6.604	6.614	4.061	3.043	3.023	2.286	2.309	2.022
0.381	27.991	13.030	6.490	6.599	4.059	3.038	3.038	2.291	2.311	2.032
0.406	27.991	13.010	6.502	6.579	4.089	3.028	3.048	2.291	2.311	2.007
0.432	27.762	13.025	6.497	6.579	4.105	3.023	3.048	2.258	2.261	2.007
0.457	27.788	13.023	6.231	6.541	4.011	3.000	3.010	2.261	2.263	2.007
0.470	27.534	12.992	6.223	6.500	3.955	2.997	3.002	2.261	2.261	2.009
0.476	27.534	13.000	6.261	6.403	3.909	2.982	2.997	2.256	2.258	2.007

Acero 0.13 %C, Calibre 1.575 mm., Ancho 0.813 m., Secuencia 82384.

D	1X	1S	2E	2S	3E	3S	4E	4S	5E	5S	6E	6S
-0.400	27.051	11.633	13.259	6.858	6.807	3.886	3.886	2.743	2.705	1.930	1.885	1.610
-0.394	27.254	11.595	13.272	6.924	6.883	3.988	3.937	2.769	2.718	1.968	1.930	1.628
-0.381	26.975	11.582	13.233	6.980	6.985	4.013	3.962	2.756	2.756	1.981	1.961	1.641
-0.356	27.026	11.557	13.284	6.833	6.960	4.039	3.988	2.832	2.819	2.019	1.986	1.669
-0.330	26.873	11.481	13.310	6.947	6.957	4.064	4.008	2.832	2.832	2.045	1.994	1.661
-0.305	26.721	11.565	13.142	6.977	7.033	4.031	4.028	2.791	2.741	2.024	1.989	1.656
-0.279	27.153	11.532	13.172	6.952	6.975	4.021	4.041	2.791	2.743	2.032	1.989	1.659
-0.254	26.721	11.488	13.200	7.003	6.980	4.028	4.049	2.794	2.784	2.042	1.986	1.661
-0.229	26.975	11.542	13.244	7.066	6.990	4.021	4.036	2.786	2.761	2.035	2.002	1.659
-0.203	26.645	11.458	13.274	7.056	7.130	4.031	4.026	2.789	2.794	2.047	1.991	1.654
-0.178	27.051	11.473	13.315	7.021	7.104	4.054	4.013	2.784	2.769	2.024	1.976	1.656
-0.152	27.432	11.511	13.340	7.069	7.069	4.061	4.028	2.794	2.771	2.037	1.984	1.654
-0.127	26.873	11.501	13.363	6.985	7.036	4.067	4.036	2.791	2.781	2.035	1.984	1.656
-0.102	27.153	11.448	13.391	6.937	7.026	4.061	4.034	2.784	2.774	2.029	1.989	1.656
-0.076	26.848	11.415	13.399	6.975	6.977	4.069	4.028	2.781	2.781	2.022	1.989	1.659
-0.051	27.407	11.455	13.465	7.026	6.944	4.056	4.021	2.797	2.784	2.037	1.986	1.661
-0.025	27.737	11.427	13.462	7.041	7.051	4.069	4.026	2.797	2.781	2.035	1.984	1.661
0.000	27.635	11.448	13.475	6.947	7.023	4.072	4.026	2.802	2.784	2.047	1.986	1.661
0.025	26.848	11.455	13.426	6.952	7.066	4.072	4.028	2.794	2.786	2.052	1.981	1.659
0.051	27.127	11.471	13.411	7.008	7.056	4.049	4.034	2.789	2.769	2.045	1.981	1.661
0.076	27.508	11.493	13.416	6.944	6.993	4.067	4.041	2.794	2.764	2.050	1.976	1.661
0.102	27.788	11.509	13.424	6.980	7.018	4.059	4.036	2.791	2.769	2.047	1.979	1.659
0.127	27.280	11.521	13.401	6.962	7.005	4.056	4.034	2.791	2.766	2.042	1.976	1.661
0.152	27.280	11.504	13.388	6.942	6.988	4.039	4.031	2.791	2.756	2.042	1.976	1.656
0.178	27.305	11.519	13.373	6.998	6.972	4.061	4.011	2.789	2.764	2.035	1.981	1.656
0.203	27.686	11.557	13.360	6.970	7.015	4.067	4.031	2.791	2.775	2.042	1.981	1.654
0.229	27.076	11.633	13.345	6.944	7.010	4.064	4.036	2.789	2.761	2.029	2.002	1.656
0.254	27.584	11.582	13.322	6.952	6.982	4.067	4.028	2.789	2.756	2.037	2.002	1.651
0.279	27.305	11.587	13.274	6.949	7.018	4.061	4.034	2.786	2.758	2.045	1.974	1.651
0.305	27.407	11.577	13.256	6.944	6.998	4.069	4.011	2.784	2.769	2.027	1.971	1.651
0.330	27.559	11.481	13.259	6.934	6.909	4.064	4.013	2.786	2.769	2.032	1.986	1.654
0.356	27.127	11.532	13.208	6.934	6.922	4.039	3.988	2.756	2.718	2.009	1.981	1.651
0.381	27.102	11.532	13.183	6.909	6.909	3.988	3.950	2.718	2.705	1.981	1.958	1.648
0.394	27.102	11.532	13.157	6.782	6.871	3.912	3.924	2.692	2.642	1.963	1.913	1.605
0.400	27.076	11.582	13.233	6.680	6.883	3.861	3.886	2.667	2.642	1.908	1.905	1.600



Acero 0.12 %C, Calibre 3.023 mm., Ancho 0.927 m. Secuencia 83127.

D	IE	1S	2E	2S	3E	3S	4E	4S	5E	5S	6E	6S
-0.470	27.826	15.011	15.062	8.966	8.992	5.613	5.664	4.318	4.369	3.404	3.480	2.997
-0.457	27.826	15.032	15.062	8.966	8.992	5.639	5.664	4.318	4.369	3.429	3.505	3.010
-0.432	27.775	15.052	15.126	8.964	9.004	5.652	5.664	4.369	4.369	3.454	3.531	3.023
-0.406	27.762	14.981	15.034	8.956	8.966	5.626	5.715	4.394	4.394	3.467	3.531	3.010
-0.381	27.991	15.034	15.088	9.020	8.992	5.639	5.677	4.394	4.379	3.480	3.505	3.023
-0.356	27.940	15.070	15.105	8.987	9.055	5.636	5.705	4.389	4.374	3.470	3.520	2.997
-0.330	27.915	15.105	15.100	9.017	9.065	5.685	5.761	4.402	4.387	3.472	3.515	3.007
-0.305	27.889	15.133	15.121	9.020	9.060	5.690	5.763	4.415	4.394	3.482	3.518	3.010
-0.279	27.915	15.149	15.133	9.004	9.068	5.710	5.763	4.435	4.404	3.485	3.528	3.015
-0.254	27.927	15.171	15.133	9.055	9.070	5.652	5.784	4.430	4.420	3.493	3.538	3.020
-0.229	27.953	15.192	15.143	9.063	9.081	5.748	5.784	4.432	4.417	3.500	3.536	3.035
-0.203	27.940	15.204	15.138	9.060	9.075	5.707	5.791	4.437	4.420	3.505	3.536	3.030
-0.178	27.940	15.207	15.189	9.060	9.086	5.733	5.771	4.455	4.420	3.510	3.538	3.030
-0.152	27.953	15.220	15.179	9.088	9.083	5.751	5.809	4.448	4.430	3.513	3.548	3.040
-0.127	27.965	15.235	15.192	9.088	9.070	5.753	5.827	4.458	4.437	3.510	3.561	3.025
-0.102	27.978	15.235	15.169	9.063	9.081	5.761	5.834	4.458	4.440	3.513	3.556	3.033
-0.076	27.965	15.235	15.176	9.083	9.088	5.796	5.806	4.453	4.435	3.505	3.564	3.035
-0.051	27.940	15.260	15.131	9.073	9.073	5.784	5.809	4.448	4.432	3.505	3.548	3.035
-0.025	27.940	15.265	15.126	9.063	9.075	5.804	5.804	4.442	4.430	3.505	3.556	3.033
0.000	27.965	15.258	15.128	9.063	9.103	5.812	5.834	4.455	4.432	3.505	3.556	3.051
0.025	27.991	15.268	15.080	9.070	9.096	5.794	5.824	4.450	4.432	3.508	3.556	3.043
0.051	27.965	15.268	15.100	9.060	9.081	5.786	5.814	4.453	4.432	3.508	3.559	3.040
0.076	27.965	15.265	15.085	9.053	9.063	5.799	5.812	4.453	4.440	3.513	3.551	3.051
0.102	27.965	15.263	15.113	9.047	9.068	5.804	5.794	4.453	4.432	3.508	3.546	3.048
0.127	27.978	15.263	15.123	9.058	9.058	5.789	5.845	4.455	4.432	3.508	3.553	3.038
0.152	27.940	15.260	15.100	9.058	9.053	5.773	5.796	4.453	4.430	3.508	3.541	3.033
0.178	27.953	15.248	15.072	9.055	9.045	5.786	5.829	4.440	4.425	3.505	3.548	3.033
0.203	27.940	15.245	15.067	9.035	9.050	5.799	5.784	4.442	4.422	3.500	3.546	3.030
0.229	27.940	15.240	15.067	9.014	9.040	5.791	5.791	4.448	4.415	3.487	3.548	3.025
0.254	27.915	15.212	15.049	9.004	9.037	5.768	5.809	4.448	4.409	3.487	3.541	3.025
0.279	27.927	15.199	15.044	9.007	9.022	5.768	5.804	4.437	4.412	3.482	3.551	3.015
0.305	27.902	15.192	15.055	8.989	8.989	5.768	5.776	4.420	4.384	3.480	3.536	3.010
0.330	27.889	15.187	15.060	8.979	8.987	5.733	5.789	4.420	4.399	3.472	3.548	3.012
0.356	27.940	15.159	14.989	8.953	8.981	5.743	5.819	4.412	4.389	3.465	3.536	3.010
0.381	27.965	15.085	15.070	8.959	8.992	5.283	5.715	4.445	4.394	3.480	3.556	3.048
0.406	27.927	15.062	15.062	8.992	8.992	5.283	5.715	4.420	4.394	3.480	3.556	3.048
0.432	27.876	15.161	15.169	8.992	8.992	5.410	5.690	4.445	4.369	3.480	3.556	3.048
0.457	27.864	14.961	15.042	8.905	8.788	5.410	5.715	4.420	4.318	3.480	3.548	3.048
0.470	27.864	15.016	15.037	8.821	8.738	5.283	5.613	4.420	4.267	3.429	3.454	3.023

Acero 0.15 %C, Calibre 2.032 mm., Ancho 0.965 m., Secuencia 93556.

D	1S	2E	3E	3S	4E	4S	5E	5S	6E	6S
-0.476	14.412	13.653	5.232	4.648	4.470	3.330	3.305	2.507	2.464	2.207
-0.470	14.402	13.675	5.232	4.648	4.531	3.378	3.307	2.568	2.502	2.197
-0.457	14.427	13.680	5.255	4.714	4.572	3.462	3.396	2.586	2.504	2.207
-0.432	14.465	13.708	5.253	4.724	4.564	3.470	3.411	2.598	2.535	2.230
-0.406	14.491	13.691	5.232	4.750	4.585	3.477	3.406	2.619	2.530	2.235
-0.381	14.491	13.762	5.222	4.704	4.580	3.490	3.386	2.583	2.479	2.202
-0.356	14.516	13.795	5.227	4.709	4.577	3.493	3.381	2.581	2.459	2.169
-0.330	14.552	13.843	5.245	4.699	4.592	3.495	3.373	2.581	2.466	2.169
-0.305	14.564	13.866	5.243	4.727	4.610	3.508	3.355	2.573	2.464	2.174
-0.279	14.600	13.899	5.260	4.729	4.618	3.520	3.360	2.576	2.487	2.169
-0.254	14.623	13.924	5.265	4.714	4.625	3.498	3.376	2.581	2.482	2.174
-0.229	14.610	13.965	5.291	4.729	4.646	3.503	3.373	2.601	2.489	2.184
-0.203	14.635	13.980	5.311	4.735	4.648	3.518	3.383	2.598	2.492	2.184
-0.178	14.648	13.993	5.309	4.729	4.648	3.508	3.373	2.601	2.494	2.179
-0.152	14.635	13.983	5.326	4.750	4.658	3.518	3.383	2.601	2.499	2.187
-0.127	14.651	14.003	5.329	4.742	4.674	3.528	3.388	2.586	2.497	2.187
-0.102	14.656	14.016	5.331	4.750	4.671	3.523	3.391	2.583	2.512	2.197
-0.076	14.638	14.016	5.352	4.760	4.669	3.528	3.409	2.601	2.507	2.192
-0.051	14.633	14.018	5.354	4.765	4.669	3.538	3.406	2.596	2.502	2.197
-0.025	14.633	14.046	5.342	4.757	4.658	3.533	3.399	2.598	2.515	2.205
0.000	14.630	14.069	5.357	4.763	4.676	3.528	3.393	2.588	2.510	2.197
0.025	14.643	14.054	5.347	4.773	4.676	3.531	3.391	2.596	2.512	2.207
0.051	14.638	14.046	5.342	4.765	4.663	3.526	3.396	2.591	2.512	2.192
0.076	14.630	14.011	5.342	4.773	4.671	3.536	3.399	2.606	2.520	2.192
0.102	14.615	14.003	5.349	4.770	4.658	3.538	3.393	2.606	2.507	2.184
0.127	14.630	14.006	5.334	4.775	4.643	3.503	3.391	2.611	2.487	2.184
0.152	14.620	14.003	5.329	4.765	4.643	3.520	3.383	2.601	2.502	2.184
0.178	14.638	13.993	5.309	4.747	4.648	3.503	3.376	2.586	2.492	2.184
0.203	14.656	13.978	5.314	4.757	4.638	3.508	3.371	2.583	2.494	2.182
0.229	14.638	13.965	5.304	4.755	4.651	3.510	3.368	2.576	2.492	2.192
0.254	14.587	13.929	5.293	4.740	4.628	3.493	3.360	2.576	2.499	2.187
0.279	14.536	13.899	5.286	4.745	4.610	3.493	3.350	2.568	2.494	2.174
0.305	14.521	13.899	5.281	4.737	4.600	3.513	3.345	2.583	2.474	2.174
0.330	14.534	13.823	5.291	4.719	4.595	3.490	3.350	2.576	2.471	2.172
0.356	14.483	13.823	5.281	4.727	4.602	3.493	3.330	2.581	2.466	2.162
0.381	14.427	13.795	5.283	4.712	4.628	3.505	3.332	2.583	2.456	2.233
0.406	14.361	13.701	5.248	4.699	4.623	3.536	3.345	2.596	2.461	2.212
0.432	14.272	13.696	5.260	4.648	4.656	3.564	3.327	2.601	2.479	2.202
0.457	14.300	13.711	5.255	4.671	4.646	3.528	3.332	2.570	2.474	2.192
0.470	14.331	13.698	5.220	4.679	4.613	3.523	3.307	2.591	2.393	2.159
0.476	14.303	13.688	5.207	4.679	4.567	3.475	3.302	2.568	2.388	2.129

Acero 0.13 %C, Calibre 2.160 mm., Ancho 0.635 m., Secuencia 107862

D	1S	2E	2S	3E	3S	4E	4S	5E	5S	6E	6S
-0.318	12.837	13.051	6.604	6.591	4.186	4.343	3.106	3.076	2.413	2.408	2.057
-0.305	12.857	13.045	6.596	6.604	4.181	4.394	3.175	3.117	2.449	2.421	2.098
-0.279	12.852	13.063	6.604	6.629	4.242	4.470	3.259	3.172	2.484	2.438	2.126
-0.254	12.888	13.056	6.660	6.731	4.265	4.498	3.299	3.195	2.487	2.461	2.136
-0.229	12.880	13.111	6.652	6.782	4.288	4.554	3.307	3.205	2.482	2.464	2.151
-0.203	12.896	13.111	6.716	6.835	4.333	4.564	3.322	3.218	2.466	2.461	2.146
-0.178	12.903	13.104	6.749	6.820	4.326	4.572	3.325	3.218	2.471	2.464	2.144
-0.152	12.929	13.099	6.739	6.855	4.336	4.592	3.317	3.218	2.466	2.464	2.149
-0.127	12.982	13.012	6.711	6.843	4.354	4.602	3.330	3.228	2.482	2.469	2.151
-0.102	12.967	13.063	6.759	6.840	4.366	4.615	3.327	3.231	2.469	2.469	2.151
-0.076	12.964	13.114	6.731	6.825	4.366	4.600	3.343	3.231	2.479	2.466	2.151
-0.051	12.974	13.096	6.718	6.820	4.366	4.595	3.340	3.233	2.471	2.476	2.146
-0.025	12.941	13.114	6.718	6.815	4.359	4.580	3.335	3.231	2.474	2.469	2.151
0.000	12.939	13.111	6.734	6.802	4.359	4.577	3.325	3.228	2.471	2.471	2.146
0.025	12.941	13.142	6.744	6.787	4.356	4.597	3.330	3.226	2.471	2.464	2.149
0.051	12.941	13.124	6.756	6.822	4.359	4.597	3.335	3.223	2.471	2.469	2.151
0.076	12.939	13.134	6.767	6.835	4.371	4.590	3.332	3.223	2.471	2.469	2.149
0.102	12.944	13.132	6.761	6.792	4.366	4.582	3.335	3.223	2.474	2.469	2.146
0.127	12.916	13.051	6.726	6.800	4.354	4.572	3.320	3.218	2.471	2.471	2.141
0.152	12.918	13.002	6.731	6.807	4.348	4.569	3.320	3.223	2.464	2.469	2.141
0.178	12.946	13.005	6.718	6.855	4.333	4.559	3.317	3.218	2.464	2.464	2.141
0.203	12.931	13.017	6.683	6.833	4.341	4.562	3.315	3.211	2.459	2.459	2.131
0.229	12.926	12.997	6.655	6.807	4.288	4.496	3.297	3.200	2.456	2.459	2.154
0.254	12.916	12.995	6.655	6.756	4.265	4.498	3.277	3.180	2.454	2.438	2.151
0.279	12.885	12.984	6.627	6.629	4.239	4.432	3.251	3.175	2.438	2.421	2.131
0.305	12.875	12.979	6.548	6.579	4.191	4.293	3.195	3.124	2.400	2.393	2.103
0.318	12.824	12.984	6.543	6.596	4.140	4.186	3.150	3.073	2.388	2.362	2.085

## **Anexo IV. Coeficientes de los modelos estadísticos.**

A continuación se presentan los coeficientes encontrados estadísticamente para predecir las fuerzas de separación y la corona resultante de un producto específico.

En la Tabla I.I se encuentran los coeficientes a, b, c, d y e requeridos para el cálculo de las fuerzas de separación. El índice i que se encuentra en la primera columna indica el número de castillo y el índice j de la segunda columna indica el límite inferior (j=1) o el superior (j=2).

En las tablas I.II a I.IV se encuentran los coeficientes requeridos para el cálculo de los coeficientes  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , y  $\delta$  en función del ancho respectivamente; el índice i de la primera columna indica el número de castillo; para algunos coeficientes debido a su cambio de comportamiento a ciertos límites de ancho se empleará el índice j, en otros en los cuales el comportamiento es el mismo para diferentes límites de anchos, sólo se usará para su cálculo el número de castillo correspondiente.

**Tabla I.I** Coeficientes requeridos para el cálculo de las fuerzas de separación.

i	j	a 10 <sup>6</sup> Nw.	b 10 <sup>6</sup> Nw/m	c 10 <sup>3</sup> Nw-m	d Nw-m <sup>2</sup>	e 10 <sup>6</sup> Nw/[%C]
1	1	-6.81	9.15	13.17	-7.62	10.87
	2	-10.20	14.12	23.50	-12.44	14.22
2	1	-2.33	7.47	9.51	-8.38	7.48
	2	-3.69	11.17	14.04	-12.20	9.94
3	1	-4.19	7.67	12.11	-9.64	6.97
	2	-5.41	10.85	16.28	-13.06	9.00
4	1	-4.20	3.86	12.80	-8.17	4.20
	2	-5.24	7.02	14.47	-10.59	5.24
5	1	-4.98	5.55	17.62	-14.24	4.13
	2	-6.10	7.32	22.34	-18.38	5.00
6	1	-3.30	3.10	13.26	-12.53	2.19
	2	-3.53	5.68	14.46	-15.27	3.94

**Tabla I.II** Coeficientes requeridos para el cálculo del coeficiente  $\alpha$  en función del ancho.

i	j	a	b	c
1	1	16.83	-2.048	1.427 x 10 <sup>-2</sup>
	2	240.6	-23.41	0.520
2	1	4.95	-0.432	-3.438 x 10 <sup>-2</sup>
	2	342.4	-32.81	0.741
3	1	6.63	-0.703	-2.199 x 10 <sup>-2</sup>
	2	340.7	-32.69	0.741
4	1	8.35	-1.012	4.520 x 10 <sup>-3</sup>
	2	240.8	-23.40	0.541
5	1	14.90	-1.925	3.370 x 10 <sup>-2</sup>
	2	582.8	-56.46	1.337
6	1	2.94	-0.310	-8.690 x 10 <sup>-3</sup>
	2	214.6	-20.79	0.486

$$\alpha = a + b \frac{w}{2} + c \frac{w^2}{4}$$

Los coeficientes de j=1 se emplean cuando  $w \leq 0.991$  m.

**Tabla I.III** Coeficientes requeridos para el cálculo del coeficiente  $\beta$  en función del ancho.

i	j	a	b	c
1	1	48.55	-6.759	0.216
	2	-36.07	3.943	-0.112
2	1	50.23	-6.983	0.223
	2	-13.48	1.722	-0.058
3	1	45.14	-6.263	0.200
	2	-17.75	2.084	-0.064
4	1	44.84	-6.225	0.199
	2	-29.81	3.282	-0.094
5	1	41.38	-5.734	0.183
	2	-39.88	4.225	-0.116
6	1	42.64	-5.910	0.189
	2	-14.73	1.796	-0.057

$$\beta = a + b \frac{w}{2} + c \frac{w^2}{4}$$

Los coeficientes de  $j=1$  se emplean cuando  $w \leq 0.965$  m.

**Tabla I.IV** Coeficientes requeridos para el cálculo del coeficiente  $\gamma$  en función del ancho.

i	j	a	b	c
1	1	0.209	-1.390	0.0992
	2	-28.22	3.500	-0.1333
2	1	-0.428	-1.307	0.0966
	2	61.98	-5.200	0.0762
3	1	-1.038	-1.145	0.0882
	2	-61.00	6.700	-0.2095
4	1	-1.038	-1.145	0.0882
	2	29.20	-2.000	$-8.05 \times 10^{-8}$
5	1	-1.154	-1.076	0.0838
	2	-14.23	2.100	-0.0952
6	1	-1.099	-1.074	0.0834
	2	-104.4	10.80	-0.3048

$$\gamma = a + b \frac{w}{2} + c \frac{w^2}{4}$$

Los coeficientes de  $j = 1$  se emplean cuando  $w \leq 0.991$  m.

**Tabla I.V** Coeficientes requeridos para el cálculo del coeficiente  $\delta$  en función del ancho.

<b>i</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>
1	0.1721	$-4.257 \times 10^{-2}$	$4.194 \times 10^{-3}$
2	0.1674	$-4.188 \times 10^{-2}$	$4.171 \times 10^{-3}$
3	0.1625	$-4.076 \times 10^{-2}$	$4.081 \times 10^{-3}$
4	0.1727	$-4.200 \times 10^{-2}$	$4.118 \times 10^{-3}$
5	0.1726	$-4.163 \times 10^{-2}$	$4.071 \times 10^{-3}$
6	0.1651	$-4.093 \times 10^{-2}$	$4.056 \times 10^{-3}$

$$\delta = a + b \frac{w}{2} + c \frac{w^2}{4}$$

## REFERENCIAS

1. Hot Strip Mill Profile and Flatness Study, Phase 1. Association of Iron and Steel Engineers, 1986.
2. V. B. Ginzburg, "Strip Profile Control with Flexible Edge Backup Rolls", Iron and Steel Engineer, July 1987.
3. W. K. J. Pearson, "Shape Measurement and Control", Journal of the Institute of Metals, Vol. 93, 1964-1965.
4. S. Wilmotte, et al, "The Sigma-ro Process: A New Approach to the Hot Strip Mill Computer Control", Centre de Recherches Metallurgiques (C.R.M.), Report No. 52, May. 1978.
5. O. G. Sivilotti, et al, "ASEA-ALCAN AFC System for Cold Rolling of Flat Strip", AISE Yearly Proceedings, 1973.
6. J. Kelly, Jr., "New Hot Strip Mill at McDonald, Ohio". AISE Yearly Proceedings, 1935-36, pp. 337-345.



7. J. O. Pera, et al, "Optimal Width Reductions in Hot Strip Mills", Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan, Vol. 26, 1986, pp. 206-211.
8. T. Hope, et al, "HI-Spread: A New Hot Rolling Process Which Can Affect Major changes of Slab Width", Proceedings of 4th International Steel Rolling Conference: The Science and Technology of Flat Rolling, Vol. 1 Deauville, France, June 1-3, 1987, pp. A.13.1-A.13.5.
9. J. P. Barreto and M. J. Hillier, "Shape Control in Cold Strip Rolling", Sheet Metal Industries, Vol. 45, Oct. 1986.
10. G. F. Kelk, et al, "New Development Improve Hot Strip Shape: Shapemeter-Looper and Shape Actimeter", Iron and Steel Engineer, Aug. 1986.
11. J. G. Wistreich, "Control of Strip Shape During Cold Rolling", Journal of the Iron and Steel Institute, Vol. 206, Dec. 1986.
12. T. Sheppard, "Shape in Metal Strip: The State of the Art", Proceedings

of the Metals Society Conference on Shape Control, Chester, England, April 1976.

13. W. K. J. Pearson, "Shapemeter II", Proceedings of the Metals Society Conference on Shape Control, Chester, England, April 1976.

14. R. A. Harding, Ph. D. Thesis, U. Sheffield, U. K., 1976.

15. R. Colás, EDP Congress 1993, J. P. Hager, (ed.), TMS-AIME, Warrendale, 1992, 671.

16. C. M. Sellars, Mat. Sc. Techn., 1325 (1985).

17. R. Colás, Mat. Forum. 14, 253 (1990).

18. R. B. Sims, Proc. Inst. Mech. Eng., 168, 191 (1954).

19. K. N. Shohet and N. A. Townsend, J. Iron Steel Inst., 209, 796 (1971).

20. W. Rohde, Metall. Plant Techn. Int., 11 (3), 47 (1988).

21. K. N. Shohet and N. A. Townsend, J. Iron Steel Inst., 206, 1088 (1968).
22. S. Wilmotte, J. Mignon and M. Economopoulos: CRM Reps., 30, 11 (1972).
23. V. Misaka and T. Yokoi: Proc. ICSTIS, Suppl. Trans. ISIJ, 11, 680 (1971).
24. R. Colás: Simulación del molino continuo de laminación en caliente. Reporte interno, HYLSA, S.A. de C.V., Monterrey, N.L., 1992.
25. D. R. Gaskell: Introduction to Metallurgical Thermodynamics, McGraw Hill, Nva. Tork, 2th Ed., 1981.
26. R. Colás: Predicción de la evolución del perfil y forma durante laminación en caliente. Reporte interno, HYLSA, S.A. de C.V., Monterrey, N.L., 1992.
27. L. Estrada, R. Montemayor, L. Leduc: Caracterización del perfil banda

0.085". Reporte Parcial, HYLSA, S.A. de C.V., Monterrey, N.L., marzo 1993.

28. K. N. Shohet y N. A. Townsend: J. Iron Steel Inst., 206, 1088 (1968).

