

300617

28 2ej.

UNIVERSIDAD LA SALLE  
ESCUELA DE INGENIERIA  
INCORPORADA A LA U.N.A.M.

"ADAPTACION DEL MODELO MATEMATICO DEL  
LAMINADOR CONTINUO A MANDRIL RETENIDO  
DE TAMSA A LA REALIDAD OPERATIVA"

TESIS PROFESIONAL QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

PRESENTA:

ALESSANDRO DANIELE PAOLO PICONE MORELLI

DIRECTOR DE TESIS: ING. RAUL MORALES FARFAN

MEXICO D.F.

1989

FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## INDICE

TEMA	PAGINA
INTRODUCCION .....	1
I LAMINACION DE TUBOS DE ACERO SIN COSTURA ...	3
PROCESO DE FABRICACION .....	4
Horno giratorio .....	5
Descamador .....	6
Centradora .....	6
Laminador-perforador .....	7
Laminador continuo MPM .....	8
Extractor .....	9
Circuito de mandriles .....	10
Calibrador .....	10
Corte en caliente .....	11
Pisos de enfriamiento .....	12
II CARACTERISTICAS DEL LAMINADOR CONTINUO A MAN-	
DRIL RETENIDO .....	14
Banca porta-jaulas .....	14
Jaulas de laminación .....	14
Jaulitas de soporte del mandril .....	16
Guillotina de posicionamiento .....	17
Descamadores .....	17
Flechas .....	17
Cajas reductoras desdobladoras .....	18
Circulación de mandriles .....	20
Cremallera .....	21
Extractor .....	22
III MODELO MATEMATICO .....	24
Datos de entrada .....	27
IV PROGRAMA GEOMETRICO .....	30
Determinación de las secciones del tubo ..	34
Cálculo de los valores de abertura o cierre	
del salto de los cilindros .....	34
Cálculo de las secciones del tubo .....	41
Cálculo de espesores equivalentes de	
entrada/salida de cada jaula .....	45
Cálculo de los valores de regulación	
de las jaulas del MPM .....	46
Cálculo del salto de los cilindros	
(en carga) .....	46
Cálculo de las revoluciones de los	
motores .....	46
Cálculo de los valores geométricos	
de los cilindros .....	47
V PROGRAMA DINAMICO DE MANDRILES .....	48

	Descripción de las variables .....	50
	Cálculo de la velocidad de retención del mandril .....	52
	Selección del criterio para definir la velocidad de retención del mandril .....	52
	Posicionamiento del mandril .....	53
	Definición de las carreras del mandril ..	53
	Cálculo de las posiciones del mandril ...	55
	Pruebas sobre las posiciones del mandril para recalcular eventualmente la velocidad .....	56
	Cálculo de las abscisas de los puntos de descarga e impacto y definición de las zonas de trabajo del mandril .....	58
VI	PROGRAMA DINAMICO DEL MPM .....	60
	Descripción del significado de las variables utilizadas en el programa .....	66
	Individuación de la temperatura del tubo durante la laminación .....	68
	Definición del grado del acero .....	68
	Definición de los parámetros geométricos utilizados en el programa dinámico .....	68
	Cálculo de la velocidad relativa .....	70
	Cálculo de los coeficientes de fricción ..	70
	Cálculo del tiro sobre el mandril entre las jaulas .....	70
	Cálculo de la resistencia a la deformación del material .....	72
	Polinomio interpolador para las $\sigma$ (SNE) ...	74
	Cálculo de la curva de presión en el material .....	77
	Cálculo del par de laminación .....	79
	Cálculo de la potencia .....	79
	Cálculo de la fuerza de separación .....	79
	Cálculo del tiro sobre el mandril y potencia de fricción .....	80
	Cálculo del salto en vacío .....	81
VII	REGULACIONES MECANICAS .....	82
	Regulación de las sillas de soporte perforado en la estación de preinserción .....	82
	Rolos de soporte del mandril en el eje de laminación .....	83
	Rolos de soporte del perforado en el eje de laminación .....	84
	Regulación del pinch-roll .....	85
	Jaulitas de soporte mandril - Regulación de los rolos .....	86
	Regulación de la vía de rolos a la salida del extractor y la vía de rolos a la entrada del calibrador .....	87
	Regulación de la vía de rolos a la salida del calibrador .....	88

**ANEXOS**

Resultados que se obtienen del modelo matemático .....	90
Glosario de términos .....	91
CONCLUSIONES .....	96
BIBLIOGRAFIA .....	97

## INTRODUCCION

La actividad de la empresa Tubos de Acero de México S.A. (T.A.M.S.A.) es la fabricación de tubos de acero sin costura para la industria petrolera principalmente. Las instalaciones con que cuenta actualmente TAMSA son: Planta de Fierro Esponja, Acería-1, Acería-2, Fábrica de Tubos-1, Fábrica de Tubos-2, Fábrica de Estirado en Frío y Fábrica de Coples.

La demanda de mayor cantidad y mayor calidad por parte de los consumidores de sus productos, así como la necesidad de mantenerse a la vanguardia en cuestión tecnológica, obligaron a TAMSA a realizar su ampliación en 1982, instalando el Laminador Continuo a Mandril Retenido, el único en operación en el mundo, basado en el proceso perforador y MPM (Multitand Pipe Mill). Dicho laminador recibe su nombre del hecho de que su operación es continua, y que el mandril tiene velocidad controlada por un sistema mecánico.

Siendo la laminación de tubos de acero por medio de laminador a mandril retenido uno de los procesos más modernos y recientes y, además siendo el equipo instalado en la empresa T.A.M.S.A. el primero que se instaló en América, considero que es tema interesante a tratar puesto que la industria siderúrgica en México ocupa un lugar prominente en el desarrollo del país.

Los laminadores a mandril retenido existentes en el mundo y su gama de calibres se listan a continuación.

DALMINE, ITALIA 1978	4½" - 13 3/8"
TAMSA, MEXICO 1983	4½" - 10 3/4"
U.S. STEEL, E.U. 1983	4½" - 9 5/8"
ALGOMA STEEL, CANADA 1986	2 3/8" - 7 5/8"

NORTH STAR STEEL CO., E.U. 1987 4½" - 9 5/8"

SIDERCA, ARGENTINA 1988 4½" - 9 5/8"

VOLGOGRADO, URSS 1990 (?) 4½" - 16"

El objetivo general del trabajo de tesis es el hacer una actualización del sistema original a la realidad operativa de T.A.M.S.A., con el fin de que este documento contenga la información que se tenía en un principio, más la que se ha ido recabando a lo largo de los años que lleva en operación el laminador, con un caracter oficial dentro de la empresa.

Para ello se presenta un estudio del funcionamiento del laminador continuo a mandril retenido, para resaltar su importancia en la fabricación de tubos de acero sin costura, mediante un proceso más eficiente. El trabajo se limitará al estudio del proceso de laminación del acero considerando solamente el principio de operación de la maquinaria principal, sin tomar en cuenta los equipos auxiliares necesarios para su funcionamiento.

En la primera parte se proporciona una descripción muy sucinta del proceso de fabricación de tubos en el área de laminación en caliente.

En el segundo capítulo se trata un poco más en detalle el funcionamiento del laminador continuo a mandril retenido.

En los capítulos subsiguientes se hablará del modelo matemático utilizado para definir los parámetros de regulación y control del laminador continuo. Dicho modelo es el que utilizan todos los laminadores de este tipo en el mundo entero, con sus variantes para cada caso particular.

**LAMINACION DE TUBOS DE ACERO SIN COSTURA**

## FABRICA DE TUBOS-2

Las instalaciones de la Fábrica de Tubos-2 están concebidas para la fabricación de tubos de acero sin costura para la industria petrolera, en una gama de diámetros exteriores que van desde 114.3 mm (4½") a 273 mm (10 3/4"), a partir de barras de acero de sección redonda, con diámetros de 215, 270 ó 310 mm, procedentes de la Fábrica de Barras ó de la Acería de Colada Continua.

Para ello se cuenta con un laminador continuo a mandril retenido con una capacidad productiva de 425 000 toneladas anuales.

Los tipos de tubos principales que se fabrican son los siguientes:

Drill Pipe.- Tubería de perforación. Esta es utilizada en las perforaciones para llegar a los mantos petrolíferos.

Casing.- Tubería de revestimiento. Esta se coloca después de haber hecho la perforación y su finalidad es de contener las paredes del pozo.

Tubing.- Tubería de producción ó de extracción. Colocada en el interior de la tubería casing, sirve para la extracción del petróleo.

Line pipe.- Tubería de línea ó conducción. Como su nombre lo indica, ésta sirve para conducir los fluidos extraídos hasta la zona de distribución ó consumo.

La fábrica de tubos está bajo cinco naves con un total cubierto de 40 785 m<sup>2</sup> distribuidos de la siguiente manera:

a) Nave de corte y almacén de barras 6 390 m<sup>2</sup>

b) Nave de horno y subestación eléctrica	8 442 m <sup>2</sup>
c) Nave de laminación	9 558 m <sup>2</sup>
d) Nave de planos de enfriamiento y servicios	8 430 m <sup>2</sup>
e) Nave de almacén intermedio	7 965 m <sup>2</sup>

### PROCESO DE FABRICACION

El proceso que se describe a continuación es el de laminación en caliente.

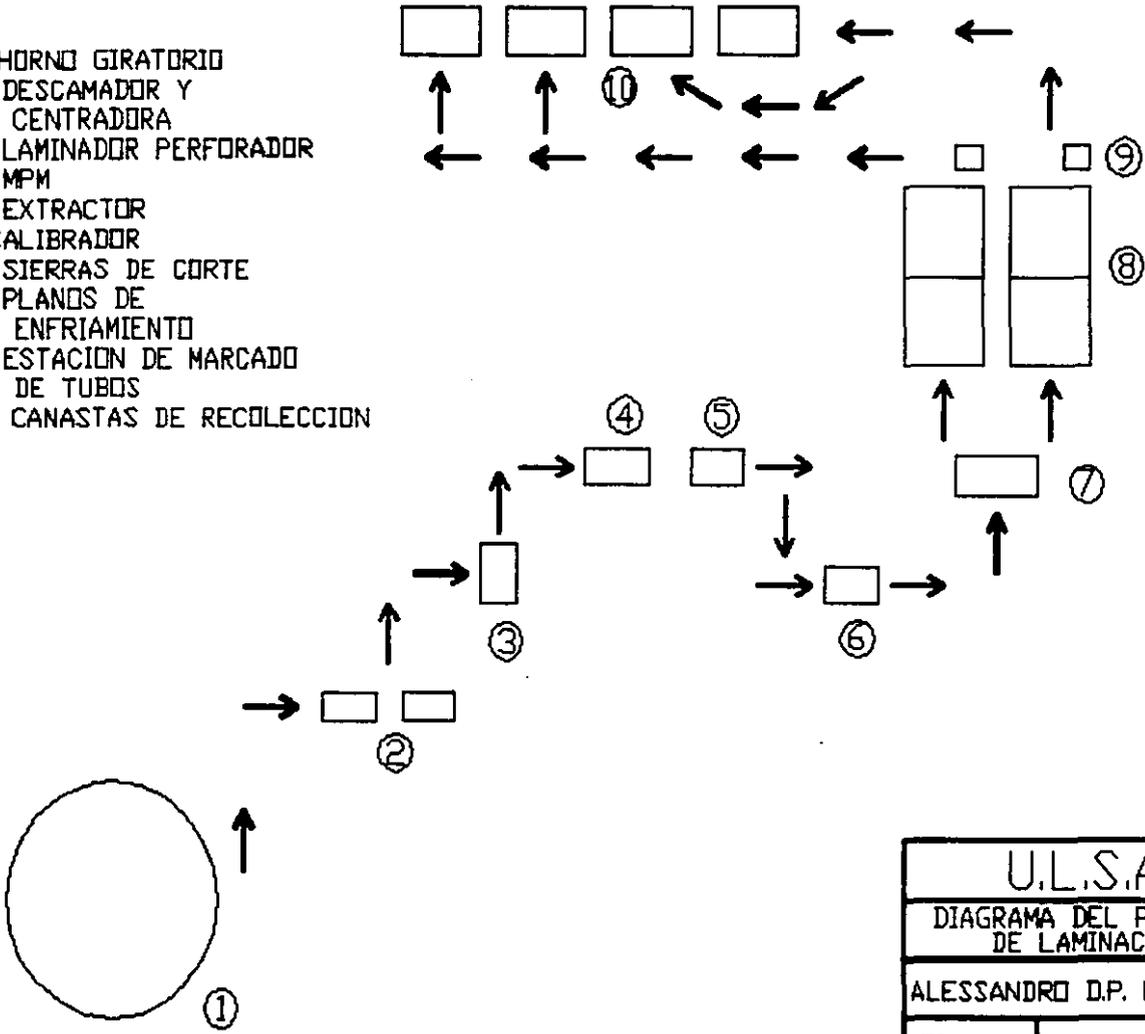
#### PATIO DE BARRAS

A este patio llegan las barras de la Fábrica de Barras ó de la Acería-2, estando clasificadas por el tipo de acero, el número de colada y el diámetro (calibre). La longitud de estas barras es generalmente un múltiplo de la longitud a la que se van a cortar para cargar el horno giratorio.

Posteriormente se colocan mediante grúas automotrices las barras en un bancal, éstas pasan a un carro transferidor para ser llevadas a la vía de entrada de la sierra. Con una cadena transferidora se conduce la barra hasta la sierra, se mide y se corta de acuerdo a la longitud necesaria de tubo a laminar.

Una vez cortadas, las barras reciben el nombre de tochos. Estos son estibados por número de colada, diámetro, tipo de acero y longitud, para posteriormente llevarlos a la mesa de carga del horno giratorio con una grúa viajera (el número de colada es una identificación del lote de fabricación del acero). Dicha mesa está inclinada para que el tocho ruede hasta un sistema de vigas móviles que lo llevan hasta

- 1.- HORNO GIRATORIO
- 2.- DESCAMADOR Y CENTRADORA
- 3.- LAMINADOR PERFORADOR
- 4.- MPM
- 5.- EXTRACTOR
- 6.- CALIBRADOR
- 7.- SIERRAS DE CORTE
- 8.- PLANOS DE ENFRIAMIENTO
- 9.- ESTACION DE MARCADO DE TUBOS
- 10.- CANASTAS DE RECOLECCION



U.L.S.A.		
DIAGRAMA DEL PROCESO DE LAMINACION		
ALESSANDRO D.P. PICONE M.		
FIG. 1.1	ESC: S/E	1988

# DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE LAMINACION TUBOS DE ACERO SIN COSTURA

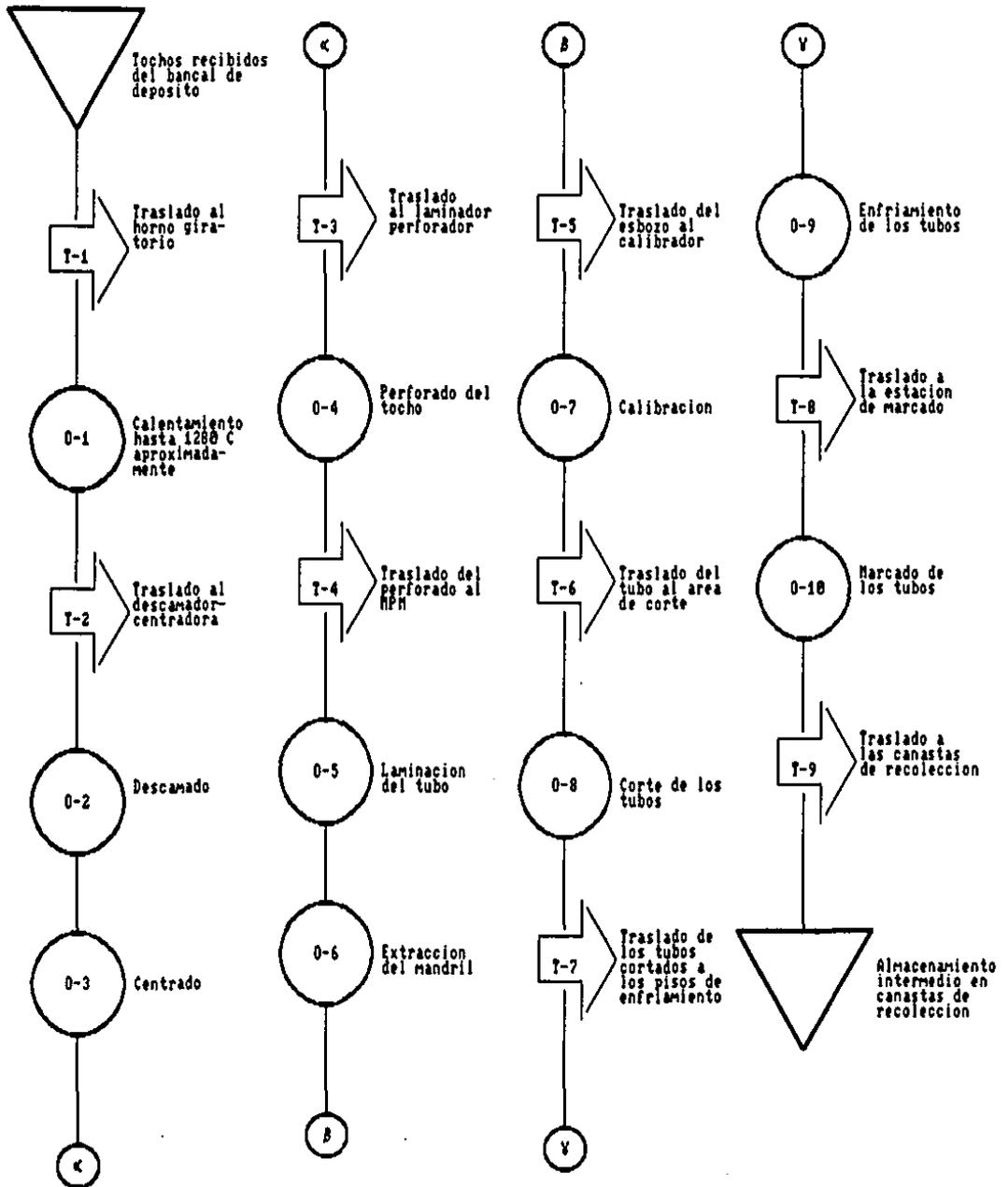


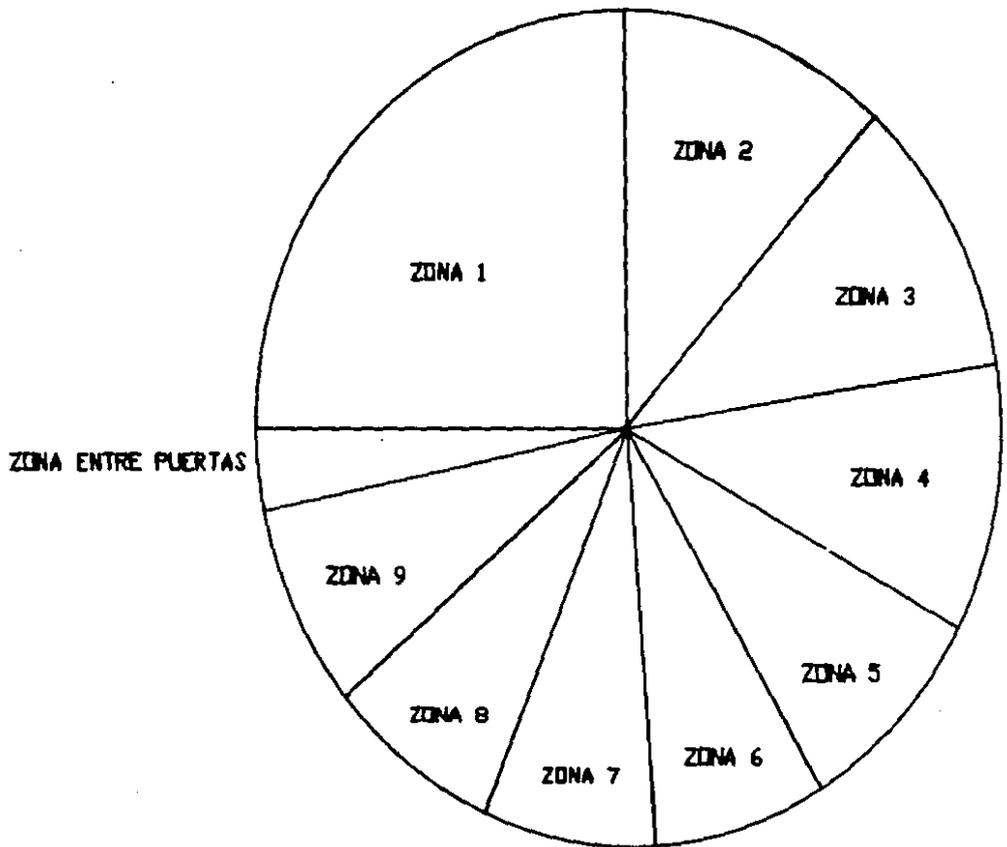
FIGURA 1.3

una báscula automática que registra el peso de cada tocho contabiliza piezas por colada y orden de producción, además de calcular teóricamente la longitud de cada tubo término de la laminación. Una vez pesado, el tocho es llevado hasta la entrada del horno por medio de un sistema de vigas móviles.

#### HORNO GIRATORIO

Al mismo tiempo que un tocho a temperatura ambiente es introducido, uno ya calentado es sacado por medio de un sistema de pinzas brazos de carga y descarga. El horno posee una suela giratoria de 38.5 m de diámetro y está subdividido en nueve zonas de calentamiento, desde temperatura ambiente hasta la temperatura de laminación de aproximadamente 1280°C. La capacidad productiva es de 160 ton/hr de barras de longitud máxima de 5 m. A continuación se describen las nueve zonas del horno.

ZONA	QUEMADORES (x10 )	AMPLITUD	TEMPERATURA
1	Precalentamiento sin quemadores	89.5°	600 a 700°C
2	3 de 3.02 Kcal/hr 1 de 2.27 Kcal/hr total 11.33 Kcal/hr	42°	1050°C
3	3 de 4.12 Kcal/hr 1 de 2.76 Kcal/hr total 15.12 Kcal/hr	39°	1100°C
4	3 de 4.12 Kcal/hr 1 de 2.76 Kcal/hr total 15.12 Kcal/hr	37°	1100°C
5	3 de 2.35 Kcal/hr 1 de 1.77 Kcal/hr total 8.82 Kcal/hr	31°	1200°C
6	3 de 2.02 Kcal/hr 1 de 1.52 Kcal/hr total 7.58 Kcal/hr	27°	1270°C



U.L.S.A.	
ZONAS DE CALENTAMIENTO DEL HORNO GIRATORIO	
ALESSANDRO D.P. PICONE M.	
FIG. 1.4	ESC: S/E 1988

7	4 de 1.34 Kcal/hr 1 de 0.95 Kcal/hr total 6.31 Kcal/hr	27°	1270°C
8	4 de 1.07 Kcal/hr 1 de 0.76 Kcal/hr total 5.04 Kcal/hr	27°	1270°C
9	25 de 0.32 Kcal/hr total 8.00 Kcal/hr	28.5°	1280°C
Zona entre puertas 4 de 0.67 Kcal/hr		12°	1280°C
TOTAL 80.00 Kcal/hr		360°	

Cuando el tocho ha alcanzado la temperatura deseada es sacado del horno y depositado en la mesa de salida, para después ser conducido por una vía de rolos hasta el descamador.

#### DESCAMADOR

En la superficie del tocho se forma una capa de óxido debido a la atmósfera presente en el horno, dicha capa es nociva para el proceso de laminación por lo que es necesario eliminarla. Para lograr ésto, se hace pasar el tocho por un descamador constituido por un túnel de 5.6m de longitud con un anillo de espreas que generan chorros de agua a una presión de 180 atmósferas que inciden en la periferia del tocho.

#### CENTRADORA

Una vez limpio, el tocho es llevado a la centradora en donde se realiza un centrado de guía de 90 mm de diámetro y 60 mm de profundidad, utilizando un punzón que genera una presión de 110 toneladas.

A continuación se dan las características generales de

la centradora.

Fuerza de apriete	350 ton
Fuerza de punzonado	110 ton
Carrera del punzón	100 mm
Velocidad del punzón	100 mm/s

#### LAMINADOR-PERFORADOR

Estando centrado, el tocho es llevado por medio de un transportador de cadena hasta un canal en la entrada del perforador, aquí un cilindro empujador desliza el tocho hasta los dos cilindros de laminación accionados por dos motores y que trabajan oblicuamente entre sí (el ángulo varía de 8 a 12°). Los cilindros de laminación giran en el mismo sentido induciendo así al tocho a avanzar y al mismo tiempo a tener un movimiento giratorio.

Esta forma de laminar logitudinal y transversalmente genera el efecto Mannesmann, que consiste en una fractura interna en el eje longitudinal del tocho. Para controlar este efecto se posiciona entre los cilindros una punta que gira en el mismo sentido del material. De esta manera se logra un perforado con diámetro interior concéntrico y bien definido. La punta es acoplada a una barra conducida por un carro que actúa hacia adelante durante la laminación y se retrae para sacar el perforado hacia la salida.

Después de ser laminada la pieza recibe el nombre de perforado.

Durante la laminación el perforado sufre un alargamiento, llegando a obtener piezas de hasta 9.5 m de longitud con

una velocidad máxima de 1.2 m/s a la salida y una temperatura de 1200°C.

A la salida del perforador la pieza queda sobre una vía de rolos que la conduce a la estación de bórax, en donde se le insufla polvo de bórax distribuido por una corriente de Nitrógeno que a la vez elimina la escoria del interior. Mediante este proceso se evita la oxidación interior del perforado que generaría defectos en la superficie interior, además de dar una lubricación interna.

A continuación se dan las características generales del laminador-perforador.

Número de motores	2
Potencia de cada motor	3550 Kw/D.C.
Velocidad de rotación	45/110 rpm
Longitud mín/máx del tocho	1500/5000 mm
Longitud mín/máx del perforado	3500/10000 mm
Diámetro mín/máx del tocho	170/330 mm
Diámetro mín/máx del perforado	180/350 mm
Diámetro de cilindros de laminación	950/1150 mm
Velocidad axial máxima	1.2 m/s
Temperatura del perforado	1200°C

#### LAMINADOR CONTINUO MPM

Ya terminada la insuflación del bórax se introduce el mandril al perforado. El mandril es una barra de acero recubierta de cromo para obtener un acabado óptimo en el interior del tubo. Antes de introducir el mandril se le recubre con laca grafitada con el fin de lubricar durante la laminación y facilitar su extracción después de la misma. El conjunto perforado-mandril es colocado en la entrada del MPM (Multi-stand Pipe Mill).

El laminador continuo puede considerarse como la máquina principal de todo el proceso. Posee siete pares de cilindros

laminadores contenidos en bastidores metálicos llamados Jaulas. Cada jaula está acoplada, por medio de una caja reductora, a un motor de corriente continua de velocidad variable. Las jaulas están dispuestas a 45° con respecto a la horizontal y a 90° entre ellas, logrando una laminación en dos planos perpendiculares.

Se tienen dos grupos de jaulas: el primero consta de tres jaulas que realizan las reducciones mayores, el segundo consta de cuatro que realizan reducciones menores. El proceso de laminación es gradual.

El diámetro interior del tubo viene dado por el mandril, mientras que el diámetro exterior es dado por la regulación de la separación de los cilindros de laminación. El mandril está sostenido por cinco jaulitas, localizadas a lo largo del laminador, que se abren a medida que avanza el material y se cierran cuando éste pasó para seguir sosteniendo y guiando el mandril.

El material es empujado hacia las jaulas por medio de un rodillo de arrastre (pinch-roll) localizado en la entrada del laminador, en donde existe también un descamador de agua de alta presión antes de la primera jaula y otro entre la primera y la segunda.

#### EXTRACTOR

A la salida del laminador se encuentra el extractor que, como su nombre lo indica, sirve para extraer el mandril del esbozo, así se le llama a la pieza semielaborada, para que pueda seguir avanzando hacia el calibrador.

El extractor consta de cuatro jaulas, similares a las del laminador, accionadas por dos motores de velocidad variable, uno para la primera y la tercera, el otro para la segunda y la cuarta.

#### CIRCUITO DE MANDRILES

El mandril está controlado por una cremallera que regula el avance rápido para el preenhebrado y el enhebrado del perforado, así como el avance lento durante la laminación y la retracción rápida del mandril al terminar la misma. Una vez que el mandril es extraído, empieza un proceso de enfriamiento, primero por dos túneles dotados de espreas rociadoras de agua, al mismo tiempo que se desplaza sobre una vía de rolos para llegar a las estaciones de enfriamiento externo e interno y alcanzar a una temperatura de 80 a 120°C, necesaria para poder aplicar el baño de laca grafitada. Completado este proceso el mandril está listo para poder laminar de nuevo. En este ciclo se tienen hasta 7 mandriles, cada uno en una fase distinta.

#### CALIBRADOR

Del extractor, el esbozo pasa al calibrador con la ayuda de un sistema de transferencia constituido por una vía de rolos a la salida del extractor, un transferidor de brazos rotantes y una vía de rolos a la entrada del calibrador. Dicho sistema sirve para recibir, en un momento dado, un tubo de la salida del extractor y tener un tubo a la entrada del calibrador. Además se obtiene una homogeneización de temperatura de todos los tubos mediante un temporizador, ya

que laminar a diferente temperatura entre ellos hace variar las medidas finales (1000 a 950°C).

El calibrador posee siete jaulas iguales a las del extractor. En las primeras, el esbozo sufre una reducción y ovalización, en cambio en las últimas recibe la calibración propiamente dicha.

Las características generales del calibrador son:

Número de motores	7
Potencia de cada motor	135 Kw/D.C.
Velocidad de rotación	600/1200 rpm
Diámetro de cilindros de laminación	720 mm
Velocidad máxima de laminación	2.5 m/s
Diámetro mín/máx del tubo	114/273 mm
Longitud máxima del tubo	34 m
Temperatura de salida (ideal)	950°C

En la página siguiente se muestra el diagrama general de deformación que sufre el material a lo largo del proceso.

#### CORTE EN CALIENTE

Los tubos pueden ser obtenidos en longitud sencilla ó doble. En el segundo caso, es necesario realizar un corte a fin de obtener los dos tubos por medio de una sierra circular para corte en caliente. En ambos casos se realizan cortes en los extremos del tubo, que varían de 250 a 400 mm, con dos sierras iguales a la anterior.

Las características generales son:

Número de sierras	3
Número de motores	3
Potencia de cada motor	135 Kw/D.C.
Velocidad de rotación	1200 rpm
Diámetro de las hojas	1800 mm
Espesor de las hojas	10 mm
Temperatura mínima de corte	750°C

## PISOS DE ENFRIAMIENTO

Los tubos que salen de la estación de corte llegan a los pisos de enfriamiento a una temperatura de aproximadamente 700°C. Se cuenta con dos conjuntos de pisos de enfriamiento, cada uno constituido por dos secciones. El enfriamiento se logra mediante un deslizamiento lento de los tubos por medio de un conjunto de catorce cadenas empujadoras; además se tiene un conjunto de dieciseis cadenas contrarotantes que provocan la rotación de los tubos para evitar deformaciones debido a la temperatura y obtener un enfriamiento uniforme.

Al final de los pisos de enfriamiento, se encuentra la estación de marcado, en donde se realiza la identificación del tubo a base de pintura con la ayuda de una mascarilla con caracteres intercambiables.

Después de haber sido marcado, el tubo pasa por una tina de enfriamiento que contiene agua a 35°C. Las tinas cuentan con estrellas selectoras, distribuidas longitudinalmente, que conducen el tubo por el fondo de la tina y lo expelen depositándolo en un plano inclinado que lo lleva a una vía de rolos.

Dicha vía conduce los tubos a las canastas finales, donde se forman conjuntos separados por número de colada. Se cuenta con un sistema de fotoceldas que determina la longitud de cada tubo, reportando el dato a un microprocesador que calcula su peso teórico y el número de tubos que pasa y, finalmente lo transmite a una impresora donde se registran los datos anteriores. De aquí los tubos pueden pasar a las canastas de entrega ó, si es necesario, a los bancales de

inspección.

Las características generales de los pisos de enfriamiento son:

Número de pisos	2
Número de secciones por piso	2
Número de motores por piso	3
Potencia de cada motor	1x 7.5 a 15 Kw/D.C. 2x 6.5 Kw/D.C.
Velocidad de rotación	1 de 900/1800 rpm 2 de 870 rpm
1ª sección	
Longitud	18 m
Ancho	15.5 m
Nº de cadenas de empuje	14
Nº de cadenas contrarotantes	16
2ª sección	
Longitud	20 m
Ancho	15.5 m
Nº de cadenas de empuje	14
Capacidad de cada piso	150 piezas

**CARACTERISTICAS DEL LAMINADOR  
CONTINUO Y EQUIPOS AUXILIARES**

## LAMINADOR CONTINUO A MANDRIL RETENIDO

El MPM consta de las siguientes partes:

- Bancal porta-jaulas
- Jaulas de laminación
- Jaulitas de soporte del mandril
- Guillotina de posicionamiento
- Descamadores
- Flechas
- Cajas reductoras desdobladoras

### BANCAL PORTA-JAULAS

El bancal porta-jaulas está realizado con estructuras de acero soldadas y, como su nombre lo indica, es donde están montadas las siete jaulas de laminación en posición transversal a 45°.

Para alinear las jaulas sobre la base, se utilizan lardones que se colocan en correspondencia con los soportes maquinados sobre las jaulas, alineándolos por medio de un dispositivo de lectura óptica. La alineación longitudinal de las jaulas se realiza mediante lardones laterales.

Además de las jaulas de laminación se encuentran montados sobre el bancal los dispositivos de bloqueo y desbloqueo de la jaula, el embrague de regulación de las chumaceras, el soporte de las flechas, la guillotina de posicionamiento del perforado, los descamadores y las jaulitas de soporte del mandril.

### JAULAS DE LAMINACION

Se tienen dos tipos de jaulas de laminación en el lami-

nador continuo: las jaulas desbastadoras (jaulas grandes) y las jaulas acabadoras (jaulas chicas). Las primeras son las que realizan las deformaciones mayores sobre el material a laminar.

Las jaulas están constituidas por un bastidor de acero en el que se montan las chumaceras portacilindros y los husillos de regulación principales. Sobre cada jaula, entre el husillo de mando y el cuerpo de la misma, está instalada una celda de carga que percibe la fuerza de separación entre los cilindros laminadores.

Para limitar las sobrecargas adicionales en la laminación se tienen unas ralas de seguridad montadas entre las chumaceras y los husillos superiores. Dichas ralas están realizadas con un juego de sectores cónicos montados sobre una cuña de cono central en dos semicarcasas, unidos entre ellos en un extremo y cerrados al otro por una palanca. El cierre de esta última se logra con un tirante roscado pivotante.

En caso de sobrecarga, la unión de la palanca de cierre, realizada mediante un perno ranurado de ruptura precalculada, se rompe y suelta los sectores, por lo tanto, el salto de los cilindros (distancia entre los cilindros) aumenta de forma tal a que ya no ejerzan fuerza sobre el material evitando el deterioro de los mismos.

Los cilindros de laminación y los ejes son una misma pieza de acero. Los ejes están sostenidos por dos rodamientos, de cuatro filas de rodillos cónicos, contenidos en las chumaceras de acero fundido. La alineación de los cilindros de laminación con respecto al eje vertical de la jaula es

garantizado por las tolerancias de los maquinados. En las chumaceras superiores son insertados unos cilindros hidráulicos que, actuando sobre las chumaceras inferiores a través de un vástago, permiten ajustar los juegos del eje de los husillos principales. La carrera de éstos cubre el desplazamiento de las chumaceras del interese mínimo a la máxima apertura de emergencia, permitiendo conservar el contacto entre el husillo y la chumacera.

Sobre el eje de los tornillos sinfin de los reductores de mando principales hay asientos cilindricos donde aloja el asta de indicación del embrague de la regulación de las chumaceras. Dicha asta es accionada por el semi-cople hembra, que hace parte de la regulación de las chumaceras, cuando las jaulas se montan en el bastidor.

#### JAULITAS DE SOPORTE DEL MANDRIL

A lo largo del bancal del MPM se tienen cinco jaulitas de soporte constituidas por tres rolos de autoalineación accionados por un sistema de palancas de mando oleodinámico, el conjunto soportado por una estructura de acero unida al bancal.

El fin de estas jaulitas es el de guiar, centrar y sostener el mandril, con respecto a los cilindros de laminación, en la fase de enhebrado y de retorno para evitar de dañar los cilindros y el mismo mandril.

La regulación de la posición de cierre de dichas jaulitas es automática para cualquier diámetro de mandril.

Al momento de llegar el material a la primera jaula de

laminación, la primer jaulita se abre para permitir el paso del mismo; cuando éste haya pasado la jaulita se cierra. Las jaulitas siguientes actúan de la misma manera.

#### GUILLOTINA DE POSICIONAMIENTO

La guillotina está constituida por un bastidor de placas soldadas en el que desliza, sobre lardones de bronce, la placa porta-guillotina, que es levantada por un sistema oleodinámico. El bastidor de la guillotina está fijado a la parte delantera del bancal del MPM, y es de fácil sustitución ya que hay que cambiar de guillotina al cambiar de calibre de mandril.

La función de la guillotina es de detener el perforado al momento de hacer la inserción del mandril. Una vez terminada la inserción, la guillotina baja para poder permitir el paso del perforado.

#### DESCAMADORES

Antes de la primer jaula de laminación, y entre la primera y la segunda, se tiene un descamador que es un anillo con espreas en su parte interior que echan chorros de agua a presión, con el fin de eliminar la cascarilla que se forma en la superficie del perforado que dañaría los cilindros de laminación y provocaría un mal acabado del tubo.

Estos descamadores entran en función en el momento que la guillotina baja para permitir el paso del material.

#### FLECHAS

Las flechas son del tipo dentado y telescópico y son

accionadas por las cajas reductoras desdobladoras. Los manguitos a lado del reductor están acoplados con el cilindro de laminación. El costado exterior de las flechas está provisto de una brida que permite el regreso del cople macho que es insertado en el manguito del lado del cilindro. Un resorte montado al exterior de las dos semiflechas, comprimido en fase de desenganche, facilita el embrague de las flechas.

#### CAJAS REDUCTORAS DESDOBLADORAS

Las jaulas de laminación 1,2,3 y 4 son accionadas por sendos pares de motores acoplados mecánicamente, mientras las jaulas 5,6 y 7 por un motor cada una. Cada jaula tiene su propio mando.

Los motores están dispuestos a 45° con respecto a la horizontal y son de corriente continua para permitir la regulación de la velocidad.

La transmisión de movimiento de los motores a las jaulas se logra mediante unas cajas reductoras desdobladoras, colocadas a 45° con respecto al plano horizontal. Dichas cajas contienen engranajes de acero aleado y tratado térmicamente. Los ejes de transmisión giran sobre rodamientos y son lubricados por un sistema de aceite centralizado.

#### Datos técnicos del MPM

Perforado en entrada			
Diámetro exterior	máximo	.....	340 mm
	mínimo	.....	180 mm
Diámetro interior	máximo	.....	283 mm
	mínimo	.....	117 mm
Largo	máximo	.....	10 000 mm
	mínimo	.....	3 500 mm
Tubo en salida			

Diámetro exterior máximo .....	287	mm
Diámetro exterior mínimo .....	150	mm
Espesor máximo .....	35	mm
Espesor mínimo .....	4.7	mm
Largo máximo aprox. ....	32 000	mm

**Cilindros de laminación**

Jaulas 1,2,3 .....		
Diámetro nominal de los cilindros, máximo .....	800	mm
Diámetro nominal de los cilindros, mínimo .....	540	mm
Ancho del cilindro .....	450	mm
Jaulas 4,5,6,7 .....		
Diámetro nominal de los cilindros, máximo .....	690	mm
Diámetro nominal de los cilindros, mínimo .....	540	mm
Ancho del cilindro .....	400	mm

**Interjes**

Entre las jaulas 1-2 .....	1 500	mm
Entre las jaulas 2-3 .....	1 965	mm
Entre las jaulas 3-4 .....	1 500	mm
Entre las jaulas 4-5 .....	1 965	mm
Entre las jaulas 5-6 .....	1 660	mm
Entre las jaulas 6-7 .....	1 400	mm
Distancia máxima entre los cilindros de laminación		
Jaulas 1,2,3 .....	960	mm
Jaulas 4,5,6,7 .....	890	mm
Largo total del MPM aprox. ....	10 000	mm

**Mando**

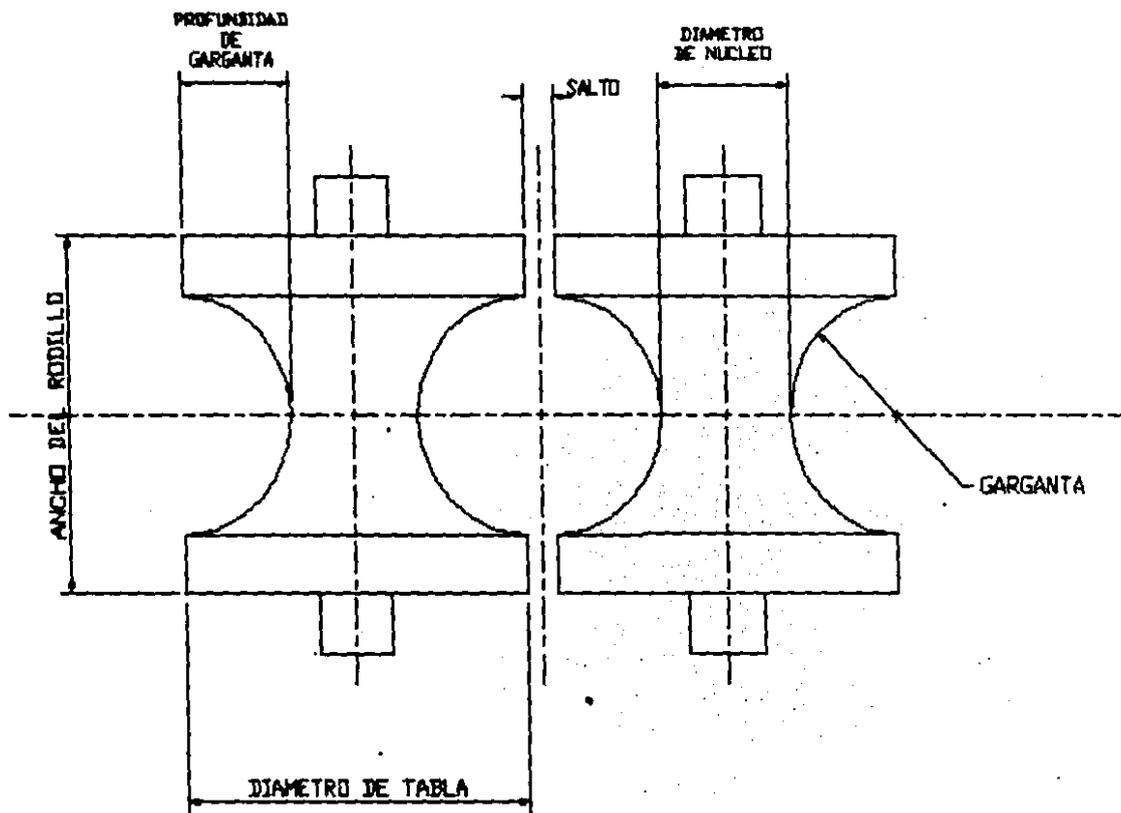
Número de motores		
Jaulas 1,2,3,4 .....	2	
Jaulas 5,6,7 .....	1	
Potencia de cada motor		
Jaulas 1,2,3,5 .....	1 400	KW
Jaulas 4,6,7 .....	1 100	KW
Gama de velocidad potencia constante .....	480/1200	rpm
Voltaje nominal		
Jaulas 1,2,3,5 .....	660	V
Jaulas 4,6,7 .....	660	V

**Relación de transmisión de las cajas reductoras**

Caja de la jaula 1 .....	11.68
Caja de la jaula 2 .....	8.20
Caja de la jaula 3 .....	5.24
Caja de la jaula 4 .....	4.09
Caja de la jaula 5 .....	4.09
Caja de la jaula 6 .....	3.80
Caja de la jaula 7 .....	3.80

**Condiciones de funcionamiento**

Velocidad de laminación .....		
En entrada máxima .....	1.6	m/s
En salida máxima .....	5.25	m/s
Producción máxima .....		
Calibre 177 .....	97	pzas/hora
Calibre 231 .....	90	pzas/hora



U.L.S.A.		
RODILLOS LAMINADOR MPM		
ALESSANDRO D.P. PICONE M.		
FIG. 2.3	ESC: S/E	1988

	288	.....	80 pzas/hora
Alargamiento máximo y espesor mínimo			
Calibre	177	.....	5.6 veces, 4.70 mm
	231	.....	5.8 veces, 4.85 mm
	288	.....	5.7 veces, 5.40 mm

#### CIRCULACION DE MANDRILES

El sistema de circulación de mandriles se encarga de manejar y lubricar los mandriles para laminar. Su finalidad es la de enfriar los mandriles hasta una temperatura entre 80 y 120°C para poder aplicar la laca grafitada de lubricación.

Los mandriles que retornan después de laminar en el MPM, se encuentran a una temperatura aproximada de 600°C, pasan por una vía de rolos motorizados que los conducen a través de un túnel de enfriamiento. Después se transfieren, mediante un sistema de levas, a un primer rodador, con su respectivo sistema de enfriamiento, pasando después a un segundo rodador.

Posteriormente se depositan los mandriles en una cadena dirigida hacia la estación de lubricación, y de otra a la salida para esperar la preinserción en el perforado. La preinserción se logra mediante una cadena dotada de topes para empujar e introducir el mandril en el perforado.

Una vez hecha la preinserción, un grupo de brazos rotantes deposita el conjunto mandril+perforado en el eje de laminación. Simultáneamente el mandril ya utilizado es desalojado del eje de laminación para empezar su enfriamiento.

#### Características de los mandriles

Diámetro máximo	.....	275 mm
mínimo	.....	110 mm



Velocidad máxima en la fase de inserción y retorno veloz .....	4.4	m/s
Velocidad de retención (min/max) .....	0.6/1.2	m/s
Número de motores de c.c. ....	8	
Potencia de cada motor .....	350	KW
Gama de velocidad .....	460/1530	rpm
Voltaje nominal .....	350	V

### EXTRACTOR

El extractor consta de un bancal de estructuras soldadas, sobre del cual están cuatro jaulas dispuestas a 45° con respecto al plano horizontal detenidas con un sistema de bloqueo. Además cuenta con los dispositivos de regulación de los cilindros y de los rolos de soporte de flechas.

Los cilindros de las jaulas del extractor son independientes de sus ejes y son accionadas por dos motores, uno para las jaulas 1 y 3 y el otro para las jaulas 2 y 4. Los motores son de corriente continua para poder permitir la regulación de la velocidad.

Cuando la punta del esbozo llega a la primera jaula, éste es jalado para seguir a las otras jaulas y la cremallera entra en su fase de retorno. Al pasar por el extractor el esbozo sufre otra reducción en diámetro y otra elongación muy ligeras.

#### Datos técnicos del extractor

Tubos en entrada		
Diámetro exterior	máximo .....	288 mm
	mínimo .....	177 mm
Espesor	máximo .....	35 mm
	mínimo .....	4.25 mm
Tubos en salida		
Diámetro exterior	máximo .....	278.6 mm
	mínimo .....	114.3 mm
Espesor	máximo .....	35.3 mm
	mínimo .....	5.5 mm
Jaulas de laminación		
Número de jaulas .....		4



## MODELO MATEMATICO

El modelo matemático que se presenta en este trabajo es la base de varias herramientas que se utilizan en la parte teórica del proceso de producción de los tubos de acero, para poder luego realizar la parte práctica. Este modelo es el resultado de la adaptación que se realizó del modelo original proporcionado por DALMINE S.P.A., el cual consistía de los programas:

- DIAL03, que proporcionaba las hojas de regulación.
- SETMPM, que presentaba datos.
- PROCAL, que no era aplicable al cien por ciento a T.A.M.S.A..

La etapa mencionada era una fase teórica de la instalación del laminador continuo en T.A.M.S.A.. La fase siguiente fué la adaptación del sistema original a la realidad operativa de T.A.M.S.A., generando así los programas siguientes:

- DIAL03, que se complementó con programas auxiliares de regulación y control para obtener una retroalimentación en la información.
- SETMPM, se convirtió en modelo de simulación para adaptar datos y normar criterios.
- PERFIL, que es la reestructuración del programa PROCAL

La primera herramienta es el Modelo en Línea, el cual incluye en el programa las limitaciones físico-mecánicas del equipo disponible. El programa que realiza las tareas de este modelo es el programa DIAL03. Este modelo es el que calcula los valores de:

- Hoja de regulación MPM.
- Referencias para estadística del proceso
- Datos de control para referencia de los microprocesadores 1 y 2. (dichos microprocesadores sirven para controlar la velocidad de los motores, la velocidad de la cremallera, alarmas de proceso, etc..)

La segunda es el Modelo fuera de Línea, programa SETMPM, el cual se utiliza para hacer simulaciones con variaciones sin limite, lo que permite de conocer el comportamiento del equipo si se necesitara hacer cambios en alguna de las variables o en parámetros adaptativos.

Este modelo calcula los siguientes aspectos:

- Hoja de regulación
- Valores geométricos
- Valores dinámicos
- Valores relativos al mandril
- Espesor y elongaciones

La tercera es el programa PERFIL, que realiza el diseño de calibraciones para mejora y cálculo de nuevos productos.

Este programa proporciona los siguientes datos:

- Valores geométricos
- Datos para el dibujo de plantillas
- Datos para efectuar dibujos por plotter
- Espesor y elongaciones

El programa PERFIL es el que se encarga de calcular los valores de archivos de datos acerca de los diferentes calibres (ARCA), los archivos de datos acerca de los diferentes mandriles (ARMA), y los archivos de datos de temperaturas

(ARTE). Para cada archivo ARCA pueden existir hasta quince archivos ARMA y cuatro archivos ARTE.

Los programas DIAL03 y SETMPM utilizan los archivos anteriores para cumplir con su objetivo.

La computadora en la que se encuentra residente el sistema, codificado en lenguaje FORTRAN, es una PDP-11/24 de DIGITAL.

El modelo matemático se puede esquematizar en los seis bloques, que se mencionan a continuación.

A) Datos de entrada.

Según la frecuencia de cambio, se dividen en:

- Datos fijos (de equipo)
- Datos semifijos (de archivo)
- Datos variables (específicos a cada tubo)

B) Programa de cálculo de datos geométricos.

Está desarrollado en dos partes y determina todos los parámetros geométricos (sección del tubo en la jaula, elongaciones, velocidad del tubo entre las jaulas, etc.).

C) Programa de cálculo de datos del mandril.

Determina la velocidad y las posiciones del mandril.

D) Programa de cálculo de datos dinámicos.

Determina, basándose en un modelo que simula la laminación, todos los valores asociados al proceso de deformación del material (fuerza de separación, pares, potencia).

E) Programa de cálculo de regulaciones mecánicas.

Proporciona los valores para regular los diversos mecanismos del MPM (Cierre jaulitas, Rolos de soporte del perfo-

**DIAGRAMA DE BLOQUES  
DEL MODELO MATEMATICO DEL MPM**

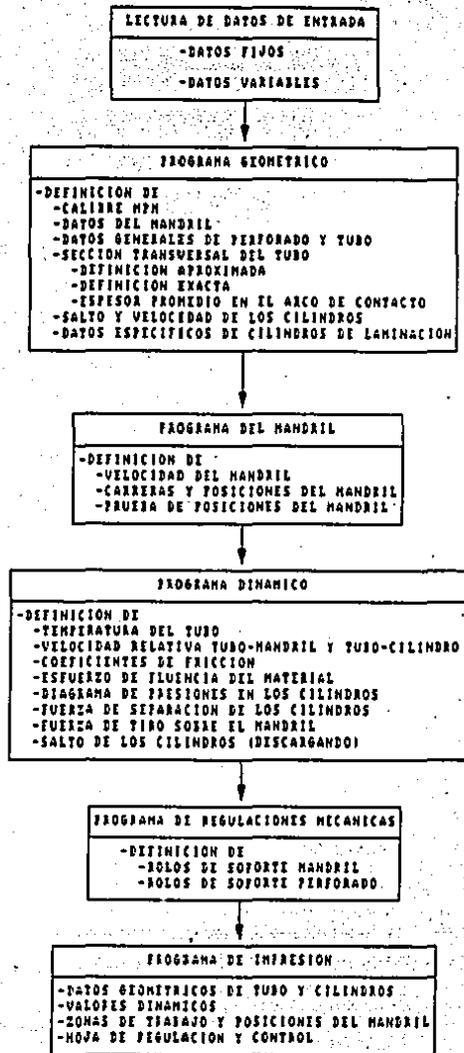


figura 3.1

rado, levantamiento de rolos de soporte mandril, etc.).

F) Programa de impresión.

Como su nombre lo indica, imprime los elementos calculados en los incisos anteriores.

- Hojas de regulación y control.
- Tabla de valores geométricos.
- Tabla de valores dinámicos dinámicos.
- Tabla de control de zonas de trabajo del mandril.

En la figura (3.1) se presenta el diagrama de bloques del modelo matemático del MPM.

DATOS DE ENTRADA

El programa general está organizado de tal manera que permita la utilización de tres calibres en DIAL03 y hasta 9 en SETMPM, siete jaulas en el MPM, cuatro jaulas en el extractor y quince mandriles por cada calibre.

A continuación se listan los datos con su nomenclatura utilizados en este programa.

a) Datos fijos

CAVM (7,3)	Caída velocidad motores
CF1	Coefficiente correctivo de resistencia del material (considera la geometría curva con la que sucede la deformación).
CF2	Coefficiente para cálculo fricción material-cilindros MPM (función de la rugosidad superficial de los cilindros).
CF3	Coefficiente para cálculo fricción material-mandril (función de la lu-

	bricación del mandril).
CF4	Coefficiente correctivo tiro sobre el mandril.
CF6	Coefficiente que define la longitud de contacto tubo-mandril a la salida de las jaulas del MPM (para cálculo tiro sobre el mandril a la salida jaulas).
CSALTE (3,4)	Saltos nominales cilindros EXTR (mm)
CSALTM (7,3)	Saltos nominales cilindros MPM (mm)
DICA (7,3)	Diámetros de calibración (mm)
D1MEE (3,4)	Diámetros medios extractor (mm)
D2MEE (3,4)	
ECC (7,3)	Excentricidad (mm)
ITOE (3)	Tolerancia peso carga (Kg)
RR2 (7,3)	Radios de flanco (mm)
SRIF (3), VRIF (3)	Espesor y velocidad de referencia para definir temperatura tubo en MPM
TEME	Temperatura superficial externa del tubo (°C)
TEMI	Temperatura superficial interna del tubo (°C)
THETA (7,3)	Angulos que definen la sección de garganta del cilindro
GAMMA (7,3)	
BETA (7,3)	
VM (20,3)	Diámetros nominales del mandril (mm)
VM1 (40,20,3)	Parámetros asociados a cada mandril

b) Datos semifijos

DIACM (7,3)	Diámetros tabla cilindros MPM (mm)
DIACE (4,3)	Diámetros tabla cilindros extractor (mm)
NG	Número de jaulas de laminación
NGF	Número de interejos de flotación

c) Datos variables (especificos de cada tubo)

SPUM	Espesor MPM (mm)
PLUM	Longitud MPM (mm)
VU	Velocidad de salida (mm/s)
DIMA	Diámetro nominal mandril (mm)
TUDIA	Diámetro tubo terminado (mm)
SPEFI	Espesor tubo terminado (mm)

NOTAS

El indice 3 individúa los parámetros asociados a los tres calibres.

El indice 4 individúa los parámetros asociados a las cuatro jaulas del extractor.

El indice 7 individúa los parámetros asociados a las siete jaulas del MPM.

Existe una serie de datos fijos que no se memorizan por nombre de variables sino que se insertan directamente en el programa de cálculo. Estos son:

-Coeficientes para el cálculo de la resistencia a la deformación en función de la temperatura, grado de deformación, velocidad de deformación;

-Datos específicos del equipo como interjes de las jaulas, relación de transmisión.

La alteración de alguno de éstos implica la recompilación del programa.

En las tablas siguientes se listan las variables que localizadas en los archivos ARCA, ARMA y ARTE con su espacio asignado en memoria.

Archivo: ARCA  
 Dialogo: DIAL3  
 Lunbuff: 512 Bytes  
 Records: 9

<u>No. VARIABLE</u>	<u>BYTE</u>	<u>VAR. TRAB.</u>	<u>TIPO</u>	<u>DESCRIPCION</u>
1-7	(1..28)	CAVM(1..7)	Rw4	Caída velocidad motores MPN
8-14	(29..56)	DICA(1..7)	Rw4	Altura del paso MPN
15-21	(57..84)	EECC(1..7)	Rw4	Excentricidad Jaulas MPN
22-28	(85..112)	TH(1..7)	Rw4	Theta angulo amplitud fondo de garganta MPN
29-35	(113..140)	RR2(1..7)	Rw4	Radio de flanco MPN
36-42	(141..168)	GA(1..7)	Rw4	Gamma angulo amplitud flanco MPN
43-49	(169..196)	BE(1..7)	Rw4	Betha angulo separacion material cilindro MPN
50-56	(197..224)	CSALTM(1..7)	Rw4	Salto nominales
57	(225..228)	EMD	Rw4	Diametro maximo uso serie W1
58-61	(229..244)	F11(1..4)	Rw4	Diametro fondo de garganta Extractor (vertical) Serie W1
62-65	(245..260)	F12(1..4)	Rw4	Diametro en correspondencia salto Extractor (horizontal) Serie W1
66-69	(261..276)	CSALTE(1..4)	Rw4	Salto nominales extractor Serie W1
70-73	(277..292)	F111(1..4)	Rw4	Diametro fondo de garganta extractor (vertical) Serie W2
74-77	(293..308)	F122(1..4)	Rw4	Diametro en correspondencia salto Extractor (horizontal) Serie W2
78-81	(309..312)	DSALT	Rw4	Salto nominales extractor Serie W2
82	(313..328)	LIBRE	Rw4	
83-97	(329..388)	UN(1..15)	Rw4	Tabla de diametro de mandriles
98	(389..392)	SRIF	Rw4	Espesor de referencia para la seleccion de temperatura
99	(393..396)	VRIF	Rw4	Velocidad de referencia para la seleccion de temperatura
100	(397..400)	VHAX	Rw4	Velocidad maxima de retencion
101	(401..404)	DTOCH	Rw4	Diametro de tocho
102-103	(405..412)	RDIA(1..2)	Rw4	Diametro nominal serie W1 Diametro nominal serie W2
104-107	(413..428)	F11L(1..4)	Rw4	Diametro fondo de garganta (vertical) Calibre extractor Serie W1
108-111	(429..444)	F12L(1..4)	Rw4	Diametro correspondiente Salto (horizontal) Serie W1
112-115	(445..460)	SALL(1..4)	Rw4	Salto nominal para calibrar al extractor Serie W1
116-119	(461..476)	F11C(1..4)	Rw4	Diametro fondo de garganta (vertical) Calibre extractor Serie W2
120-123	(477..492)	F12C(1..4)	Rw4	Diametro correspondiente Salto (horizontal) Serie W2
124-127	(493..508)	SALC(1..4)	Rw4	Salto nominal para calibrar al extractor Serie W2
128	(509..512)		Rw4	Calibre

Archivo: ARMA  
 Dialogo: DIAL3  
 Lunbuff: 160 Bytes  
 Records: 135

<u>No. VARIABLE</u>	<u>BYTE</u>	<u>VAR. TRAB.</u>	<u>TIPO</u>	<u>DESCRIPCION</u>
1	(1..4)	FINAN	R#4	Diametro del mandril
2-7	(5..32)	AGRMPN(1..7)	R#4	Factor de arrastre por jaula MPM
9-10	(33..40)	AGREXT(1..2)	R#4	Factor de arrastre Extractor
11-17	(41..68)	CFORSA(1..7)	R#4	Factor de fuerza de separacion MPM
18-24	(69..96)	CCOPI(1..7)	R#4	Factor de corrientes y potencias MPM
25-29	(97..116)	SALTEN(1..5)	R#4	Factor de saltos MPM
30	(117..120)	UTUD	R#4	Velocidad de salida MPM
31	(121..124)	CORVEL	R#4	Factor de correccion de velocidad MPM
32-40	(125..160)		R#4	Libre

Archivo: ARTE  
 Dialogo: DIAL3  
 Lunbuff: 64 Bytes  
 Records: 36

<u>No. VARIABLE</u>	<u>BYTE</u>	<u>VAR. TRAB.</u>	<u>TIPO</u>	<u>DESCRIPCION</u>
1-7	(1..20)	TENSE(1..7)	R#4	Temperatura externa por jaula MPM
8-14	(29..56)	TENSI(1..7)	R#4	Temperatura interna por jaula MPM
15-16	(57..64)		R#4	Libre

## PROGRAMA GEOMETRICO

El objeto de este programa es el determinar los siguientes puntos:

- Sección del tubo en relación con las jaulas.
- Elongaciones.
- Arcos y longitudes de contacto tubo-cilindro y tubo-mandrill.
- Velocidad del tubo entre las jaulas.
- Saltos de los cilindros de laminación.
- Velocidad de los cilindros de laminación.

El programa se basa en el criterio de flujo másico constante de material bajo las distintas jaulas, es decir, que la cantidad de material que pasa bajo una jaula dada por unidad de tiempo es constante para todas las jaulas.

Este programa está dividido en dos partes, que son:

1.- Determinación de las secciones del tubo bajo las distintas jaulas y de los espesores equivalentes en entrada y salida de cada jaula.

2.- Definición de los valores de regulación (saltos y revoluciones) y de varios valores geométricos (Diámetro fondo de garganta, ángulo de ataque, tiempo de laminación y llenado, etc.).

A continuación se listan las variables utilizadas por este programa.

Valores fijos

CAL1, CAL2, CAL3

Valores para determinar el calibre  
MPM (mm)

DISTAG (7)

Distancia entre ejes laminador (mm)

LL	Distancia total entre ejes del laminador (función del número de jaulas empleadas) (mm)
NG	Número de jaulas de laminación
NGMAX	Número máximo de jaulas
TRAM (7)	Relaciones de transmisión
VMAX	Velocidad máxima del mandril

Variables geométricas generales (perforado, tubo)

ALLFOR	Longitud perforado (mm)
ALLUNG	Elongación MPM
DIMA	Diámetro mandril (mm)
FIUM	Valor efectivo diámetro externo a la salida del MPM (mm)
IDEFE	Diámetro externo (mm)
IDIFE	Diámetro interno (mm)
INDIC	Indice para identificar el calibre
IPESO	Peso del perforado (Kg)
K1	Indice para identificar el mandril
PORTAT	Caudal material (mm /s)
REFOR	Radio externo del perforado (mm)
SEZFOR	Sección del perforado (mm <sup>2</sup> )
SPEFO	Espesor del perforado (mm)
SPENO	Espesor nominal (mm)
SPUM	Espesor medio de salida (mm)
VARIAS (7)	Variación del salto (mm)
VEMPM	Velocidad de entrada 1ª jaula (mm/s)
VM1(I, K1, INDIC)	Vector datos mandril

## Variables geométricas de calibración

ALEQ (7)	Elongación calculada en el arco de contacto
ALFA1 (7)	Angulo de flanco (rad)
ALFA2 (7)	Angulo separación tubo-mandril (rad)
ALFA3 (7)	Angulo separación tubo cilindro(rad)
ALL (7)	Elongación del tubo bajo las distintas jaulas (sección completa)
AREAST	Area en correspondencia con el ángulo de separación tubo-mandril (mm <sup>2</sup> )
AST	Area hueca entre tubo y mandril en correspondencia del salto de cilindros (mm <sup>2</sup> )
DISCI	Distancia puntos externos tubo al origen (mm)
DISCO	Distancia puntos internos tubo al origen (mm)
ECC	Excentricidad (mm)
ELE0-ELE3	Elementos de área para cálculo del espesor equivalente a la salida (arco contacto tubo mandril) (mm <sup>2</sup> )
R	Medio calibre (mm)
R1	Radio de garganta (mm)
R2	Radio de flanco (mm)
R3	Radio del tubo en el salto (mm)
SEZ (7)	Sección efectiva del tubo (mm <sup>2</sup> )
SEZ1-SEZ6	Elementos de área que componen la sección llena (mm <sup>2</sup> )
SEZP	Sección llena comprendida entre los perfiles de los cilindros (mm <sup>2</sup> )
SEZT	Sección tubo (1ª aproximación)(mm <sup>2</sup> )
SPEQE (7)	Espesor equivalente en entrada de la jaula (mm <sup>2</sup> )
SPEQU (7)	Espesor equivalente de salida de la jaula (mm <sup>2</sup> )

SPESO (7,91)	Espesores calculados en sentido radial (grado por grado) (mm)
D1, E1, F1 D2, E2, F2 D3, E3, F3	Coefficientes circunferencia de calibración (mm)
XC1, YC1 XC2, YC2 XC3, YC3	Coordenadas centros circunferencias de calibración (mm)

Variables de tiempo y velocidad

TPASSG	Tiempo de laminación (seg)
TPG (7)	Tiempo de paso entre jaula y jaula (seg)
TRIEMP	Tiempo de llenado
VG (7)	Velocidad del tubo a la salida de cada jaula (seg)

Variables geométricas de los cilindros

ALFG (7)	Elongación en el fondo de garganta
ANGL (7)	Angulo de ataque en fondo de garganta (rad)
CSALTM (7)	Salto nominal de los cilindros (mm)
DCFG (7)	Diámetro de fondo de garganta de los cilindros (mm)
DIACM (7)	Diámetro de cilindros (mm)
DICIL (7)	Diámetro ideal de cilindros (mm)
DIFG	Distancia fondo de garganta (calibre correcto de la variación del salto) (mm)
SPESFG (7)	Espesor del tubo en el fondo de garganta (mm)

Variables relacionadas a la velocidad de los cilindros

FITRA (7)	Diámetro de arrastre (mm)
GIRI (7)	Velocidad de los cilindros (rpm)

SCAVM (7)	Diferencia de velocidad entre vacío y carga (rpm)
VELMCM (7)	Velocidad de los motores en carga (rpm)
VELMVM (7)	Velocidad de los motores en vacío (rpm)

#### DETERMINACION DE LAS SECCIONES DEL TUBO

Para la determinación de la sección del tubo bajo la jaula se procede como se indica a continuación.

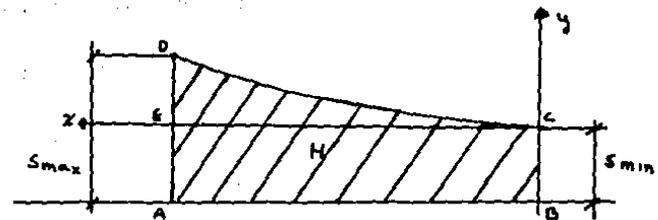
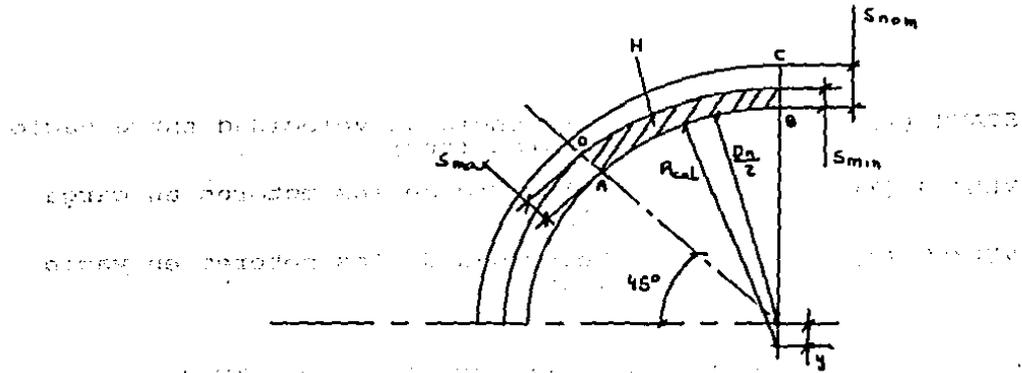
##### I) CALCULO DE LOS VALORES DE ABERTURA O CIERRE DEL SALTO DE LOS CILINDROS

El punto de referencia para la regulación de los saltos del MPM es el espesor medio equivalente de salida de la última jaula, en otras palabras, no se regula la máquina para obtener un valor específico de espesor en una posición precisa e identificable, sino que las regulaciones toman como referencia el espesor medio equivalente con limitaciones asociadas a las tolerancias máximas admisibles entre  $S_{max}$  y  $S_{min}$  en la misma sección.

El problema consiste en determinar una ley que asocie el espesor medio equivalente con la variación en el salto. Para ello se examinan solamente la 6ª y 7ª jaulas, ya que éstas definen el espesor del tubo; además dichas jaulas se abren o cierran la misma cantidad.

##### a) Regulación al cierre

En la figura siguiente se representa un sector del tubo con las variables involucradas.



Para la determinación de  $S_{med.eq.}$  se rectifica la sección  $H$ ; la curva  $DC$  se puede asimilar a una parábola con vértice en  $C$  y que pasa por  $D$ , cuya ecuación es:

$$y = ax^2 \tag{1}$$

Comsiderando  $AB=1$ , se tiene que  $a=DE= S_{max} - S_{min}$

Integrando la ecuación (1) entre  $A$  y  $B$ , es decir, entre 0 y 1, se obtiene:

$$\int_0^1 ax^2 dx = \left[ \frac{ax^3}{3} \right]_0^1 = a/3 = (S_{max} - S_{min})/3$$

Dicho valor equivale a la altura del rectángulo equivalente del área  $DEC$ , teniendo por base  $AB$ .

Por lo tanto:

$$S_{med.eq.} = S_{min} + (S_{max} - S_{min})/3 \tag{2}$$

De la figura

$$S_{min} = S_{nom} - y \quad (3)$$

$$S_{max} = S_{nom} - y \cdot \sin 45^\circ \quad (4)$$

Nota: El valor máximo del espesor se presenta a los  $45^\circ$  porque corresponde al fondo de garganta de la jaula anterior.

Substituyendo (3) y (4) en (2) se obtiene que el espesor medio equivalente al cierre es:

$$S_{med.eq.c.} = S_{nom} - 0.9023y \quad (5)$$

Conociendo  $S_{med.eq.c.}$  y  $S_{nom}$ :

$$y = (S_{nom} - S_{med.eq.c.}) / 0.9023 \quad (6)$$

En la figura (4.1) se representa la sección del tubo al cierre.

#### b) Regulación en abertura

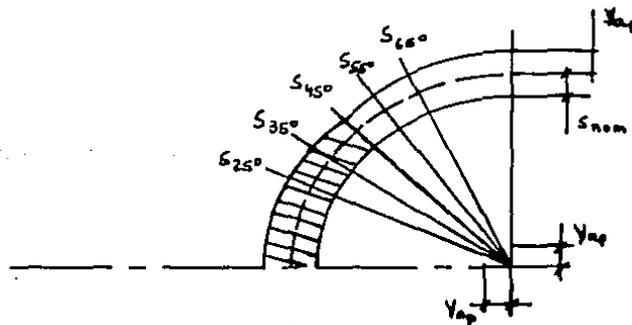
Cuando se abre el salto de los cilindros el espesor del tubo tiene un comportamiento como el que se muestra en la figura siguiente, donde:

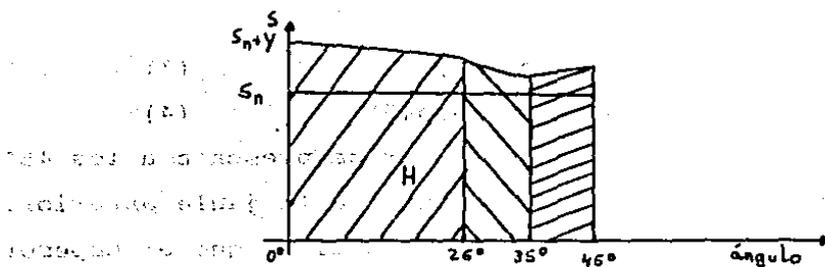
$$S(0^\circ) = S(90^\circ) = S_{nom} + y$$

$$S(65^\circ) = S(25^\circ) = S_{nom} + y \cdot \sin 65^\circ = S_{nom} + 0.9063y$$

$$S(35^\circ) = S(55^\circ) = S_{nom} + y \cdot \sin 35^\circ = S_{nom} + 0.5736y$$

$$S(45^\circ) = S_{nom} + y \cdot \sin 45^\circ = S_{nom} + 0.7071y$$





(Haciendo un análisis de las figuras anteriores, se puede observar que al aumentar en  $y$  el salto de los cilindros, la geometría del tubo obtenida tiene un desarrollo como sigue:

De  $0^\circ$  a  $25^\circ$  el espesor de la pared del tubo está definido por el fondo de garganta de la jaula 6.

De  $25^\circ$  a  $35^\circ$  el espesor de la pared del tubo está definido por el flanco de la jaula 7.

De  $35^\circ$  a  $45^\circ$  el espesor de la pared del tubo está definido por el fondo de garganta de la jaula 7.

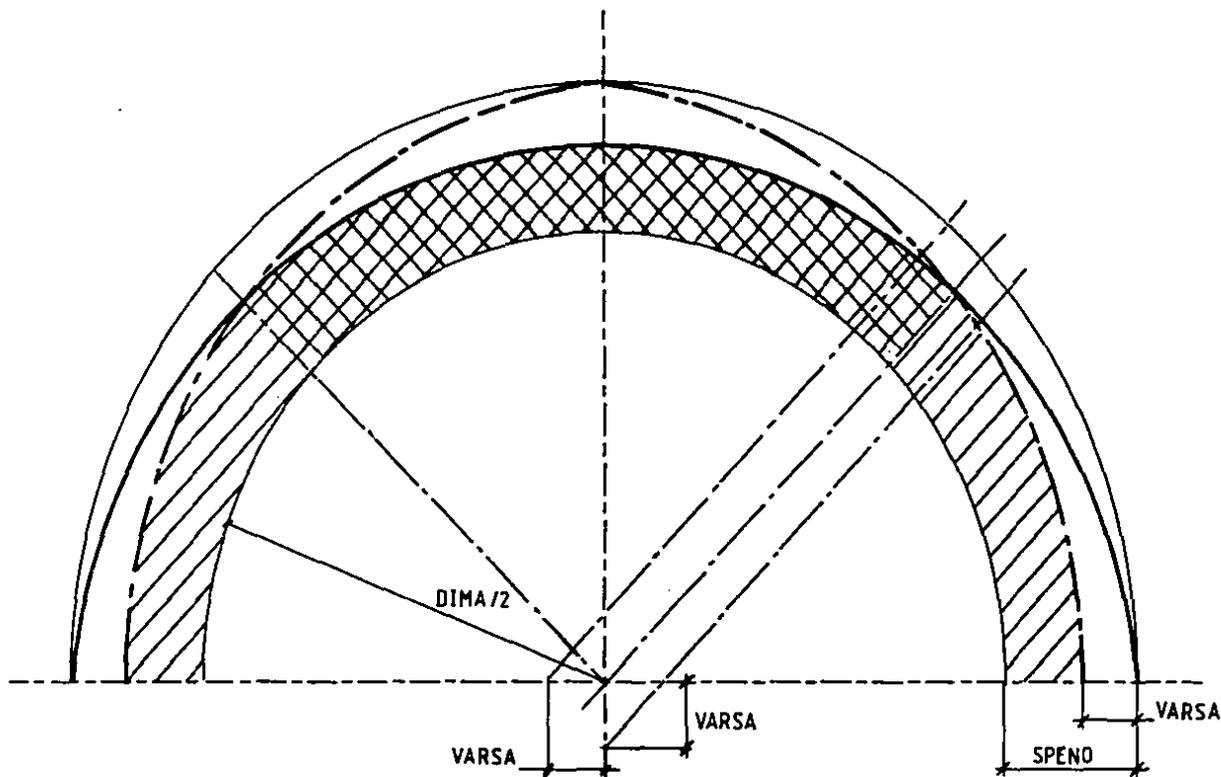
De  $45^\circ$  a  $55^\circ$  el espesor de la pared del tubo está definido por el flanco de la jaula 6.

De  $55^\circ$  a  $65^\circ$  el espesor de la pared del tubo está definido por el flanco de la jaula 6.

De  $55^\circ$  a  $90^\circ$  el espesor de la pared del tubo está definido por el fondo de garganta de la jaula 7.

Siguiendo el mismo razonamiento que se utilizó en el caso anterior sobre la rectificación de las secciones se obtienen los espesores medios equivalentes en los diferentes intervalos.

De  $0^\circ$  a  $25^\circ$



Perfil de la última jaula — · —  
 Perfil de la penúltima jaula — — —

$$\text{VARSA} = (\text{SPENO} - \text{SPLM}) / 0.9023$$

U.L.S.A.		
REGULACION AL CIERRE		
ALESSANDRO D.P. PICONE M.		
FIG. 4.1	ESC: S/E	1988



$$S_{med.eq.1} = S(25^\circ) + 2 \cdot [S_{nom} + y - S(25^\circ)]/3 \quad (7)$$

De  $25^\circ$  a  $35^\circ$

$$S_{med.eq.2} = S(35^\circ) + [S(25^\circ) - S(35^\circ)]/3 \quad (8)$$

De  $35^\circ$  a  $45^\circ$

$$S_{med.eq.3} = S(35^\circ) + 2 \cdot [S(45^\circ) - S(35^\circ)]/3 \quad (9)$$

Asumiendo como rectángulos de altura  $S_{med.eq.}$  y obteniendo un rectángulo equivalente a dichos rectángulos, el espesor medio equivalente de la sección entera será:

$$S_{med.eq.a.} = (25S_{med.eq.1} + 10S_{med.eq.2} + 10S_{med.eq.3})/45 \quad (10)$$

Substituyendo (7), (8) y (9) en (10) el valor del espesor medio equivalente en abertura es:

$$S_{med.eq.a.} = S_{nom} + 0.8376y \quad (11)$$

En la figura (4.2) se representa la sección del tubo en abertura.

### c) Regulación del salto de las jaulas

Una vez determinados, según el esquema anterior, los valores de los saltos de las últimas dos jaulas para obtener el espesor medio equivalente, queda por definir la regulación en las otras jaulas.

Por simplicidad, para las jaulas de la 1 a 5 se impone la misma variación de salto utilizada para la jaula 7, en su caso con las variaciones indicadas en el vector mandril.

La obtención gráfica del perfil de los cilindros de laminación se logra de la siguiente manera.

En un sistema de ejes coordenados se localiza el punto

$C1(XC1, YC1)$ , centro de la llamada circunferencia de fondo de garganta, sobre el eje de las ordenadas.

Se traza un arco de radio  $R1$  y centro  $C1$ , con una amplitud  $THETA$ , tal que el punto final  $A1$  sea la intersección de este arco con la recta que sale del origen  $O$  con una inclinación  $ALFA1$  respecto al eje de las abscisas.

Sobre la recta  $A1C1$ , se localiza el punto  $C2(XC2, YC2)$ , centro de la circunferencia de flanco.

Se traza un arco de radio  $R2$  y centro  $C2$  a partir del punto  $A1$ , con una amplitud  $GAMMA2$ , tal que el punto final  $A2$  sea la intersección de este arco con la recta que sale del origen con una inclinación  $ALFA3$  respecto al eje de las abscisas.

Sobre la recta  $A2C2$ , se localiza el punto  $C4(XC4, YC4)$ , centro de la circunferencia de contención.

Se traza un arco de radio  $R4$  y centro  $C4$  a partir del punto  $A2$ , con una amplitud  $GAMMA3$ , tal que el punto final  $A3$  sea la intersección de este arco con la recta que sale del origen con una inclinación  $ALFA4$  respecto al eje de las abscisas.

Sobre la recta  $A3C4$ , se localiza el punto  $C5(XC5, YC5)$ , centro de la circunferencia de desfogue.

Se traza un arco de circunferencia que sea tangente al eje de las abscisas, su amplitud viene dada por la tabla del cilindro de laminación.

Para obtener gráficamente el perfil de sección del tubo se procede de la siguiente manera.

Para las secciones de garganta y flanco, se tienen los

mismos perfiles de los cilindros de laminación. A partir del punto A2 es donde se presenta una diferencia.

El punto  $C3(XC3, YC3)$ , centro de la circunferencia de salto, se localiza en la intersección de la recta A2C2 y el eje de las abscisas.

Se traza un arco de radio  $R3$  y centro  $C3$  a partir del punto A2 con una amplitud BETA, hasta intersectar el eje de las abscisas.

Las figuras siguientes muestran los pasos anteriores e incluyen las relaciones que entre las variables para poder realizar los cálculos numéricos.

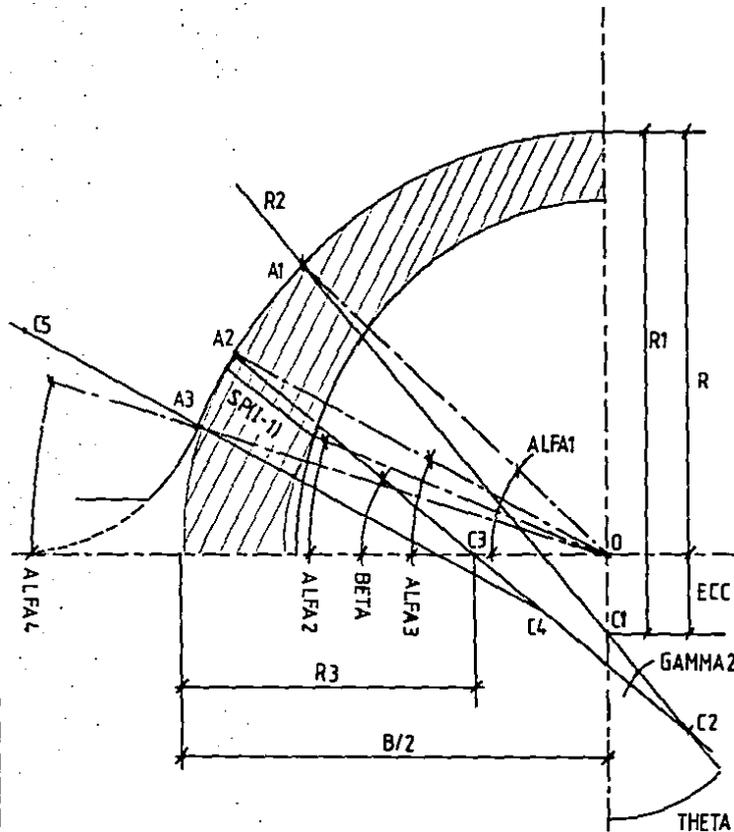
### NOMENCLATURA

ALFA1 = Angulo de fondo de garganta  
 ALFA2 = Angulo de separacion material-mandril  
 ALFA3 = Angulo de flanco  
 ALFA4 = Angulo de contencion

THETA = Amplitud del fondo de garganta  
 GAMMA2 = Amplitud del flanco  
 BETA = Amplitud de la contencion

$R = \text{ALTO}/2$   
 R1 = Radio de fondo de garganta  
 R2 = Radio de flanco  
 R3 = Radio del material en el flanco  
 R4 = Radio de contencion  
 R5 = Radio de desfogue

ECC = Excentricidad  
 B = Ancho  
 C1-C5 = Centros de circunferencias  
 SP(I-1) = Espesor complementario  
 de la jaula anterior

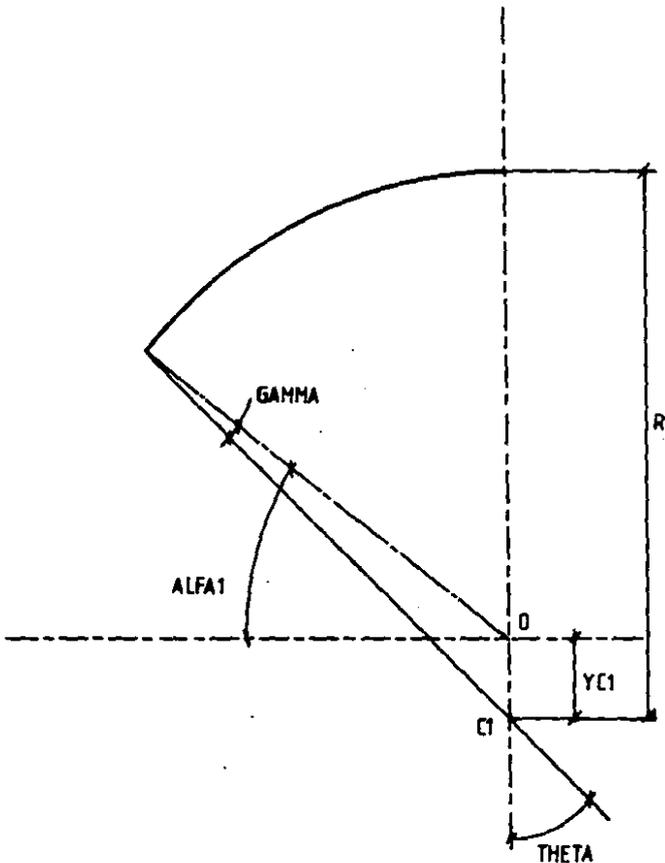


U.L.S.A.

DISENO DE PERFILES MPM

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 4.3 ESC. S/E 1988



$$X_{C1} = 0$$

$$Y_{C1} = -ECC$$

$$ALFA1 = \text{ARCTAN} \left[ \frac{R1 \cdot \text{COS}(THETA) + Y_{C1}}{R1 \cdot \text{SIN}(THETA)} \right]$$

$$\frac{\text{SIN}(ALFA1 + 90)}{R1} = \frac{\text{SIN}(GAMMA)}{YC1}$$

$$GAMMA = \text{ARCSIN} \left[ \frac{YC1 \cdot \text{SIN}(ALFA1 + 90)}{R1} \right]$$

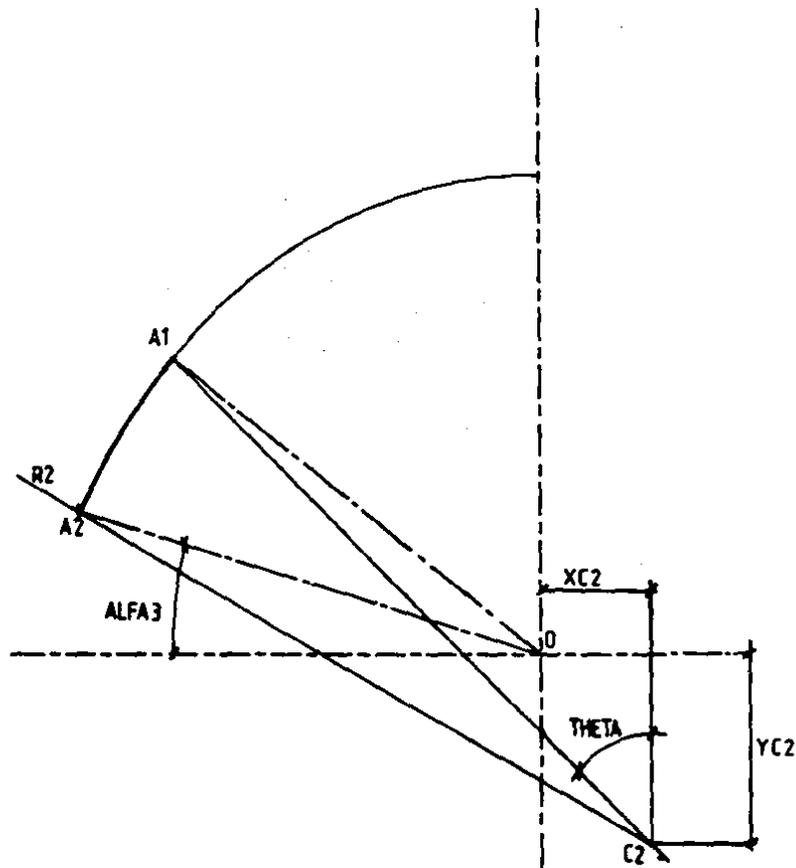
$$THETA = 90 - GAMMA - ALFA1$$

U.L.S.A.

PERFIL DE FONDO DE GARGANTA

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 4.4 ESC. S/E 1988

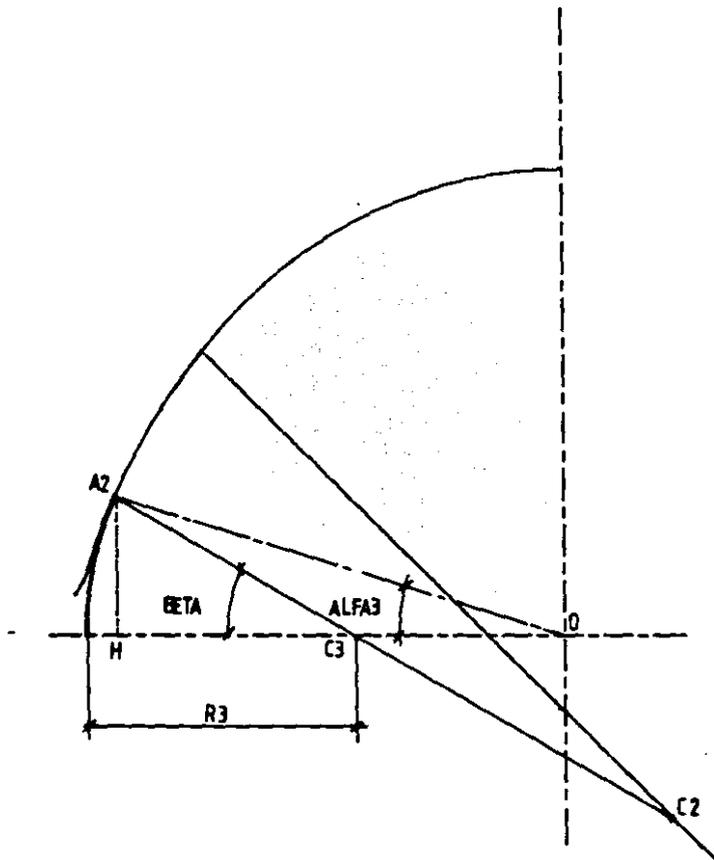


$$XC2 = - [(R2 - R1) \sin(\theta)]$$

$$YC2 = YC1 - (R2 - R1) \cos(\theta)$$

$$RAPP SF = R2/R1$$

U.L.S.A.		
PERFIL DE FLANCO		
ALESSANDRO D.P. PICONE M.		
FIG. 4.5	ESD. S/E	1988



$$R3 = R2 + YC2 / \text{SIN}(BETA)$$

$$XC3 = (R2 - R3) \text{COS}(BETA) + XC2$$

$$YC3 = 0$$

$$ALFA3 = \text{ARCTAN} \left[ \frac{R3 \text{SIN}(BETA)}{XC3 + R3 \text{COS}(BETA)} \right]$$

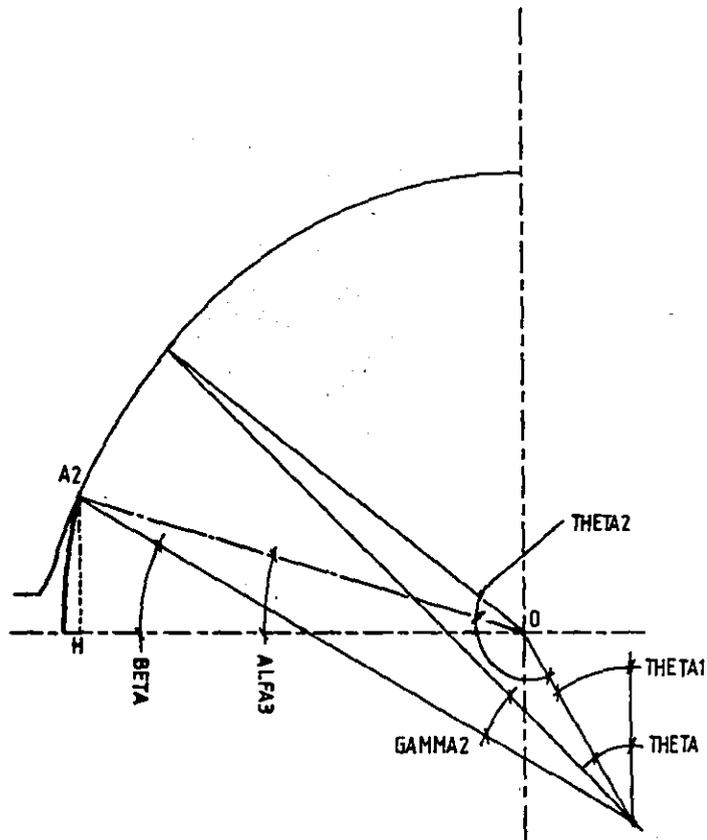
$$\overline{A2H} = R3 \text{SIN}(BETA)$$

$$\text{SIN}(BETA) = \frac{YC2}{R2 - R3}$$

$$\overline{A2H} = \frac{R3 YC2}{R2 - R3}$$

NOTA: Para la parte de garganta y flanco el perfil es el mismo que para el tubo (ver figuras anteriores)

U.I.S.A.		
PERFIL DEL MATERIAL EN EL SALTO (JALLAS 2 A 7)		
ALESSANDRO D.P. PICONE M.		
FIG 46	ESC: S/E	1988



$$\overline{OC2} = \sqrt{XC2^2 + YC2^2}$$

$$THETA1 = \text{ARCTAN} (XC2/YC2)$$

$$THETA2 = \text{ARCCOS} \left[ \frac{REFDR^2 + \overline{OC2}^2 - R2^2}{2 \cdot REFDR \cdot \overline{OC2}} \right]$$

$$\overline{OA2} = REFDR$$

$$ALFA3 = THETA2 - 90 - THETA1$$

$$BETA = \text{ARCTAN} \left[ \frac{-YC2 + REFDR \cdot \text{SIN}(ALFA3)}{-XC2 + REFDR \cdot \text{COS}(ALFA3)} \right]$$

$$GAMMA2 = 90 - THETA - BETA$$

$$\overline{OC3} = \frac{-YC2}{\text{TAN}(BETA)} + XC2$$

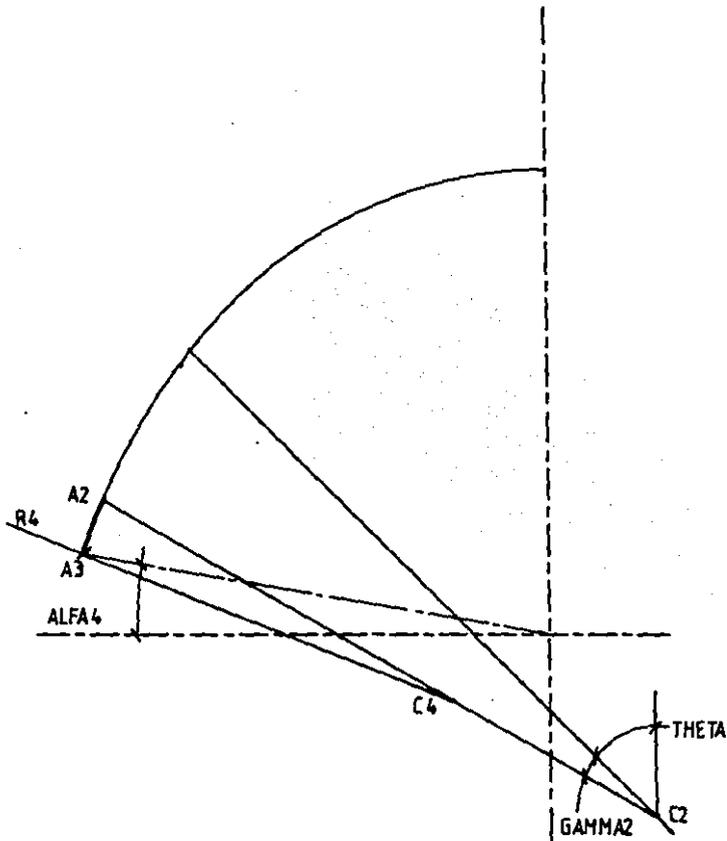
$$= \overline{OA2} \cdot \text{COS}(ALFA3) - R3 \cdot \text{COS}(BETA)$$

U.L.S.A.

PERFIL DEL MATERIAL EN  
EL SALTO (JAULA 1)

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 4.7 | ESC. S/E | 1988

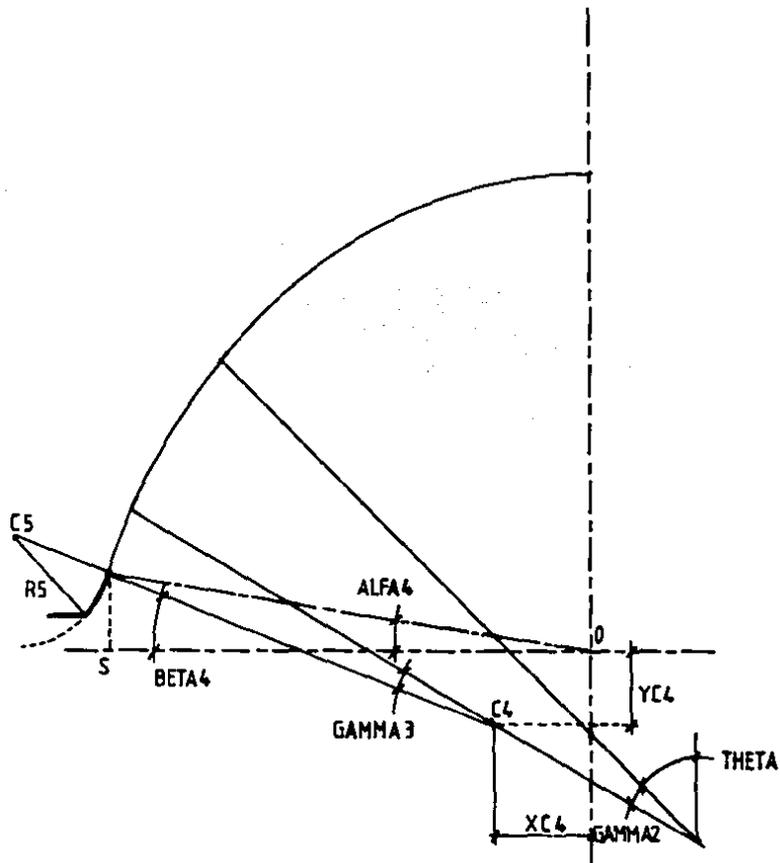


$$XC4 = (R2 - R4) \cdot \cos(\text{THETA} + \text{GAMMA}2) + XC2$$

$$YC4 = YC2 + (R2 - R4) \cdot \sin(\text{THETA} + \text{GAMMA}2)$$

ALFA4 define el fin de contencion  
e inicio del desfogue

U.L.S.A.		
PERFIL DE CONTENCION		
ALESSANDRO D.P. PICONE M.		
FIG. 4.8	ESC: S/E	1988



$$XC5 = (R4 + R5) \cdot \cos(\beta_4) + XC4$$

$$YC5 = (R4 + R5) \cdot \sin(\beta_4) + YC4$$

$$\beta_4 = 90 - \gamma_2 - \gamma_3 - \theta$$

$$= \arcsin \left[ \frac{\overline{SO} \cdot \tan(\alpha_4) - YC4}{R4} \right]$$

$$R5 = \frac{\overline{SO} \cdot \tan(\alpha_4)}{1 - \sin(\beta_4)}$$

U.I.S.A.

PERFIL DE DESFOGUE

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 4.9 ESCI S/E 1988

## II) CALCULO DE LAS SECCIONES DEL TUBO

El cálculo de la sección del tubo se realiza en tres partes:

1.- Cálculo de la sección completa, es decir la que está limitada por las circunferencias de radio R1, R2, R3.

2.- Cálculo de la sección del tubo en primera aproximación, es decir la sección completa menos la sección del mandril.

3.- Cálculo exacto de la sección del tubo, es decir la suma de las secciones parciales, calculadas grado por grado.

Los datos de calibración necesarios para realizar el cálculo de la sección son:

DICA	Valor nominal del calibre de cada jaula
ECC	Valor de excentricidad de cada jaula
R2	Radio de flanco
THETA	
GAMMA 2	Ángulos que definen la sección de paso
BETA	

La elección de estos tres ángulos se debe a que ALFA1 y ALFA3 son constantes al variar la regulación al cierre o abertura de las jaulas.

### a) Cálculo de la sección completa

La sección completa está compuesta por tres sectores de circunferencia, que son:

- Circunferencia de garganta (R1)
- Circunferencia de flanco (R2)
- Circunferencia de salto (R3)

El programa está dividido por lo tanto en estas partes.

Cabe precisar que las relaciones utilizadas en el programa son relativas al caso más general de regulación de abertura/cierre y que la variación de salto correspondiente  $VARIAS(I)$  se asume positiva en caso de regulación en abertura, negativa en caso de regulación al cierre.

#### Circunferencia de garganta

Esta circunferencia está definida por el centro  $C1(X1,Y1)$  y el radio  $R1$ , en el cálculo solo se considera el sector definido por el ángulo  $THETA$ . La figura (4.4) esquematiza dicho sector y muestra las relaciones utilizadas en el programa.

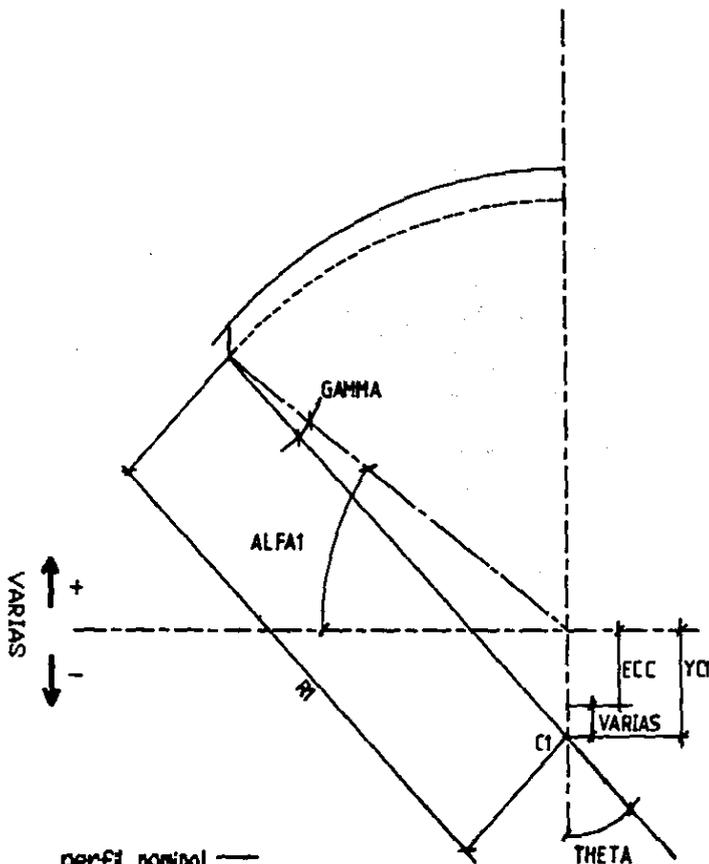
#### Circunferencia de flanco

Esta circunferencia está definida por el centro  $C2(X2,Y2)$  y el radio  $R2$ , en el cálculo solo se considera el sector definido por el ángulo  $GAMMA2$ . Como aparece en la figura (4.5).

#### Circunferencia de salto

Para esta circunferencia, de centro  $C3(X3,Y3)$  y el radio  $R3$ , en el cálculo solo se considera el sector definido por el ángulo  $BETA$ . El radio  $R3$  varía según el tipo de regulación que se efectúe. En la figura (4.6) se representa dicho sector y se muestran las relaciones utilizadas en el programa.

La primera jaula difiere de las demás ya que el perfil del tubo en correspondencia del salto se considera que coincide con el perfil externo del perforado. La figura (4.7) proporciona un esquema de dicho sector para la jaula 1 y así



perfil nominal —  
 perfil al cierre - - - -

$$XC1 = 0$$

$$YC1 = -[ ECC + VARIAS(C) ]$$

$$ALFA1 = ARCTAN \left[ \frac{R1 \cdot \cos(THETA) + YC1}{R1 \cdot \sin(THETA)} \right]$$

$$\frac{\sin(ALFA1 + 90)}{R1} = \frac{\sin(GAMMA)}{YC1}$$

$$GAMMA = ARCSIN \left[ \frac{YC1 \cdot \sin(ALFA1 + 90)}{R1} \right]$$

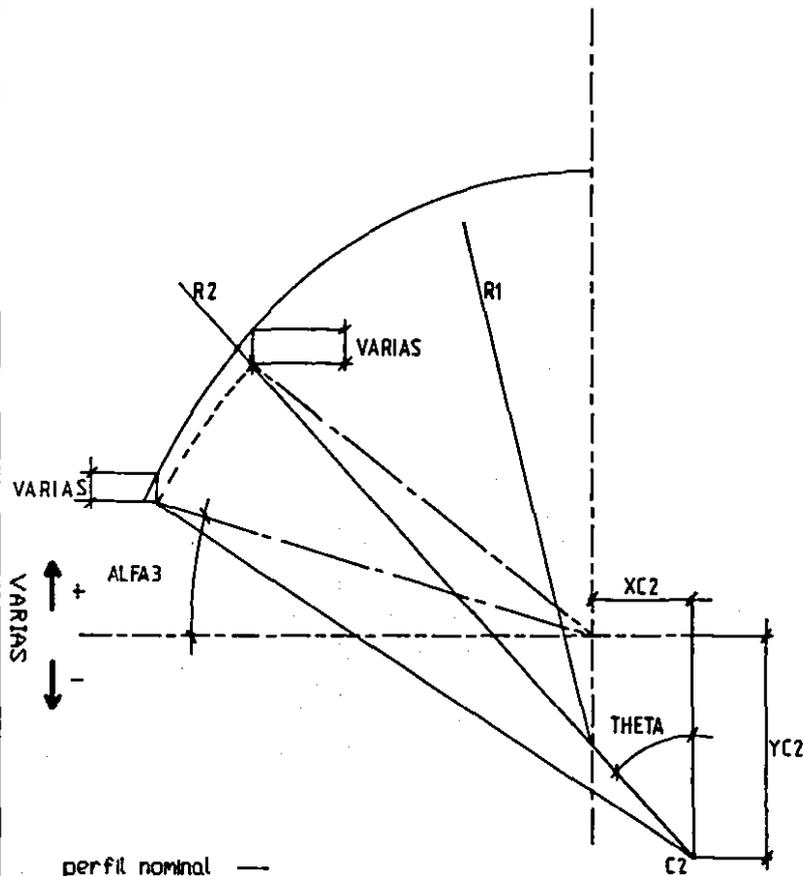
$$THETA = 90 - GAMMA - ALFA1$$

U.I.S.A.

PERFIL DE FONDO DE GARGANTA

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 4.10 ESC: S/E 1988



$$XC2 = - [(R2 - R1) \sin(\theta)]$$

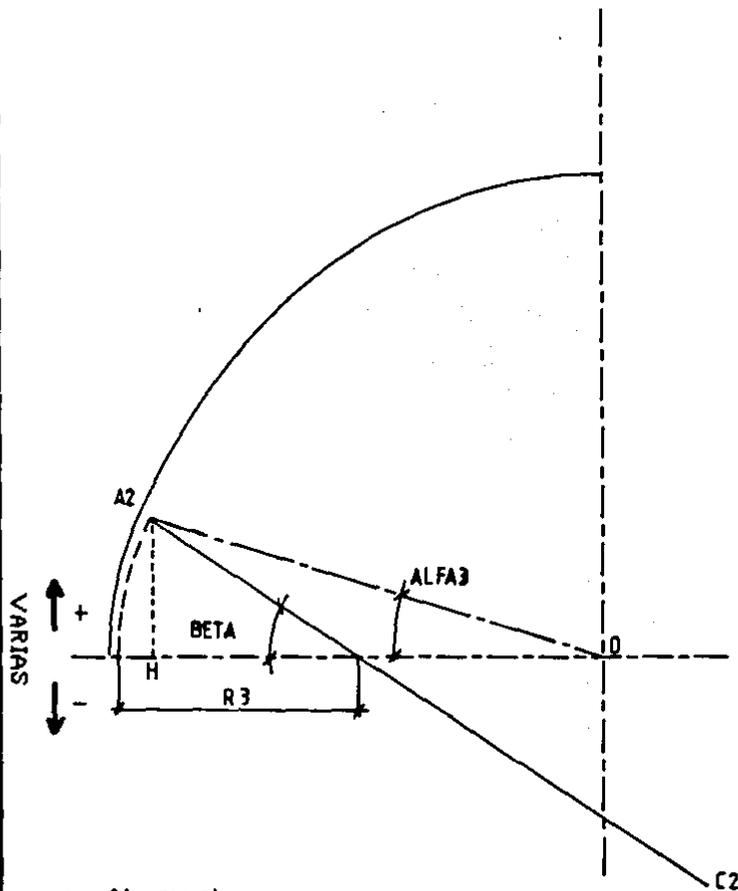
$$YC2 = YC1 - (R2 - R1) \cos(\theta)$$

$$RAPPSP = R2/R1$$

perfil nominal —

perfil al cierre---

U.L.S.A.		
PERFIL DE FLANCO		
ALESSANDRO D.P. PICONE M.		
FIG. 4.11	ESC: S/E	1988



perfil nominal

perfil al cierre

$$R3 = R2 + YC2 / \sin(\text{BETA})$$

$$XC3 = (R2 - R3) \cos(\text{BETA}) + XC2$$

$$YC3 = 0$$

$$\text{ALFA3} = \text{ARCTAN} \left[ \frac{R3 \sin(\text{BETA})}{XC3 + R3 \cos(\text{BETA})} \right]$$

$$\overline{A2H} = R3 \sin(\text{BETA})$$

$$\sin(\text{BETA}) = \frac{YC2}{R2 - R3}$$

$$\overline{A2H} = \frac{R3 YC2}{R2 - R3}$$

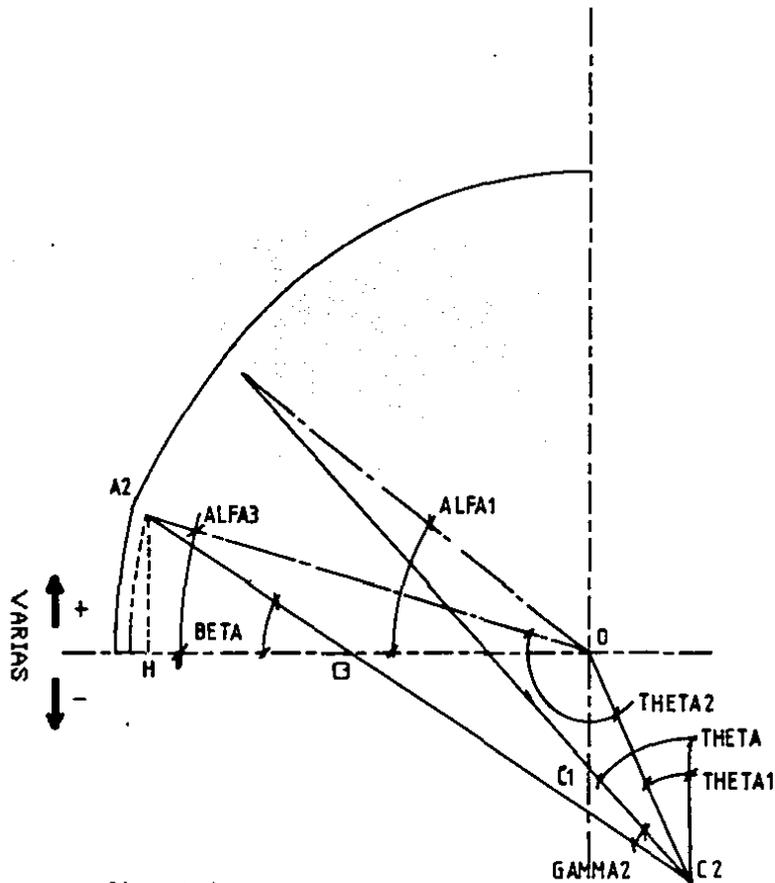
NOTA : Para la parte de garganta y flanco el perfil es el mismo que para el tubo (ver figuras anteriores)

U.L.S.A.

PERFIL DEL MATERIAL EN  
EL SALTO (JAULAS 2 A 7)

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 4.12 ESC: S/E 1988



perfil nominal

perfil al cierre

$$\overline{OC2} = \sqrt{XC2^2 + YC2^2}$$

$$THETA1 = \text{ARCTAN} (XC2/YC2)$$

$$THETA2 = \text{ARCOS} \left[ \frac{\text{REFOR}^2 + \overline{OC2}^2 - R2^2}{2 \text{REFOR} \overline{OC2}} \right]$$

$$\overline{OA2} = \text{REFOR}$$

$$ALFA3 = THETA2 - 90 - THETA1$$

$$BETA = \text{ARCTAN} \left[ \frac{-YC2 + \text{REFOR} \text{SIN}(ALFA3)}{-XC2 + \text{REFOR} \text{COS}(ALFA3)} \right]$$

$$GAMMA2 = 90 - THETA - BETA$$

$$\overline{OC3} = \frac{-YC2}{\text{TAN}(BETA)} + XC2$$

$$= \overline{OA2} \text{COS}(ALFA3) - R3 \text{COS}(BETA)$$

U.L.S.A.

PERFIL DEL MATERIAL EN  
EL SALTO (JAULA 1)

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 4.13

ESC: S/E

1988

como las relaciones utilizadas en el programa.

Las figuras (4.4), (4.5), (4.6) y (4.7) se refieren a una condición nominal, es decir, el perfil obtenido es el de diseño, con las medidas proporcionadas por los cilindros de laminación y el mandril.

En las figuras (4.10), (4.11), (4.12) y (4.13) se hace intervenir la variación de salto VARIAS con lo que el perfil del material se altera.

#### Sección completa

La sección completa se obtiene sumando los tres sectores de circunferencia calculados y sustrayendo las partes de los mismos que quedan en el cuadrante negativo.

Las figuras (4.14) y (4.15) muestran los sectores y las relaciones utilizadas para las jaulas 2 a 7; las figuras (4.16) y (4.17) para la jaula 1.

- b) Cálculo de la sección del tubo en primera aproximación

Simplemente se realiza la siguiente resta.

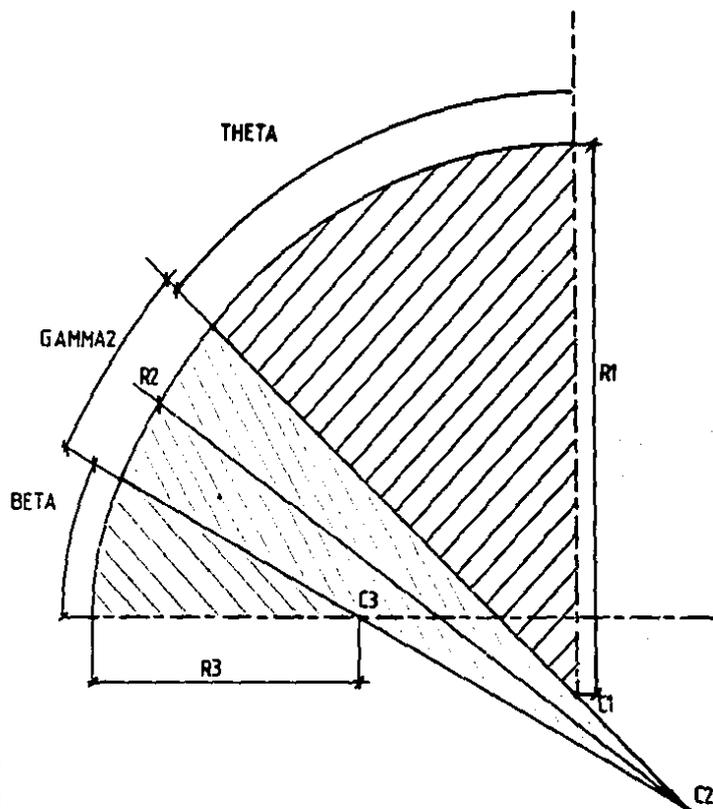
$$SEZT = 4 \cdot SEZP - (\pi/4) \cdot DIMA^2 \quad (12)$$

- c) Cálculo exacto de la sección

Esta parte del programa sirve para determinar el área comprendida entre el perfil interno del tubo y el mandril en correspondencia con la zona de separación ( fig (4.3) ángulo comprendido entre 0 y ALFA2); por lo tanto se necesita determinar el perfil interno del tubo en dicha zona.

Para ello el programa se divide en tres parte:

- 1) Determinación de las coordenadas de los puntos P(X,Y)

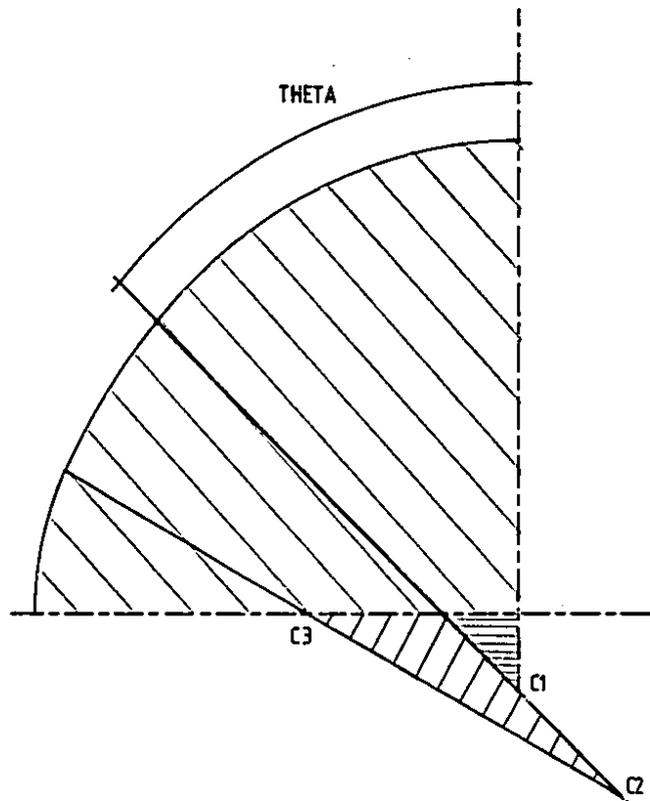


$$\text{//} SEZ1 = R1^2 \cdot \text{THETA} / 2$$

$$\text{\\} SEZ3 = \frac{R2^2 \cdot \text{GAMMA2}}{2}$$

$$\text{\\} SEZ5 = R3^2 \cdot \text{BETA} / 2$$

U.L.S.A.		
ELEMENTOS PARA DEFINIR LA SECCION COMPLETA DEL TUBO (JAUULA 2-7)		
ALESSANDRO D.P. PICONE M.		
FIG. 4.14	ESC: S/E	1988



$$\equiv SEZ2 = \frac{YC1^2 \cdot \text{TAN}(\text{THETA})}{2}$$

$$//SEZ4 = \frac{[XC3 + YC1 \cdot \text{TAN}(\text{THETA})](-YC2)}{2}$$

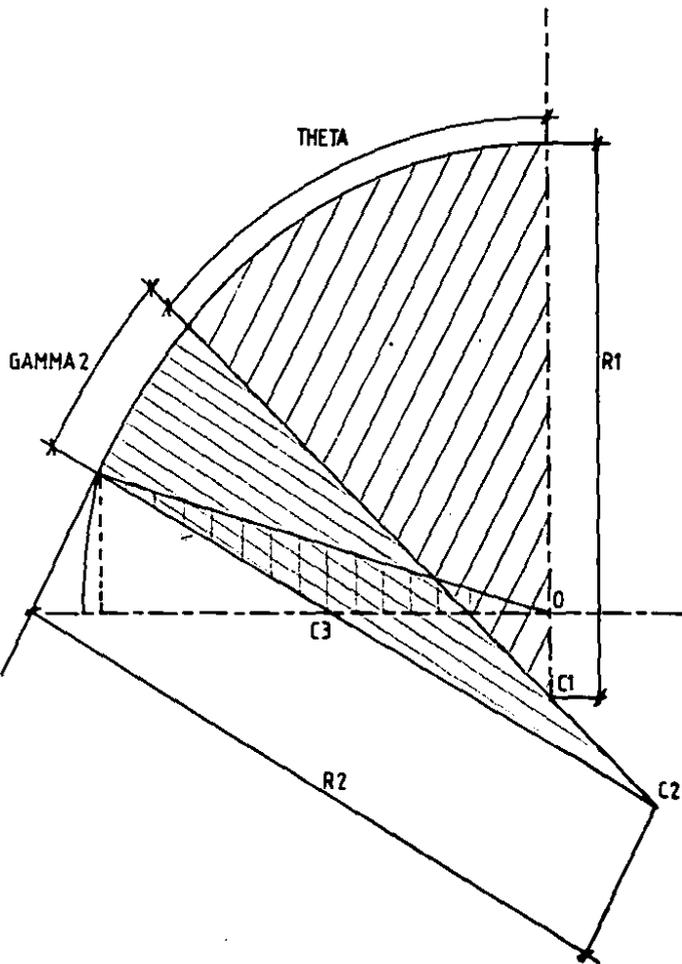
$$\backslash \backslash SEZP = SEZ1 - SEZ2 + SEZ3 - SEZ4 + SEZ5$$

U.L.S.A.

ELEMENTOS PARA DEFINIR LA SECCION  
COMPLETA DEL TUJO (JAULA 2-7)

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 4.15 ESC: S/E 1988



$$//SEZ1 = R1^2 \cdot \text{THETA} / 2$$

$$//SEZ3 = \frac{R2^2 \cdot \text{GAMMA}2}{2}$$

$$|SEZ6 = \frac{OC3 \cdot A2H}{2}$$

U.L.S.A.

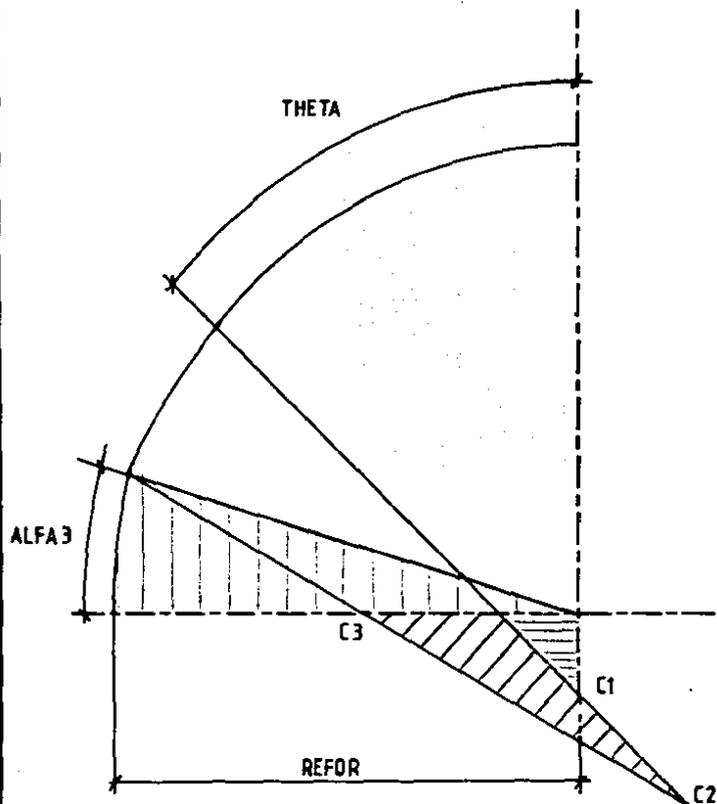
ELEMENTOS PARA DEFINIR LA SECCION  
COMPLETA DEL TUBO (JAULA D)

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 4.16

ESC: S/E

1988



$$\equiv SEZ2 = \frac{YC1^2 \cdot \text{TAN}(\text{THETA})}{2}$$

$$\equiv SEZ4 = \frac{[XC3 + YC1 \cdot \text{TAN}(\text{THETA})](-YC2)}{2}$$

$$\equiv SEZ5 = \text{REFOR}^2 \cdot \text{ALFA3} / 2$$

$$SEZP = SEZ1 - SEZ2 + SEZ3 - SEZ4 + SEZ5 - SEZ6$$

U.L.S.A.		
ELEMENTOS PARA DEFINIR LA SECCION COMPLETA DEL TUBO (JUALA 1)		
ALESSANDRO D.P. PICONE M.		
FIG. 4.17	ESC: S/E	1988

que definen el perfil externo y cálculo del espesor del tubo grado por grado.

2) Determinación de las coordenadas de los puntos  $PI(XI, YI)$  que definen el perfil interno transportando grado por grado el espesor complementario de la jaula anterior.

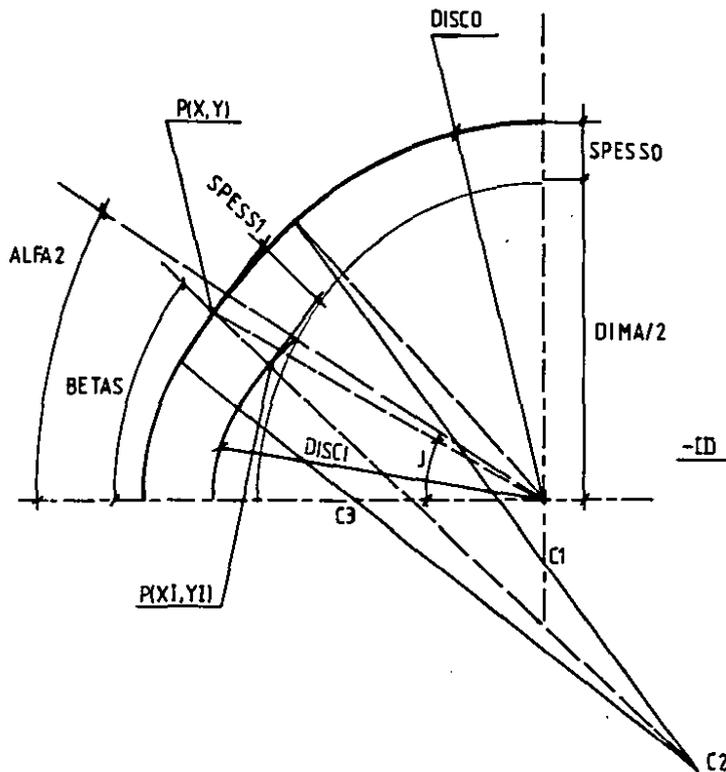
3) Individuación del ángulo de separación y cálculo del área de separación.

Las figuras (4.18) y (4.19) muestran el esquema de los puntos anteriores y las relaciones utilizadas; cabe precisar que para el cálculo de las coordenadas de los puntos externos  $P(X, Y)$  se considera la intersección entre una recta que sale del origen y las circunferencias que definen el perfil externo.

Para el cálculo de las coordenadas de los puntos internos  $PI(XI, YI)$  se consideran los puntos externos correspondientes de los cuales se transportan los valores de los espesores complementarios de la jaula anterior a lo largo de la directriz normal al perfil externo.

La figura (4.20) muestra el mismo esquema pero referido a la jaula 1; para dicha jaula el cálculo del perfil externo queda igual, mientras que para el perfil interno el espesor complementario utilizado es el del perforado.

Para la individuación de  $ALFA2$ , ángulo de separación, se considera la distancia a partir del origen para cada punto interno dado  $PI(XI, YI)$ , y por lo tanto la diferencia con respecto al radio del mandril; donde dicha diferencia se anula, se calcula el ángulo  $ALFA2$ .



### A) PERFIL EXTERNO

Sistema para definir las coordenadas de los puntos externos P(X,Y)

$$X^2 + Y^2 + DX + EY + F = 0 \quad (a)$$

$$Y = X \cdot \text{TAN}(J) \quad (b)$$

La ecuación (a) proviene de el desarrollo y reconodación de la ecuación de una circunferencia de la forma:

$$(X - X_0)^2 + (Y - Y_0)^2 = R^2$$

Con  $(X_0, Y_0)$  como coordenadas del centro

$$D = -2X_0$$

$$E = -2Y_0$$

$$F = X_0^2 + Y_0^2 - R^2$$

La ecuacion (b) proviene de lectura grafica

Sustituyendo (b) en (a) y resolviendo la ecuacion

$$X = \frac{-[D + E \cdot \text{TAN}(J)] + \sqrt{[D + E \cdot \text{TAN}(J)]^2 - 4[1 + \text{TAN}^2(J)][F]}}{2[1 + \text{TAN}^2(J)]}$$

Por lectura gráfica

$$\text{DISCO}(J) = \sqrt{X^2 + Y^2}$$

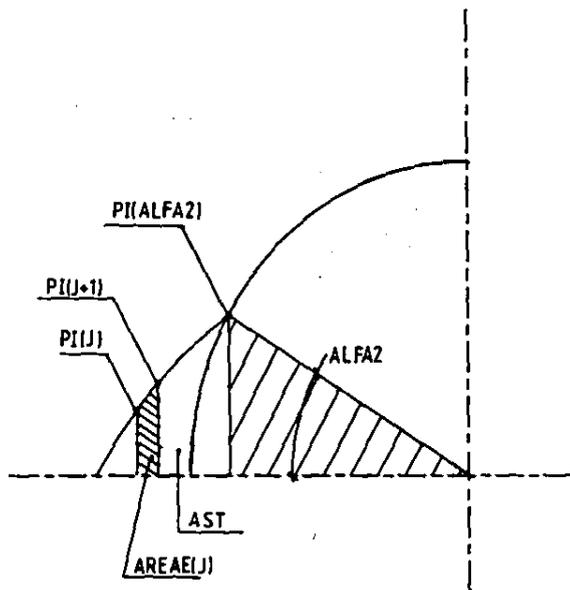
$$\text{SPESSO}(J) = \text{DISCO}(J) - \text{DIMA}/2$$

U.L.S.A.

PERFIL EXTERNO E INTERNO  
DEL TUBO (JAULA 2 A 7)

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 4.18 ESC: S/E 1988



### B) PERFIL INTERNO

Sistema para definir las coordenadas de los puntos internos PIC(XI,YI)

$$BETAS = \text{ARCTAN} \left[ \frac{Y - YC}{X - XC} \right]$$

$$SPESS(I,J) = SPESS(I-1,90-J)$$

$$XI = X - SPESS(I) \cdot \text{COS}(BETAS)$$

$$YI = Y - SPESS(I) \cdot \text{SIN}(BETAS)$$

$$DISCI = \sqrt{XI^2 + YI^2}$$

$$DIFFSP = DISCI - DIMA/2$$

Cuando  $DIFFSP \leq 0$   $ALFA2 = \text{ARCTAN}(YI/XI)$

### C) AREA ENTRE EL TUBO Y EL MANDRIL EN EL SALTO

Area elemental

$$AREA(E,J) = (1/2)[YI(J) + YI(J+1)](XI(J) - XI(J+1))$$

Sumatoria de las areas elementales

$$AREAST = \sum_{J=0}^{ALFA2} AREA(E,J) + \frac{[YI(ALFA2)](XI(ALFA2))}{2}$$

Area entre el tubo y el mandril

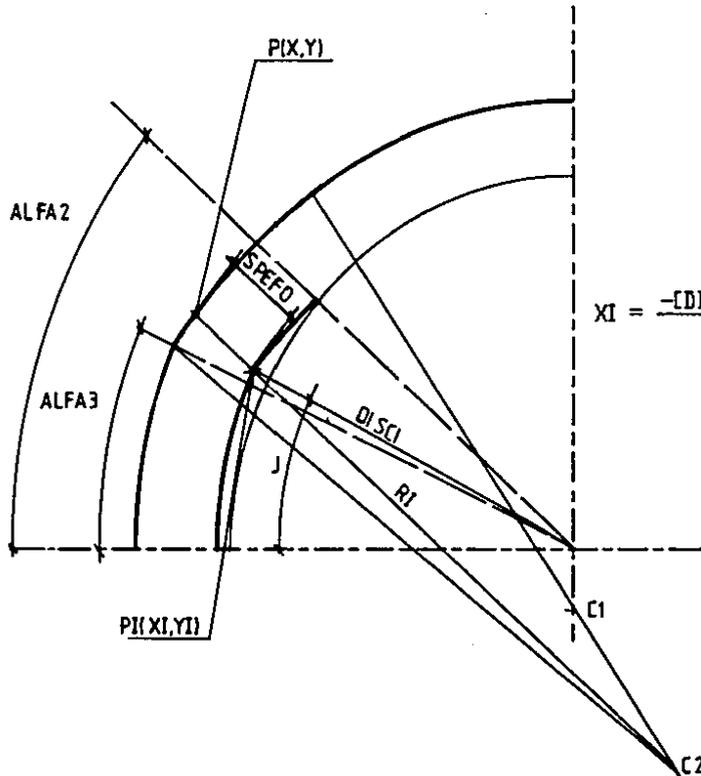
$$AST = AREAST - \frac{ALFA2 \cdot RMAND^2}{2}$$

U.L.S.A.

PERFIL EXTERNO E INTERNO  
DEL TUBO (JAULA 2 A 7)

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 4.19 ESC: S/E 1988



#### A) PERFIL EXTERNO

Se tienen las mismas relaciones vistas para las jaulas 2 a 7

#### B) PERFIL INTERNO

Para la primera jaula se asume el espesor complementario de la jaula anterior igual al espesor del perforado y constante para todo ángulo J. Por esta razón las coordenadas de los puntos internos se definen por:

$$X_I^2 + Y_I^2 + D_I \cdot X_I + E_I \cdot Y_I + C_I = 0$$

$$Y_I = X_I \cdot \tan(J)$$

$$X_I = \frac{-[D_I + E_I \cdot \tan(J)] + \sqrt{[D_I + E_I \cdot \tan(J)]^2 - 4[C_I + \tan^2(J)]E_I}}{2E_I + \tan^2(J)}$$

$$DISCI = \sqrt{X_I^2 \cdot J^2 + Y_I^2 \cdot J^2}$$

$$DIFFSP = DISCI - DIMA/2$$

$$\text{Cuando } DIFFSP \leq 0 \quad ALFA2 = \text{ARCTAN}(Y_I/X_I)$$

#### C) AREA ENTRE EL TUBO Y EL MANDRIL EN EL SALTO

Se utiliza la misma relación vista para las jaulas 2 a 7.

U.L.S.A.

PERFIL EXTERNO A INTERNO  
DEL TUBO (JAULA 1)

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

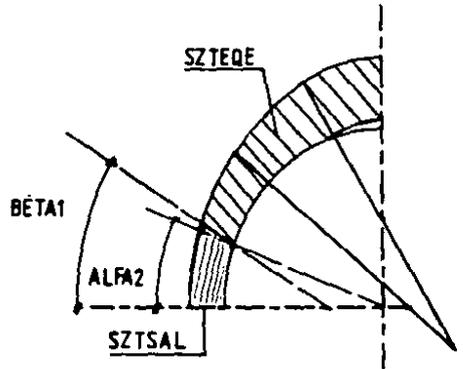
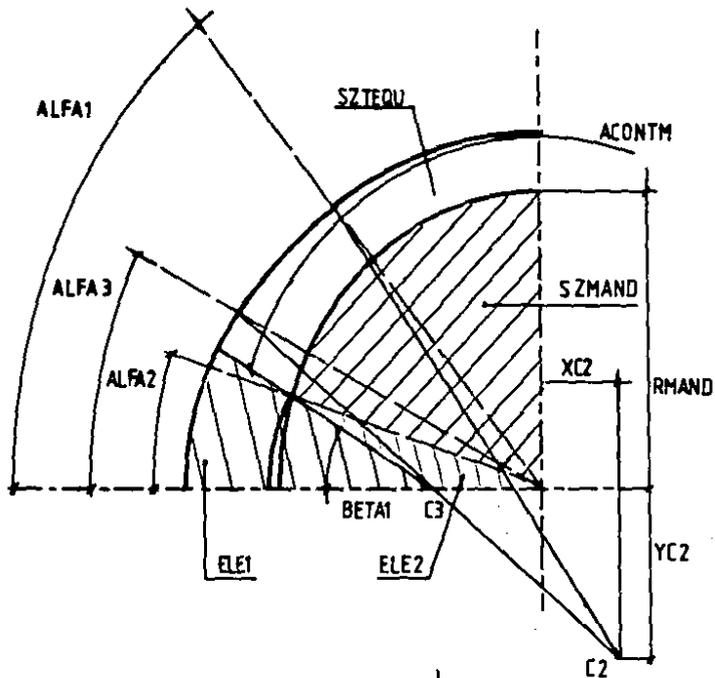
FIG. 4,20 ESC: S/E 1988

Además en las figuras (4.18), (4.19) y (4.20) se muestran las relaciones para el cálculo del área de separación y para el cálculo final de la sección del tubo.

#### CALCULO DE ESPESORES EQUIVALENTES EN ENTRADA/SALIDA DE CADA JAULA

Por espesores equivalentes en entrada/salida de cada jaula se entiende el valor medio del espesor del tubo antes y después de cada jaula, calculado sobre el arco de contacto en el que sucede la reducción de espesor; dichos valores son utilizados en el programa dinámico para el cálculo de los esfuerzos.

El cálculo se efectúa según los esquemas y las relaciones mostrados en las figuras (4.21), (4.22), (4.23) y (4.24), dependiendo de la posición relativa entre el ángulo ALFA2 y los ángulos ALFA1 y ALFA3.



PRIMERA CONDICION: ALFA2 < ALFA3

a) Seccion transversal del tubo en salida en el arco de contacto.

$$BETA1 = \text{ARCTAN} \left[ \frac{R_{MAND} \text{SIN}(ALFA2)}{R_{MAND} \text{COS}(ALFA2) - XC3} \right]$$

$$ELE1 = R3^2(BETA1/2)$$

$$ELE2 = \frac{[XC3][R_{MAND} \text{SIN}(ALFA2)]}{2}$$

$$FRANG = (90 - ALFA2)/2$$

$$SZMAND = R_{MAND}^2 FRANG$$

$$SZTEQU = SEZP - ELE1 - ELE2 - SZMAND$$

b) Espesor de salida

$$ACONTM = 90 - 2 ALFA2$$

Considerando el area de una corona circular de radio mayor REQU y radio menor RMAND, tenemos:

$$REQU = \sqrt{\frac{4 SZTEQU}{ACONTM} + R_{MAND}^2}$$

$$SPEQU = REQU - R_{MAND}$$

c) Seccion transversal del tubo en entrada en el arco de contacto

$$SZTSAL = SEZ(I) - SZTEQU$$

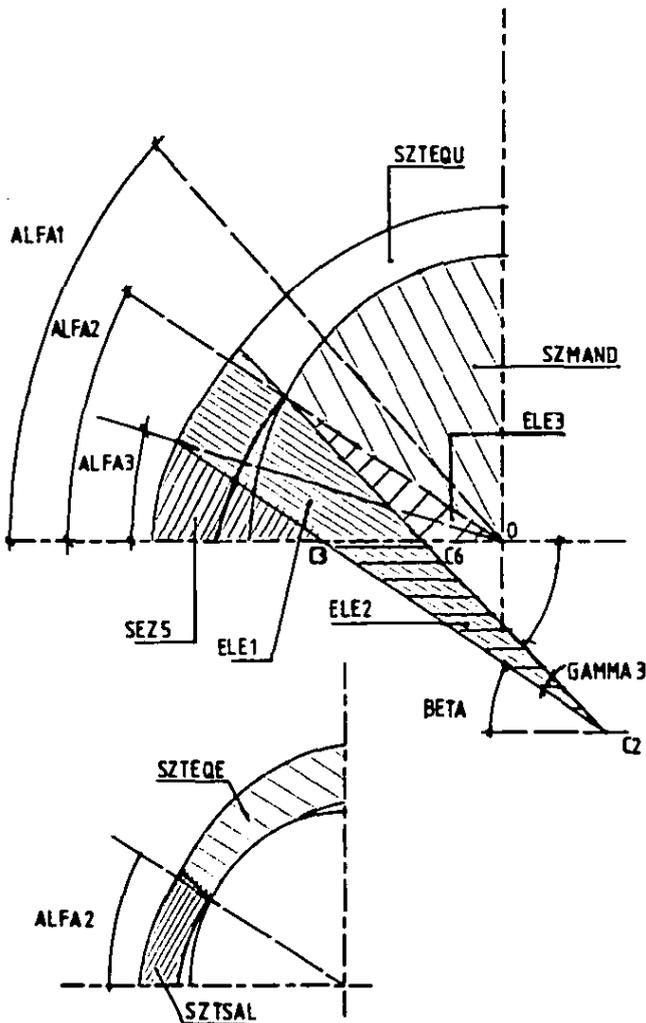
$$SZTEGE = SEZ(I-1) - SZTSAL$$

d) Espesor de entrada

$$REGE = \sqrt{\frac{4 SZTEGE}{ACONTM} + R_{MAND}^2}$$

$$SPEGE = REGE - R_{MAND}$$

U.L.S.A.		
ESPESOR EQUIVALENTE EN ENTRADA/SALIDA EN EL ARCO DE CONTACTO (C.M.L.A 2-7)		
ALESSANDRO D.P. PICONE M.		
FIG. 4.21	ESC: S/E	1988



SEGUNDA CONDICION:  $ALFA3 < ALFA2 < ALFA1$

a) Sección transversal en entrada en el arco de contacto

$$BETA1 = \text{ARCTAN} \left[ \frac{-YC2 + RMAND \cdot \text{SIN}(ALFA2)}{-XC2 + RMAND \cdot \text{COS}(ALFA2)} \right]$$

$$GAMMA3 = BETA1 - BETA$$

$$OC6 = \frac{-YC2}{\text{TAN}(BETA1)} + XC2$$

$$ELE1 = R2^{\text{GAMMA3}/2}$$

$$ELE2 = \frac{XC3 - OC6X - YC2}{2}$$

$$ELE3 = \frac{(OC6 \cdot RMAND \cdot \text{SIN}(ALFA1))}{2}$$

$$FRANG = (90 - ALFA2)/2$$

$$SZMAND = RMAND^{\text{FRANG}}$$

$$SZTEQU = SEZ5 - SEZ5 - ELE1 + ELE2 - ELE3 - SZMAND$$

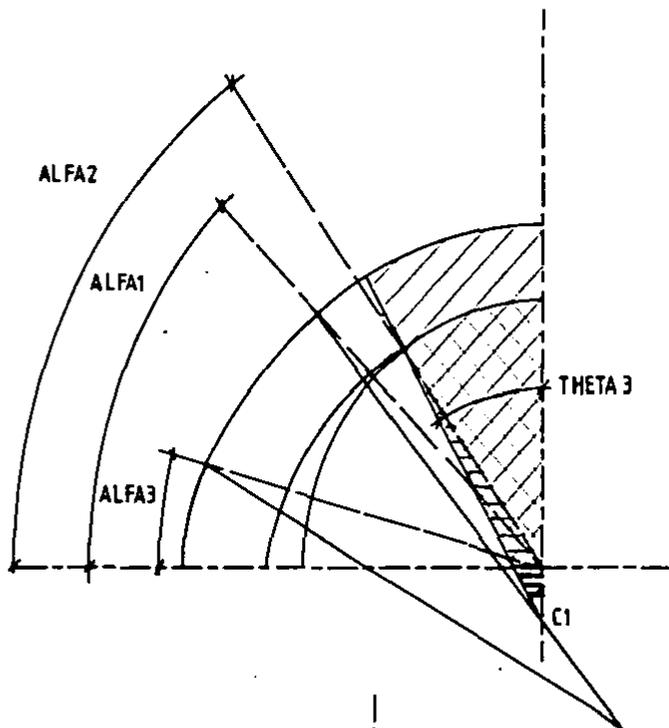
Las relaciones de los incisos b), c) y d) son las mismas que para la condición anterior

U.L.S.A.

COEFICOR EQUIVALENTE EN ENTRADA/SALIDA  
EN EL ARCO DE CONTACTO (TABLA 2-7)

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 4.22 ESC: S/E 1988



TERCERA CONDICION: ALFA2 > ALFA1

a) Sección transversal del tubo en salida en el arco de contacto

$$\text{THETA3} = \text{ARCTAN} \left[ \frac{\text{RMAND} \cdot \text{COS}(\text{ALFA2})}{-\text{YCI} + \text{RMAND} \cdot \text{SIN}(\text{ALFA2})} \right]$$

$$\text{/// ELE 1} = \text{RI}^2 \cdot \text{THETA3} / 2$$

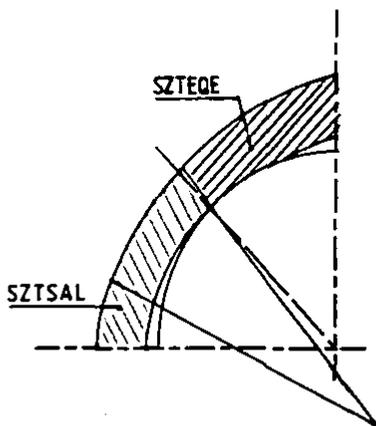
$$\text{=== ELE 2} = \frac{[-\text{YCI} + \text{RMAND} \cdot \text{COS}(\text{ALFA2})]}{2}$$

$$\text{FRANG} = (90 - \text{ALFA2}) / 2$$

$$\text{/// SZMAND} = \text{RMAND}^2 \cdot \text{FRANG}$$

$$\text{SZTEQU} = \text{ELE1} - \text{ELE2} - \text{SZMAND}$$

Las relaciones de los incisos b), c) y d) son las mismas que en la primera condición

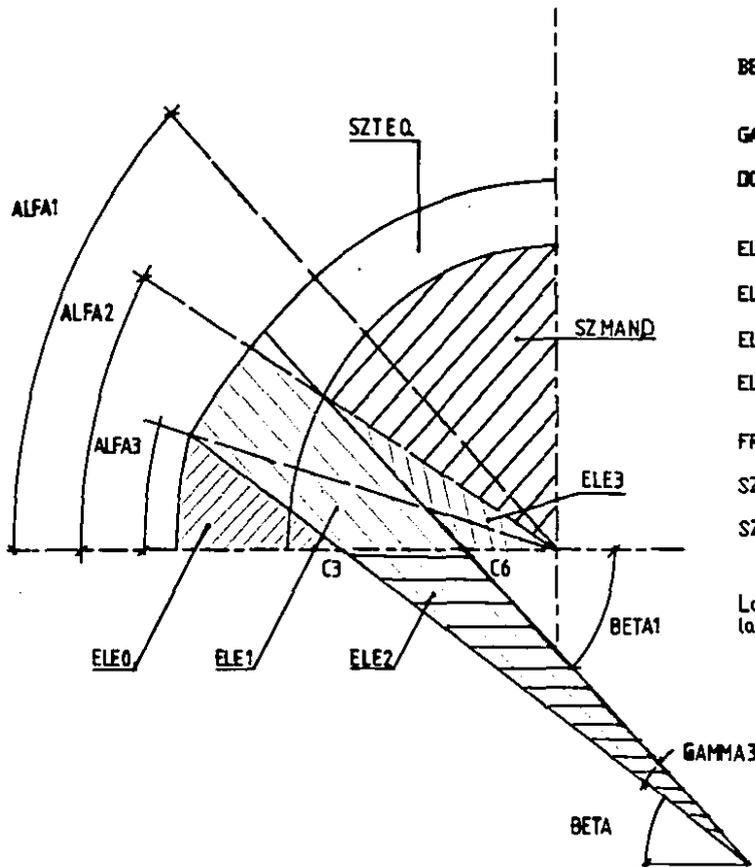


U.L.S.A.

ESPEJOR EQUIVALENTE EN ENTRADA/SALIDA  
EN EL ARCO DE CONTACTO (CUALA 2-7)

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 423 ESC: S/E 1988



a) Sección transversal del tubo en salida en el arco de contacto

$$BETA1 = \text{ARCTAN} \left[ \frac{-YC2 + RMAND \cdot \text{SIN}(ALFA2)}{-XC2 + RMAND \cdot \text{COS}(ALFA2)} \right]$$

$$GAMMA3 = BETA1 - BETA$$

$$DC6 = \frac{-YC2}{\text{TAN}(BETA1)} + XC2$$

$$ELE0 = SEZ5 - SEZ6$$

$$ELE1 = R^2 \cdot GAMMA3 / 2$$

$$ELE2 = [(C3 - DC6) - YC2] / 2$$

$$ELE3 = \frac{[(C6 - RMAND) \cdot \text{SIN}(ALFA2)]}{2}$$

$$FRANG = (90 - ALFA2) / 2$$

$$SZMAND = RMAND^2 \cdot FRANG$$

$$SZTEQU = SEZP - ELE0 - ELE1 + ELE2 - ELE3 - SZMAND$$

Las relaciones de los incisos b), c) y d) son las mismas que en la primera condición

U.L.S.A.

ESPEJOR EQUIVALENTE EN ENTRADA/SALIDA  
EN EL ARCO DE CONTACTO (JALLA)

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 4.24 ESC: S/E 1988

CALCULO DE LOS VALORES DE REGULACION DE LAS JAULAS DEL MPM

CALCULO DEL SALTO DE LOS CILINDROS (en carga)

Para el cálculo de los saltos con carga se utiliza la relación

$$\text{SALTCM}(I) = \text{CSALTM}(I) + 2 \cdot \text{VARIAS}(I) \quad (13)$$

En donde VARIAS(I) toma en cuenta la regulación e la abertura/cierre necesaria para obtener el espesor deseado, y las variaciones eventuales de los saltos memorizados en el vector mandril.

CALCULO DE LAS REVOLUCIONES DE LOS MOTORES (en carga)

Para el cálculo de estos valores se definen sucesivamente:

a) Cálculo de la velocidad del tubo a la salida de cada jaula.

Se calculan primero las elongaciones totales:

$$\text{ALL}(I) = \text{SEZ}(I-1)/\text{SEZ}(I) \quad (14)$$

y luego las velocidades

$$\begin{aligned} \text{VG}(I) &= \text{VG}(I-1) \cdot \text{ALL}(I) \\ &= \text{PORTAT}/\text{SEZ}(I) \end{aligned} \quad (15)$$

b) Cálculo del diámetro de arrastre de los cilindros de cada jaula.

Para definir el diámetro de arrastre (entendido como el punto en que la velocidad del tubo y la velocidad periférica del cilindro son iguales) se utiliza la relación:

$$\text{FITRA}(I) = \text{DIACM}(I) + \text{SALTCM}(I) - \text{AGRECO} \cdot \text{DIFG}(I) \quad (16)$$

donde AGRECO = VM1(4 + I) representa un coeficiente

experimental en relación a cada jaula y a cada mandril memorizado en el vector mandril.

c) Cálculo de las revoluciones en los cilindros.

Conocidos la velocidad de salida del tubo de cada jaula y el diámetro de arrastre, las revoluciones de los cilindros se definen por:

$$GIRI(I) = (60 \cdot PORTAT) / (\pi \cdot SEZ(I) \cdot FITRA(I)) \quad (\text{rpm}) \quad (17)$$

d) Cálculo de las revoluciones de los motores.

La relación que se utiliza es:

$$VELMCM(I) = GIRI(I) \cdot TRAM(I) \quad (18)$$

donde TRAM(I) = relación de transmisión de la cadena cinemática motor-extensión

CALCULO DE LOS VALORES GEOMETRICOS DE LOS CILINDROS

Con referencia al esquema de la figura (4.25) se calculan:

a) Espesores de fondo de garganta

$$SPESFG(I) = (DICA(I, INDIC) + 2 \cdot VARIAS(I) - DIMA) / 2 \quad (19)$$

b) Diámetro del núcleo del cilindro

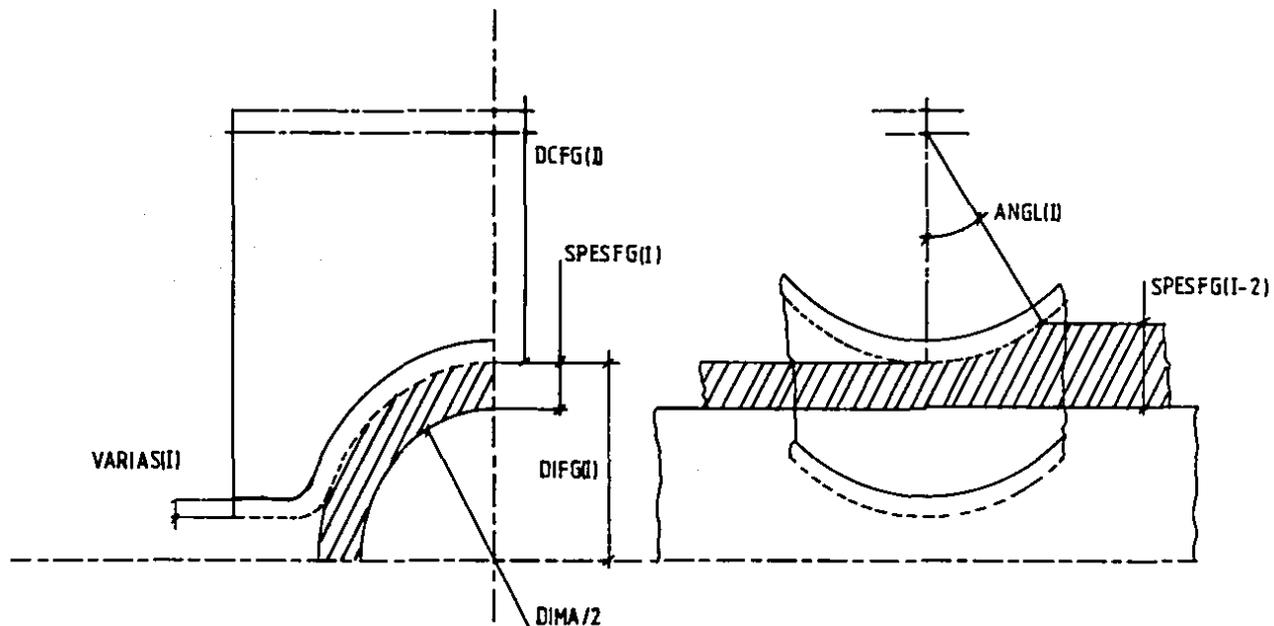
$$DCFG(I) = DIACM(I, INDIC) - DICA(I, INDIC) + CSLATM(I, INDIC) \quad (20)$$

c) Valor efectivo del calibre

$$DIFG(I) = DICA(I, INDIC) + 2 \cdot VARIAS(I) \quad (21)$$

d) Angulos de ataque en fondo de garganta

$$ANGL(I) = \text{ARCOS} \left[ 1 - \frac{DICA(I-2) + 2 \cdot VARIAS(I-2) - DICA(I) + 2 \cdot VARIAS(I)}{DCFG(I)} \right] \quad (22)$$



$$SPESFG(I) = DICAC(I) + 2 \cdot VARIAS(I)$$

$$ANGL(I) = \text{ARCOS} \left[ 1 - \frac{SPESFG(I-2) - SPESFG(I)}{DCFG(I)} \right]$$

U.L.S.A.

CONTACTO TUBO-CILINDRO

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 4.25 | ESCI S/E | 1988

DIAMETROS MAXIMOS Y MINIMOS DE CILINDRO MPM

CALIBRE MPM.	JAULAS	SALTO NOMINAL	DIAMETRO GARGANTA	DIAMETRO MAXIMO		DIAMETRO MINIMO		UTIL
				DIAMETRO NUEZ		DIAMETRO TABLA		
177	1	30	191.1	478.9	640	408.9	570	70
	2	30	185.1	444.9	600	374.9	530	70
	3	25	179.8	445.2	600	375.2	530	70
	4	18	178.2	369.8	530	289.8	450	80
	5	15	177.3	367.7	530	277.7	440	90
	6	12	177.0	365.0	530	265.0	430	100
	7	12	177.0	365.0	530	265.0	430	100
231	1	35	246.5	513.5	725	408.5	620	105
	2	35	240.4	474.6	680	404.6	610	70
	3	30	234.3	435.7	640	355.7	560	80
	4	23	232.6	395.4	605	315.4	525	80
	5	18	231.3	391.7	605	291.7	505	100
	6	14	231.0	388.0	605	268.0	485	120
	7	14	231.0	388.0	605	268.0	485	120
288	1	40	303.1	506.9	770	446.1	710	60
	2	40	297.8	512.2	770	442.4	700	70
	3	40	291.4	458.6	710	378.6	630	80
	4	30	289.9	410.1	670	330.1	590	80
	5	30	288.3	411.7	670	311.7	570	100
	6	18	288.0	400.0	670	280.0	550	120
	7	18	288.0	400.0	670	280.0	550	120

- Las dimensiones indicadas se refieren a cilindros integrales. Para cilindros recuperados con soldadura, deberán ser considerados los diámetros mínimos más 10 mm. para dejar un sobremetal sobre el material base de referencia para las recuperaciones sucesivas.

- Los datos subrayados se refieren a límites dados de las jaulas o de las chumaceras.

- Intersección de trazo (□ tabla + salto). Jaula 1 + 3, max 810 min 540; Jaula 4 + 7, max 700 min 430

## PROGRAMA DINAMICO DE MANDRILES

Antes de describir el objetivo de este programa es conveniente definir algunos conceptos relativos al ciclo de trabajo del mandril.

El inicio de la inserción se tiene cuando el conjunto perforado-mandril se encuentra antes de la guillotina del laminador. El mandril empieza su carrera de inserción.

El fin de la inserción corresponde al momento en que el mandril llega a una posición determinada para empezar a laminar.

El llenado empieza en el momento en que el extremo del perforado llega a la primera jaula, y tiene su fin en el momento en que el material llega a la última jaula.

El inicio de la laminación coincide con el inicio del llenado y tiene su fin en el momento que la cola del esbozo abandona la última jaula del laminador.

La descarga tiene su inicio en que la cola del esbozo abandona la primera jaula y su fin coincide con el fin de la laminación.

El objeto de este programa es la determinación de la velocidad del mandril, de los valores de posicionamiento y carreras del mandril que sirven para un uso correcto del mismo.

Las posiciones a tratar son:

- Posición de fin de enhebrado: es un valor de regulación que es determinado de tal manera que la sección de punta del mandril se localice bajo la última jaula de laminación con un margen de seguridad en el momento en que llega

la punta del tubo bajo la misma jaula.

- Distancia entre sección de punta del mandril y la última jaula, calculada en el momento en que la punta del tubo es interceptada por la fotocelda aguas abajo de la última jaula; es un valor de control ya que el mismo dato es visualizado en púlpito principal.

- Distancia entre sección de cola del mandril y la jaula 1, calculada en el momento en que la cola del tubo deja la primera jaula; también este es un valor de control visualizado en pantalla. Este valor proporciona una indicación del tramo de mandril todavía disponible para la laminación cuando inicia la fase de descarga del laminador.

- Distancia entre la punta del mandril y la última jaula al término de la laminación, calculada en el momento en que la fotocelda salida del MPM es dejada por la cola del tubo y ordena la suspensión de la retención; es un valor de control para evaluar el margen de carrera del mandril disponible antes de que sea bloqueado por el término de carrera de seguridad.

- Abscisas, calculadas con respecto a la punta del mandril, correspondientes a los momentos de impacto y de descarga relativos a cada jaula; individualizan los puntos extremos de las zanahorias del mandril que trabajan bajo las distintas jaulas.

- Carrera de trabajo del mandril, representa la distancia recorrida por el mandril desde la toma de carga en la primera jaula hasta la liberación de la última jaula.

- Carrera total de retención, representa la distancia

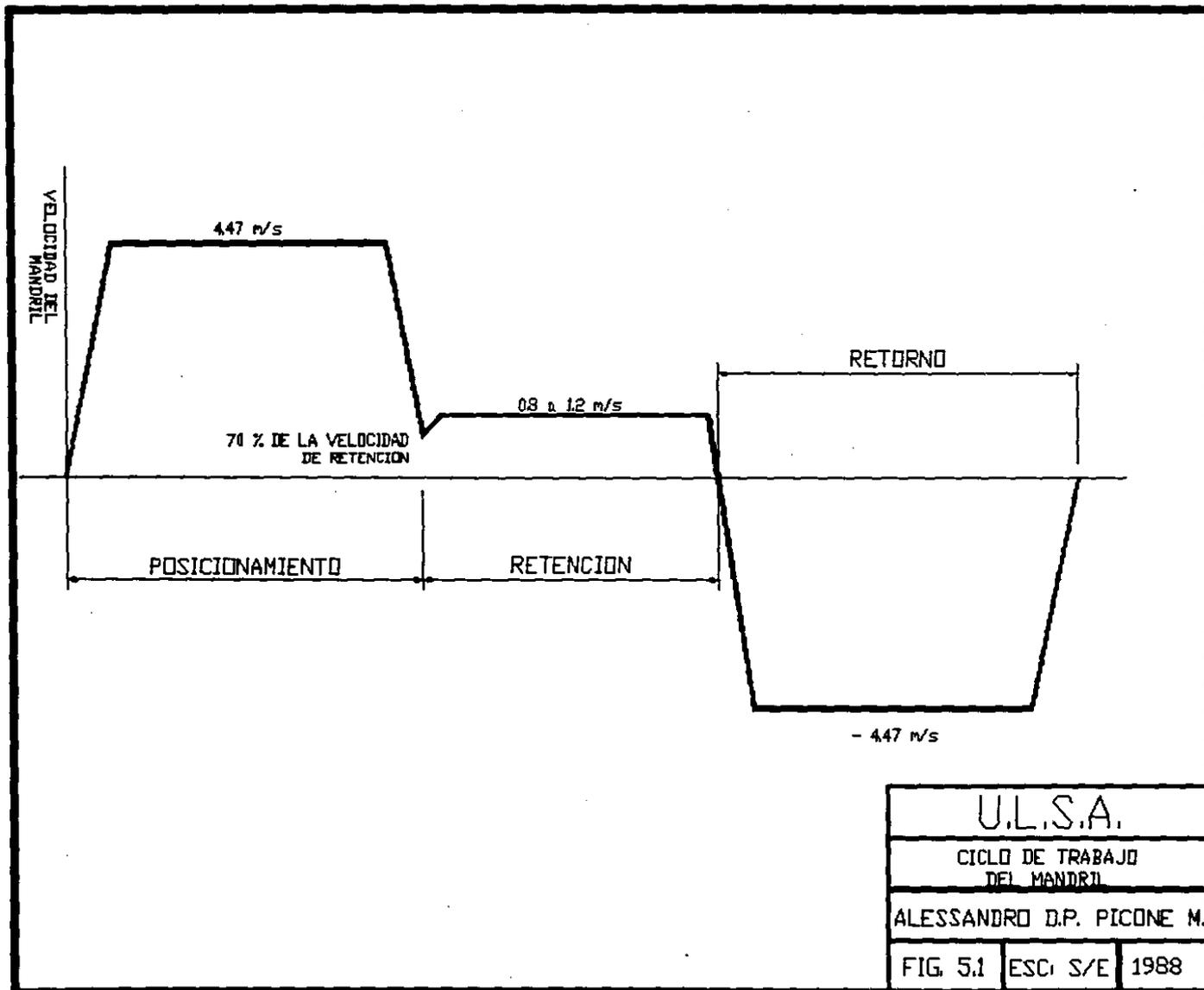
recorrida por el mandril durante la fase de retención.

- Largo total de trabajo del mandril, determina el tramo del mandril (a partir de la punta) que interviene en la laminación.

#### DESCRIPCION DE LAS VARIABLES

ACCMD	Aceleración del mandril ( $\text{mm/s}^2$ )
DELCMA	Carrera de seguridad tomando en cuenta la oscilación máxima del peso de la barra (mm)
DFTGU	Distancia fotocelda última jaula (mm)
DISEZP	Distancia entre el ápice del mandril y la sección de punta (mm) (250 mm)
DISEZC	Distancia entre la cola del mandril y la sección de cola (mm) (250mm)
DMAXPU	Distancia máxima punta mandril de la última jaula (mm)
DSTG1G	Distancia guillotina cabeza a eje de la primera jaula (mm)
DSTM1G	Distancia punta mandril a primera jaula en el inicio del enhebrado (mm)
DVTM	Diferencia entre la velocidad media del tubo bajo la primera jaula y la velocidad del mandril (mm/s)
IDISTC	Distancia cola mandril-primera jaula al inicio de la descarga (mm)
IDISTP (4)	Distancia punta mandril-última jaula en las fases siguientes: inicio flotación, inicio llenado, término llenado, término laminación (mm)
LCO (1-4)	Valores de control posición de cola mandril
LCOIMP (7)	Abscisas impacto tubo-cilindros (medida desde el ápice de la punta del

	mandril) (mm)
LCOSCA (7)	Abscisas de descarga tubo-cilindros (mm)
LMANDR	Longitud total del mandril (excluyendo la extensión) (mm)
LPU (1-4)	Valores de control posición punta mandril
LUTMAN	Longitud máxima utilizable del mandril (mm)
MARGC	Distancia entre la sección de cola del mandril y la primera jaula al inicio de la descarga (mm)
MARGP	Margen entre la posición de la punta del mandril y el límite máximo permitido (calculado al término de la laminación) (mm)
MCOR	Carrera de enhebrado mandril (mm)
MAXINF	Carrera máxima de enhebrado (mm)
N(1)	Número de mandriles previsto en el ciclo
NCORAC	Carrera de aceleración/desaceleración (mm)
NCORLA	Carrera de trabajo (mm)
NCORS1-NCORS2	Carreras adicionales (mm)
NCORSA	Carrera total del mandril (mm)
NGF	Número de jaulas de flotación NGF=0 equivale a eliminar dicho vínculo
NPF	Número de posiciones diferenciales
SICC	Margen de seguridad para la sección de cola (mm)
SICP	Margen de seguridad para la sección de punta (mm)
VELFOR	Velocidad del perforado (introducción) (mm/s)
VELX (7)	Velocidad del mandril calculada en base al número de intereses impuesto (mm/s)



U.L.S.A.		
CICLO DE TRABAJO DEL MANDRIL		
ALESSANDRO D.P. PICONE M.		
FIG. 5.1	ESC. S/E	1988

### CALCULO DE LA VELOCIDAD DE RETENCION DEL MANDRIL

Esta parte del programa tiene por objeto de definir la velocidad del mandril que podrá, en un segundo tiempo, ser corregida si no satisface las pruebas de posicionamiento de los que se hablará más adelante.

#### SELECCION DEL CRITERIO PARA DEFINIR LA VELOCIDAD DE RETENCION DEL MANDRIL

Los criterios posibles para la definición de la velocidad del mandril son:

a) Número de jaulas de flotación libre (se asumen 7). En este caso se considera una velocidad del mandril igual a la máxima permitida por el equipo, la reducción de tal velocidad estará determinada sólo por las pruebas de posicionamiento del mandril.

b) Número de jaulas impuesto. En este caso la velocidad del mandril es determinada de tal manera que una misma sección del mandril no trabaje nunca bajo un número de jaulas superior al impuesto.

La relación (válida en el caso de velocidad de retención constante durante la laminación) que expresa la limitación impuesta al mandril de trabajar, con la misma sección bajo más de dos jaulas está dada por:

$$\text{Velocidad máxima del mandril} = \frac{\text{Distancia máxima que puede recorrer la sección del mandril en cuestión}}{\text{Tiempo de permanencia del tubo en dicho espacio}}$$

Haciendo una referencia genérica a la i-ésima jaula, la relación se convierte en:

$$|V_{man}|_i = \frac{L(i,i+2)}{tr(i) + tr(i+1) + t_l} = \frac{L(i,i+2)}{\frac{L(i,i+1)}{Vt(i)} + \frac{L(i+1,i+2)}{Vt(i+1)} + \frac{L_t}{Vt(u)}} \quad (23)$$

En la determinación correcta de la velocidad de retención del mandril ha de escogerse el valor más bajo de los obtenidos, aplicando la fórmula para los varios interjes.

#### POSICIONAMIENTO DEL MANDRIL

Esta parte del programa tiene por objeto de calcular las posiciones del mandril en cada fase de la laminación; dichas posiciones pueden ser valores de regulación o simplemente valores de control.

#### DEFINICION DE LAS CARRERAS DEL MANDRIL

La carrera de flotación del mandril y las posiciones del mismo son función de la velocidad de trabajo y de los tiempos de laminación. Los valores máximos y mínimos se calculan considerando las posiciones diferenciales que permiten de repartir, de manera más regular, el desgaste de la superficie externa del mandril.

### Carrera de flotación

La carrera de flotación se compone de cinco partes, como se puede observar en la fig (5.2).

$$NCORSA = 0.3 \cdot NCORAC + NCORLA + NCORS1 + NCORS2 + NCORAC \quad (24)$$

Nota: La carrera de aceleración y la carrera de deceleración del mandril tienen la misma nomenclatura, al momento de obtener el valor de NCORSA se consideran ambas con sus valores respectivos, es decir la carrera de aceleración se considera como  $0.3 \cdot NCORAC$ .

### Carrera de aceleración del mandril

Es la distancia que cubre el mandril para alcanzar la velocidad de trabajo.

$$NCORAC = \frac{1}{2} \cdot ACCMD \cdot (VMAND/ACCMD)^2 \quad (25)$$

### 1\* Carrera adicional

Es la distancia que recorre el mandril, ya a la velocidad de trabajo prefijada, antes de que el perforado llegue al eje de la primera jaula.

$$NCORS1 = VMAND \left[ \frac{DSTG1G}{VELFOR} - \frac{VMAND}{ACCMD} \right] \quad (26)$$

DSTG1G = distancia guillotina- eje primera jaula

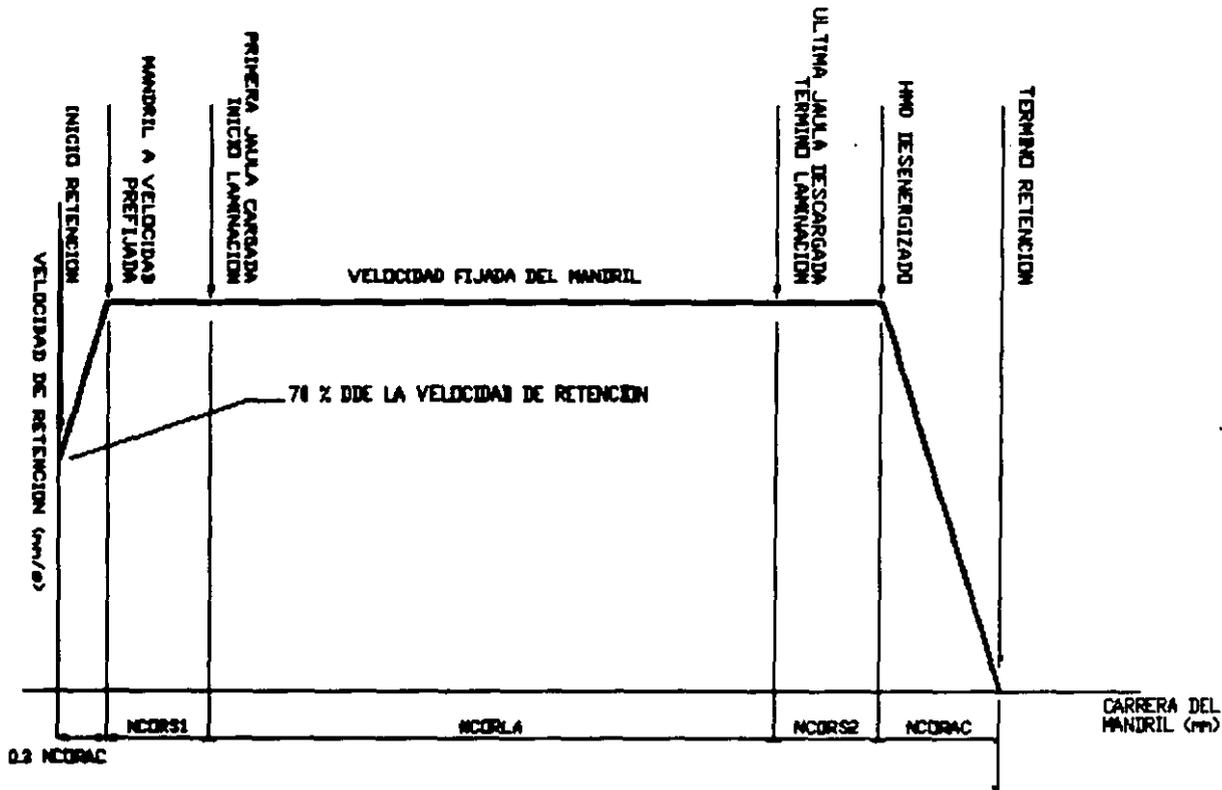
VELFOR = velocidad de entrada del perforado

VMAND = velocidad del mandril

ACCMD = aceleración del mandril

### Carrera de trabajo

Es la carrera que tiene el mandril durante la laminación (llenado más laminación bajo jaula).



U.L.S.A.

ELEMENTOS DE LA CARRERA  
DE TRABAJO DEL MANDRIL

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG 52 ESC S/E 1988

$$NCORLA = VMAND \cdot (TRIEMP + TPASSG) \quad (27)$$

2ª Carrera adicional (de seguridad)

Es la distancia que recorre el mandril en el momento en que la cola del tubo deja la última jaula y pasa la fotocelda.

$$NCORS2 = VMAND \cdot [DFTGU/VU(1)] \quad (28)$$

DFTGU = distancia fotocelda-última jaula

VU(1) = velocidad de salida del tubo

Carrera de deceleración del mandril

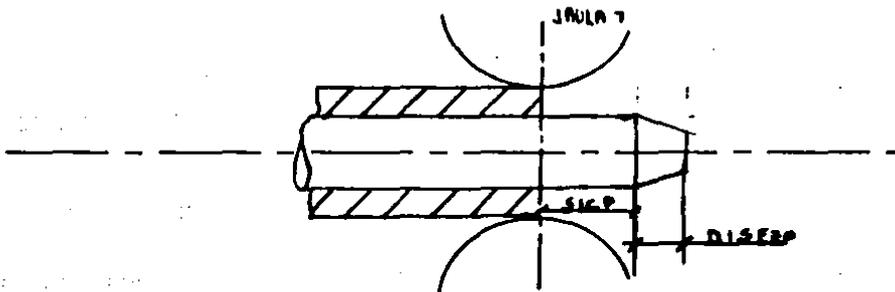
Es la distancia que necesita el mandril para reducir la velocidad hasta cero y empezar su carrera de retorno.

$$NCORAC = -\frac{1}{2} \cdot ACCMD \cdot (VMAND/ACCMD)^2 \quad (29)$$

#### CALCULO DE LAS POSICIONES DEL MANDRIL

Para definir tales posiciones se impone que, en el momento en que el tubo llega a la última jaula de laminación, la sección de punta del mandril sobresalga de un cierto margen de seguridad definido SICP.

La figura siguiente ilustra dicha condición.



Partiendo de esta condición, se definen todas las demás posiciones del mandril, que se muestran en la figura (5.3).

La carrera de enhebrado viene dada por la expresión:

$$MCOR(2) = DSTM1G + LL - IDISTP(1) \quad (30)$$

IDISTP(1) = distancia punta mandril-última jaula al término del enhebrado

$$IDISTP(1) = (VMAND \cdot TRIEMP - DISEZP - SICP) + NCORAC + NCORS1 \quad (31)$$

IDISTP(2) = distancia punta mandril-última jaula al inicio del llenado

$$IDISTP(2) = VMAND \cdot TRIEMP - DISEZP - SICP \quad (32)$$

IDISTP(3) = distancia punta mandril-última jaula al término del llenado

$$IDISTP(3) = VMAND \cdot TRIEMP - IDISTP(2) \quad (33)$$

$$= DISEZP + SICP \quad (\text{condición impuesta}) \quad (34)$$

IDISTF = distancia punta mandril-última jaula cuando la fotocelda es activada por la punta del tubo

$$IDISTF = IDISTP(3) + NCORS2 \quad (35)$$

IDISTC = distancia entre la sección de cola del mandril y la primera jaula al inicio de la descarga

$$IDISTC = (LMANDR - DISEZC) + IDISTP(2) - (LL + VMAND \cdot TPASSG) \quad (36)$$

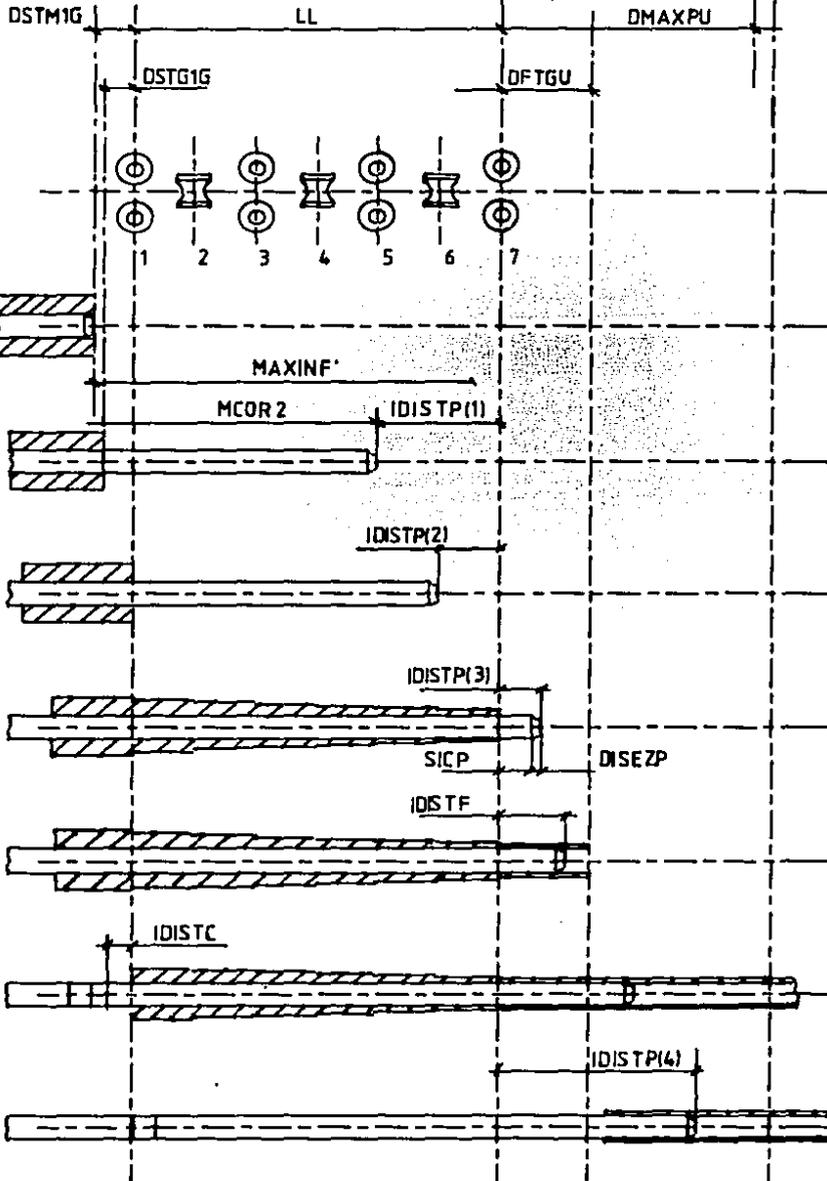
IDISTP(4) = distancia punta del mandril- última jaula con la fotocelda dejada por la cola del tubo

$$IDISTP(4) = IDISTP(3) + VMAND \cdot TPASSG + NCORAC + NCORS2 \quad (37)$$

#### PRUEBAS SOBRE LAS POSICIONES DEL MANDRIL PARA RECALCULAR EVENTUALMENTE LA VELOCIDAD

Se realizan tres verificaciones de las posiciones del mandril, particularmente de las siguientes.

DETECTOR  
DE METAL  
CALIENTE



U.L.S.A.  
 POSICIONES DEL MANDRIL  
 ALESSANDRO D.P. PICONE M.  
 FIG. 5.3 ESC. S/E 1988

INICIO  
INSERCIÓN

FIN DE  
INSERCIÓN

INICIO  
LLENADO

FIN DE  
LLENADO

INICIO  
DESCARGA

FIN DE  
RETENCIÓN

a) Verificación del margen de cola del mandril al inicio de la descarga. Si dicho margen, corregido por el valor de las posiciones diferenciales, por el margen de seguridad y por la carrera adicional ligada a la tolerancia de peso, resulta negativo el programa calcula una nueva velocidad del mandril con la expresión:

$$V(1) = \frac{IMANDR - [LL + DISEZC + DISEZP + SICC + SICP + 50(NPF-1) + DELCMA]}{TPASSG - TRIEMP} \quad (38)$$

b) Verificación posición de la punta al término de la laminación con distancia máxima de la última jaula  
Si dicho margen es negativo se calcula una nueva velocidad de la siguiente manera:

$$V(2) = \frac{DMAXPU - [DISEZP + SICP + NCORAC + NCORS2 + 50(NPF-1) + DELCMA]}{TPASSG} \quad (39)$$

c) Verificación de la diferencia de velocidades del mandril y del tubo en la primera jaula

Si la velocidad del mandril es mayor a la velocidad media del tubo se calcula una nueva velocidad del mandril según la expresión:

$$V(3) = \frac{VEMPM + VG(1)}{2} \quad (40)$$

donde VEMPM = velocidad de salida del tubo

Si una o más condiciones no se satisfacen se escoge la menor de las velocidades recalculadas y se calculan de

nuevo las carreras de trabajo del mandril.

**CALCULO DE LAS ABCISAS DE LOS PUNTOS DE DESCARGA E IMPACTO Y DEFINICION DE LAS ZONAS DE TRABAJO DEL MANDRIL**

Como última fase se calculan las abscisas de los puntos de impacto y descarga según las relaciones que se muestran a continuación.

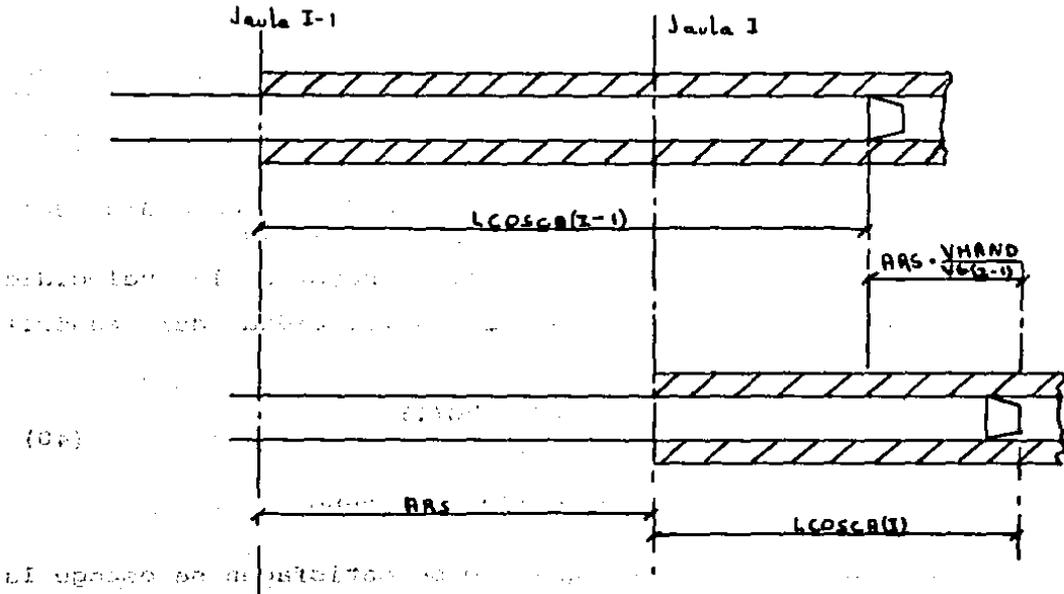
Estas abscisas permiten de individuar las zonas de trabajo del mandril bajo las distintas jaulas.

**a) Abscisas de descarga**

$$LCOSCA(I) = LCOSCA(I-1) - DISTAG(I-1) + VMAND \cdot ARS / VG(I-1) \quad (41)$$

donde  $ARS = DISTAG(I-1)$  para el primer cálculo y luego toma los valores que se obtengan por cálculo.

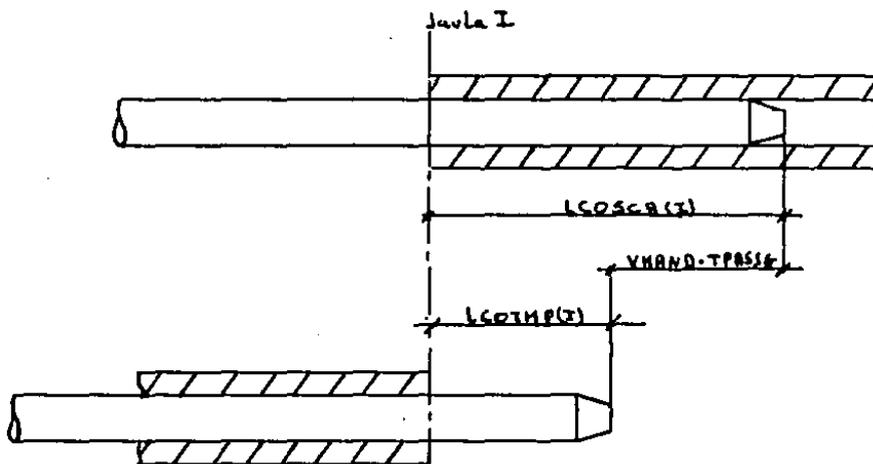
La figura siguiente esquematiza lo anterior.



b) Abscisas de impacto

$$LCOIMP(I) = LCOSCA(I) - VMAND \cdot TPASSG \quad (42)$$

La figura siguiente esquematiza las relaciones anteriores.

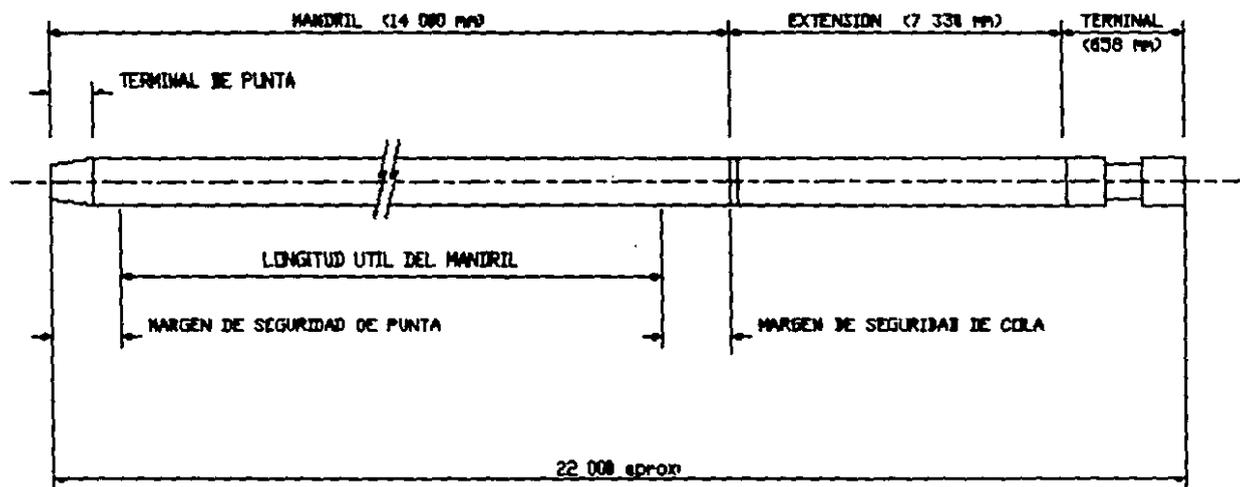


c) Cálculo de la longitud total de trabajo del mandril

Se calcula como la diferencia entre la abscisa de descarga de la primera jaula y la abscisa de impacto de la última.

$$LUNMLA = LCOSCA(1) - LCOIMP(NG) \quad (43)$$

La figura (5.4) muestra las dimensiones del mandril.



U.I.S.A.		
DIMENSIONES DEL MANDRIL		
ALESSANDRO D.P. PICONE M.		
FIG. 5.4	ESC: S/E	1988

TABLA DE UTILIZACION DE MANDRILES Y PUNTAS

M P M CAL - 177													
DIAMETRO DEL MANDRIL	ESPESOR			ESPESOR AL CIERRE					ESPESOR A LA ABERTURA				
	NOMINAL	MINIMO	MAXIMO	MM	%	EXC. %	DIAMETRO SALIDA	RED. EXT. Z	MM	%	EXC. %	DIAMETRO SALIDA	RED. EXT. Z
166.5	5.25	4.70	5.80	0.55	10.47	3.80	175.9	6.76	0.55	10.47	5.74	178.1	7.91
163.5	6.75	5.85	7.25	0.90	13.33	4.91	175.2	6.39	0.50	7.40	4.16	178.0	7.87
160.5	8.25	7.30	8.90	0.95	11.52	4.21	175.1	6.34	0.65	7.88	4.41	178.3	8.02
157.0	10.0	8.95	10.65	1.05	10.50	3.77	174.9	6.23	0.65	6.50	3.68	178.3	8.02
153.5	11.75	10.70	12.45	1.05	8.94	3.16	174.9	6.23	0.70	5.96	3.39	178.5	8.12
149.5	13.75	12.50	12.55	1.25	9.09	3.26	174.5	6.02	0.80	5.82	3.32	178.5	8.12
145.0	16.00	14.60	16.80	1.40	8.75	3.07	174.2	5.86	0.80	5.00	2.87	178.6	8.17
140.5	18.25	16.85	19.05	1.40	7.67	2.66	174.2	5.86	0.80	4.38	2.53	178.6	8.17
136.0	20.50	19.10	21.30	1.40	6.83	2.35	174.2	5.86	0.80	3.90	2.26	178.6	8.17
131.5	22.75	21.35	23.55	1.40	6.15	2.10	174.2	5.86	0.80	3.52	2.05	178.6	8.17

TABLA DE UTILIZACION DE MANDRILES Y PUNTAS

M P M CAL - 231													
DIAMETRO DEL MANDRIL	ESPESOR			ESPESOR AL CIERRE					ESPESOR A LA ABERTURA				
	NOMINAL	MINIMO	MAXIMO	MM	%	EXC. %	DIAMETRO SALIDA	RED. EXT. %	MM	%	EXC. %	DIAMETRO SALIDA	RED. EXT. %
218.5	6.25	5.40	6.75	0.85	13.6	5.14	229.3	2.92	0.50	8.0	4.48	232.0	4.05
215.5	7.75	6.80	8.40	0.95	12.3	4.38	229.1	2.84	0.65	8.4	4.68	232.3	4.18
211.5	9.75	8.45	10.40	1.30	13.3	4.93	228.4	0.54	0.75	7.7	4.27	232.5	4.26
207.0	12.00	10.55	13.00	1.45	12.1	4.42	228.1	2.41	1.00	8.3	4.61	233.0	4.46
202.0	14.50	13.05	15.50	1.45	10.0	3.58	228.1	2.41	1.00	6.9	3.86	233.0	4.46
197.0	17.00	15.55	18.00	1.45	8.5	3.00	228.1	2.41	1.00	5.9	3.32	233.0	4.46
192.0	19.50	18.05	20.50	1.45	7.4	3.59	228.1	2.41	1.00	5.1	2.92	233.0	4.46
187.0	22.00	20.55	23.00	1.45	6.6	2.28	228.1	2.41	1.00	4.5	2.60	233.0	4.46
182.0	24.50	23.05	25.50	1.45	5.9	2.03	228.1	2.41	1.00	4.1	2.34	233.0	4.46
177.0	27.00	25.55	28.00	1.45	5.4	1.83	228.1	2.41	1.00	3.7	2.13	233.0	4.46

TABLA DE UTILIZACION DE MANDRILES Y PUNTAS

M P M CAL - 288													
DIAMETRO DEL MANDRIL	ESPESOR			ESPESOR AL CIERRE					ESPESOR A LA ABERTURA				
	NOMINAL	MINIMO	MAXIMO	MM	%	EXC. %	DIAMETRO SALIDA	RED. EXT. Z	MM	%	EXC. %	DIAMETRO SALIDA	RED. EXT. Z
274.0	7.00	6.25	7.6	0.75	10.7	3.82	286.5	1.82	0.60	8.6	4.77	289.3	2.73
270.5	8.75	7.65	9.5	1.10	12.6	4.67	285.8	1.57	0.75	8.6	4.72	289.5	2.83
266.0	11.00	9.55	11.95	1.45	13.2	4.88	285.1	1.33	0.95	8.6	4.77	289.5	2.83
260.5	13.75	12.00	14.7	1.75	12.7	4.71	284.5	1.12	0.95	6.9	4.00	289.9	2.97
255.0	16.50	14.75	17.7	1.75	10.6	3.84	284.5	1.12	1.20	7.3	4.90	290.4	3.13
249.0	19.50	17.75	20.7	1.75	9.0	3.19	284.5	1.12	1.20	6.2	3.49	290.4	3.13
243.0	22.50	20.75	23.7	1.75	7.8	2.73	284.5	1.12	1.20	5.3	3.04	290.4	3.13
237.0	25.50	23.75	26.7	1.75	6.9	2.39	284.5	1.12	1.20	4.7	2.70	290.4	3.13
231.0	28.50	26.75	29.7	1.75	6.1	2.12	284.5	1.12	1.20	4.2	2.42	290.4	3.13
225.0	31.50	29.75	32.7	1.75	5.6	1.91	284.5	1.12	1.20	3.8	2.20	290.4	3.13
218.5	34.75	32.75	36.0	2.00	5.8	1.98	284.0	0.95	1.25	3.6	2.07	290.5	3.17

TABLA DE TOLERANCIA EN EL ESPESOR POR MANDRIL AL MPH

CAL	DIAMETRO MANDRIL	ESPESOR EQUIVALENTE			ESP. PUNTUAL		EXC. %	Y CIERRE	ESP. PUNTUAL		EXC. %	Y CIERRE
		NOM	MIN	MAX	MIN	MAX			MIN	MAX		
177	166.5	5.25	4.70	5.80	4.64	4.82	3.80	0.61	5.58	5.91	5.74	0.66
	163.5	6.75	5.85	7.25	5.76	6.05	4.91	0.99	7.05	7.35	4.16	0.60
	160.5	8.25	7.30	8.90	7.20	7.51	4.25	1.05	8.64	9.03	4.41	0.78
	157.0	10.00	8.95	10.65	8.84	9.18	3.77	1.16	10.39	10.78	3.68	0.78
	153.5	11.75	10.70	12.45	10.59	10.93	3.16	1.16	12.17	12.59	3.39	0.84
	149.5	13.75	12.50	14.55	12.36	12.77	3.26	1.39	14.23	14.71	3.32	0.96
	145.0	16.00	14.60	16.80	14.45	14.90	3.07	1.55	16.48	16.96	2.87	0.96
	140.5	18.25	16.85	19.05	16.70	17.15	2.66	1.55	18.73	19.21	2.53	0.96
	136.0	20.50	19.10	21.30	18.95	19.40	2.35	1.55	20.98	21.46	2.26	0.96
	131.5	22.75	21.35	23.55	21.20	21.65	2.10	1.55	23.23	23.71	2.05	0.96
231	218.5	6.25	5.40	6.75	5.31	5.59	5.14	0.94	6.55	6.85	4.48	0.60
	215.5	7.75	6.80	8.40	6.70	7.00	4.38	1.05	8.14	8.53	4.68	0.78
	211.5	9.75	8.45	10.50	8.31	8.73	4.93	1.44	10.20	10.64	4.27	0.89
	207.0	12.00	10.55	13.00	10.39	10.86	4.42	1.61	12.60	13.19	4.61	1.19
	202.0	14.50	13.05	15.50	12.89	13.36	3.58	1.61	15.10	15.69	3.86	1.19
	197.0	17.00	15.55	18.00	15.39	15.86	3.00	1.61	17.60	18.19	3.32	1.19
	192.0	19.50	18.05	20.50	17.89	18.36	2.59	1.61	20.10	20.69	2.92	1.19
	187.0	22.00	20.55	23.00	20.39	20.86	2.28	1.61	22.60	23.19	2.60	1.19
	182.0	24.50	23.05	25.50	22.89	23.36	2.03	1.61	25.10	25.69	2.34	1.19
	177.0	27.00	25.55	28.00	25.39	25.86	1.83	1.61	27.60	28.19	2.13	1.19
268	274.0	7.00	6.25	7.60	6.17	6.41	3.82	0.83	7.36	7.72	4.77	0.72
	270.5	8.75	7.65	9.50	7.53	7.89	4.67	1.22	9.20	9.64	4.72	0.89
	266.0	11.00	9.55	11.95	9.39	9.86	4.88	1.61	11.57	12.13	4.77	1.13
	260.5	13.75	12.00	14.70	11.81	12.38	4.71	1.94	14.32	13.88	4.88	1.13
	255.0	16.50	14.75	17.70	14.56	15.13	3.84	1.94	17.07	17.93	4.09	1.43
	249.0	19.50	17.75	20.70	17.56	18.13	3.19	1.94	20.07	20.93	3.49	1.43
	243.0	22.50	20.75	23.70	20.56	21.13	2.73	1.94	23.07	23.93	3.04	1.43
	237.0	25.50	23.75	26.70	23.56	24.13	2.39	1.94	26.07	26.93	2.70	1.43
	231.0	28.50	26.75	29.70	26.56	27.13	2.12	1.94	29.07	29.93	2.42	1.43
	225.0	31.50	29.75	32.70	29.56	30.13	1.91	1.94	32.07	32.93	2.20	1.43
	218.5	34.75	32.75	36.00	32.53	33.18	1.98	2.22	35.50	36.24	2.07	1.49

**PROGRAMA DINAMICO DEL MPM**

El objeto de este programa es la determinación de las magnitudes tecnológicas que intervienen durante el proceso de laminación (fuerzas de separación, potencia en los motores, pares, etc.).

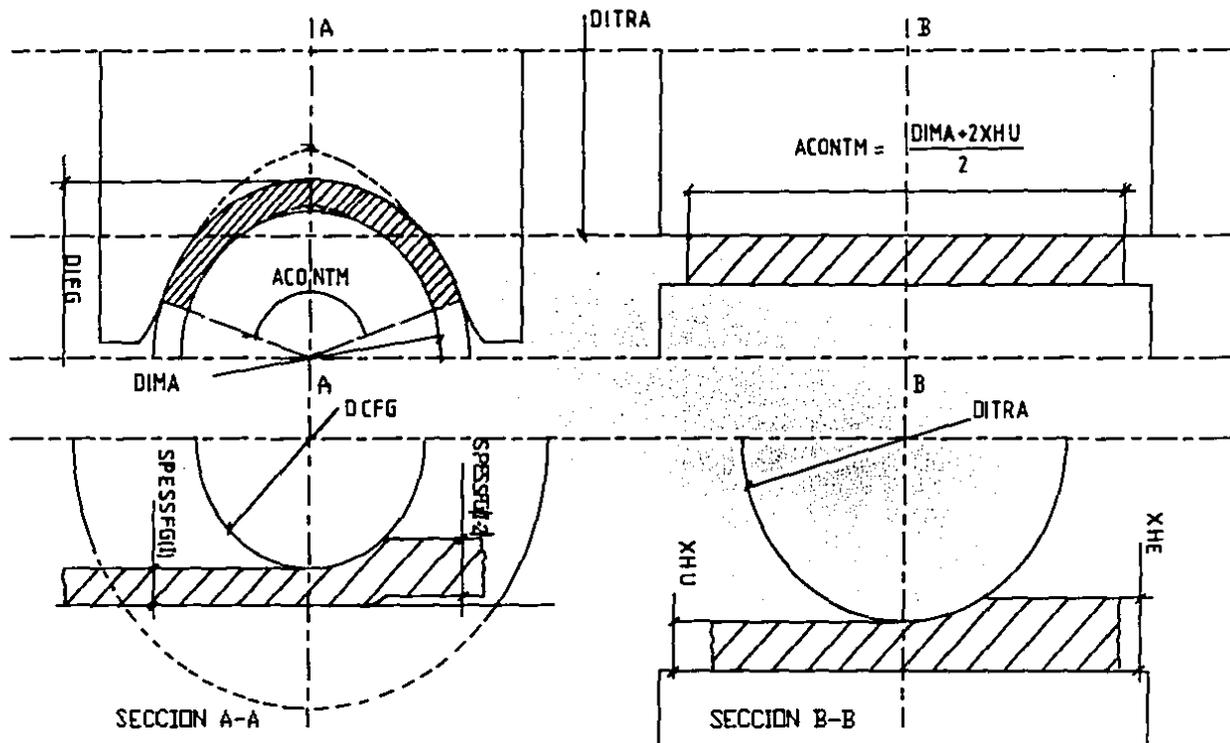
Dada la dificultad de expresar el proceso de laminación mediante relaciones analíticas, considerando la geometría efectiva de deformación (reducción del espesor, arcos de contacto, velocidades periféricas y deslizamientos, entre el material y los cilindros, variables entre el fondo de garganta y el flanco), se procede asimilando la laminación del tubo a la laminación de una placa plana cuyos parámetros geométricos se muestran en la figura (6.1).

Tal similitud entre tubo y placa no debe considerarse en términos físicos, es decir como similitud del fenómeno de laminación, sino como un medio para relacionar entre sí las variables que intervienen en el proceso de deformación, refiriéndose, sin embargo, a condiciones simplificadas.

Cabe precisar que, a diferencia del programa de datos geométricos, en el que era necesario un cálculo exacto de los parámetros ya que representan valores para la regulación de la equipo, en el programa de datos dinámicos los valores que se determinan representan principalmente parámetros de control utilizados sea para evaluar a priori las magnitudes en juego durante la laminación, consecuencia de distintas condiciones de operación, sea como parámetros de referencia para controlar el desarrollo correcto del proceso. La importancia de una determinación exacta de dichas magnitudes es por lo tanto relativa, además condicionada por una serie

LAMINACION DE UN TUBO

LAMINACION DE UNA PLACA



XHE = VALOR PROMEDIO DEL ESPESOR DE ENTRADA EN EL ARCO DE CONTACTO  
 XHU = VALOR PROMEDIO DEL ESPESOR DE SALIDA EN EL ARCO DE CONTACTO  
 DITRA = VALOR PROMEDIO DEL DIAMETRO DEL CILINDRO EN EL ARCO DE CONTACTO

U.L.S.A.

RELACION ENTRE LA LAMINACION  
 DE UN TUBO Y UNA PLACA

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 6,1 ESCO S/E 1988

de situaciones difícilmente previsibles y codificables (condiciones de lubricación, variabilidad de los coeficientes de fricción, etc.).

Con referencia al esquema de la figura (6.2) se da una descripción cualitativa de la laminación en una jaula cualquiera, en lo que respecta la distribución de la velocidad y al estado tensorial consiguiente.

#### Sección E-1 (Suficientemente lejos de la entrada a la jaula)

El material en esta zona se caracteriza por una velocidad que se puede considerar uniforme en todo el espesor, ya que el efecto  $\tau = \mu \cdot p$ , debido al deslizamiento de la superficie interna del tubo sobre el mandril, se puede considerar, en caso de lubricación correcta, despreciable puesto que la única fuerza normal a la superficie del mandril está dada por la presión generada a consecuencia de la disminución de la temperatura entre jaula y jaula y por consiguiente del efecto de contracción del material.

#### Sección E-2 (Vecindad de la zona de inicio contacto)

Al acercarse a la zona E-3 de inicio del contacto entre cilindros y material, las zonas localizadas hacia el exterior del espesor empiezan a resentir el efecto de arrastre del cilindro por lo que sufren una aceleración respecto a las zonas internas. Se obtiene por lo tanto una distribución de velocidad a lo largo del espesor que, cualitativamente, tiene un desarrollo como el mostrado en la figura (6.2).

Por efecto de esta aceleración se genera un estado

tensorial de tracción entre las fibras del material en la zona externa y las de la zona central del espesor.

### Sección E-3 (Inicio del contacto material-cilindro)

En esta sección el material, además del efecto de arrastre, empieza a resentir el efecto de laminación (compresión del material). A raíz de tal compresión se presentan en el material otros dos efectos:

- 1) Aumento de la velocidad sobre todo el espesor, particularmente en la zona central, por lo que disminuye la diferencia de velocidades entre las zonas externas e internas del espesor.

- 2) Disminución de la velocidad de las zonas en contacto con el mandril debido a la fricción ( $\tau = \mu \cdot p$ ) que se genera entre el material y el mandril por efecto de la presión de laminación.

El estado tensorial que se genera en el material está caracterizado por dos zonas de tracción en las proximidades del cilindro y del mandril, y una zona central de compresión.

### Sección E-4 (Intermedia entre la sección de inicio de contacto y la sección neutra)

Esta sección se caracteriza por el aumento del efecto de compresión del material que se traduce en:

- 1) Aumento de velocidad en todo el espesor que lleva a una disminución todavía mayor de la diferencia entre la velocidad periférica del cilindro y la componente, en la misma dirección, de la velocidad media del material.

2) Aumento del efecto de fricción entre el material y el mandril y por lo tanto de la disminución de velocidad de las zonas internas del espesor.

El estado tensorial está caracterizado por dos zonas de tracción. La próxima a los cilindros tiende a anularse mientras que la próxima al mandril tiende a aumentar.

#### Sección N (sección neutra)

Dicha sección está caracterizada por:

1) Igualdad entre la velocidad periférica del cilindro y la componente, en la misma dirección, de la velocidad media del material, siendo éste el punto óptimo para el cálculo de las revoluciones de los cilindros.

2) Valor máximo de la presión entre el material y los cilindros.

Estos dos hechos conducen a una distribución de velocidades, como se muestra en la figura (6.2), caracterizada por una velocidad prácticamente constante sobre todo el espesor, excepto en las zonas de contacto de material-mandril, donde el efecto de fricción y por ende de disminución de velocidad alcanza su máximo valor.

Desde el punto de vista tensorial, lo anterior se traduce en la desaparición de la zona de tracción en las proximidades del contacto con el cilindro y en el aumento de la zona de tracción próxima al contacto del material con el mandril. La zona caracterizada por la compresión alcanza su intensidad máxima.

Sección U-1 (Intermedia entre la sección neutra y la sección de salida U-2)

En esta sección el material adquiere una velocidad superior a la velocidad periférica del cilindro, por lo que se genera un efecto de disminución de velocidad en las zonas de contacto con el cilindro. La disminución de la presión de laminación lleva a una reducción del efecto de disminución de la velocidad en la zona de contacto del material con el mandril.

La distribución tensorial que se crea en el espesor se caracteriza, por lo tanto, por dos zonas de tracción en correspondencia del contacto material-cilindro y del contacto material-mandril y por una zona central de compresión, que tiende a anularse a medida que se acerca la sección de salida.

Sección U-2 (Sección de término de contacto material-cilindro)

Dicha sección se caracteriza por la máxima diferencia entre la velocidad periférica del cilindro y la velocidad del material y por la desaparición de la presión de laminación y, por lo tanto, del efecto de compresión y consiguiente disminución de velocidad del material en contacto con el mandril.

En las cercanías de esta sección de salida aparece un nuevo efecto debido a la recuperación elástica del mandril (fenómeno de restitución). En otras palabras, durante la laminación el mandril fué sometido a una presión, distribuida en la superficie externa de magnitud igual a la que se

ejerci6 sobre los cilindros; el mandril sufri6 una deformaci6n el6stica que recupera a medida que la secci6n del del mandril en cuesti6n ya no est6 sujeta a tal esfuerzo y sale de la zona de laminaci6n.

Por efecto de esta recuperaci6n el6stica del mandril, se genera una presi6n entre el material y el mandril con consiguiente fricci6n y disminuci6n de velocidad del material en correspondencia del contacto material-mandril.

Por todo lo anterior el estado tensorial se caracteriza por dos zonas de tracci6n en correspondencia de las zonas de contacto.

#### Secci6n U-3 (Proximidades de U-2)

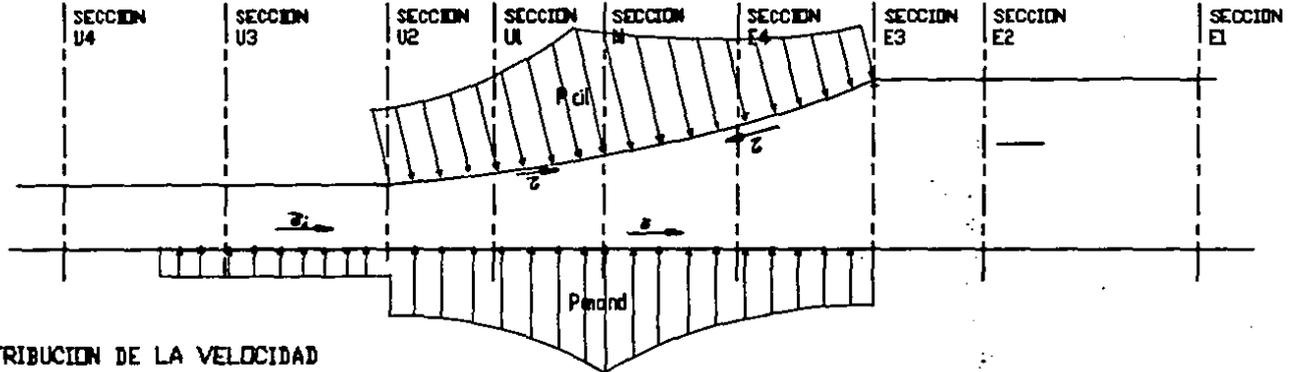
A medida que el material se aleja de la secci6n de salida, desaparecen los efectos de disminuci6n de velocidad de los cilindros y del mandril, por lo tanto, la distribuci6n de la velocidad en el espesor tiende a uniformizarse. El estado tensorial tiende a desaparecer.

#### Secci6n U-4 (Suficientemente lejana de U-2)

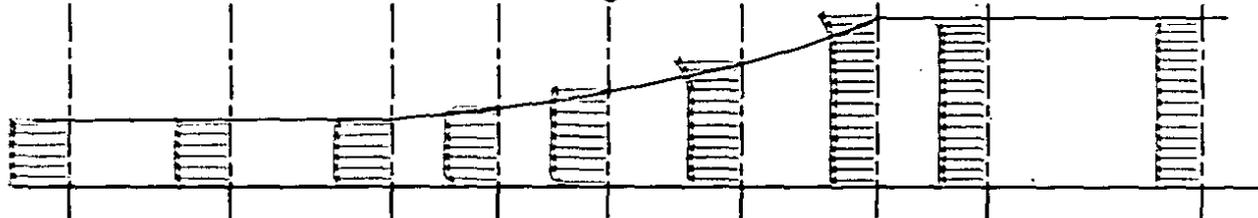
Esta secci6n es an6loga a la secci6n E-1.

La descripci6n anterior se refiere a una sola secci6n longitudinal, por ejemplo la secci6n de fondo de garganta. Llevando el an6lisis del proceso de laminaci6n hacia los costados del cilindro se deberia tomar en cuenta tambi6n la distribuci6n de velocidad en una secci6n transversal gen6rica ya que, por efecto de las velocidades perif6ricas distintas de los puntos de contacto, se generan fen6menos an6logos

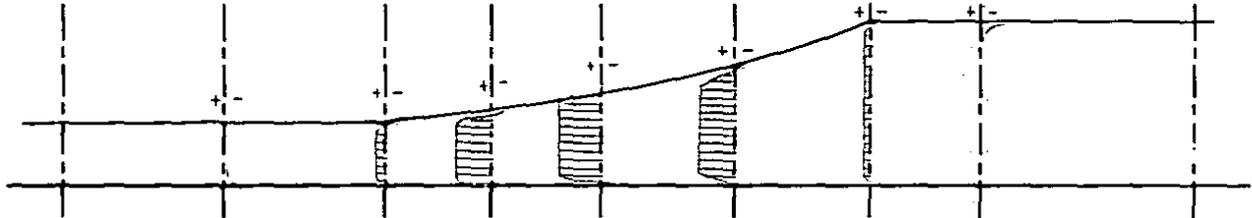
FUERZAS ACTUANTES



DISTRIBUCION DE LA VELOCIDAD



DISTRIBUCION DE LAS TENSIONES



• compresión  
- tracción

U.L.S.A.

DESARROLLO DE VELOCIDADES  
Y TENSIONES EN EL ESPESOR

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 6.2 ESC: S/E 1988

a los vistos anteriormente. El considerar cuantitativamente todos estos efectos es prácticamente imposible, de aquí la necesidad de utilizar para el cálculo un esquema simplificado, aunque desde un punto de vista físico éste tenga pocos elementos comunes.

DESCRIPCION DEL SIGNIFICADO DE LAS VARIABLES UTILIZADAS EN EL PROGRAMA

Valores fijos

SIGMAA, SNETG (7)	Valor de resistencia del material en caliente (Kg/mm <sup>2</sup> )
YELST (7)	Valores de resistencia a la deformación del material (Kg/mm <sup>2</sup> )

Valores semifijos

ASRIF	Espesor de referencia para la temperatura (mm)
AVRIF	Velocidad de referencia para la temperatura (mm/s)
DITRA (7)	Diámetro de arrastre en programa dinámico (mm)
SALTVM (7)	Salto de los cilindros en vacío a plantear para tomar en cuenta ajustes elásticos (mm)
TEMSE (7,4,4)	Temperatura externa del tubo (°C)
TEMSI (7,4,4)	Temperatura interna del tubo (°C)

Valores variables (calculados)

CONTAT (7)	Longitud de contacto bajo la jaula (mm)
CONTUG (7)	Longitud de contacto a la salida de la jaula (mm)
DEFORM (7)	Grado de deformación
IPOT	Potencia total de los motores (KW)

MCOP (7)	Par en los cilindros (Kg·m)
MFORM (7)	Fuerza de separación (Ton)
MPOTM (7)	Potencia en los motores (KW)
MTIRO (7)	Tiro acumulado (Ton)
NA	Tipo de acero (el programa tiene definido NA=2, es posible sustituirlo por 1 ó por 3)
PMAX (7)	Presión máxima bajo la jaula (Kg/m <sup>2</sup> )
PME (7)	Presión media (Kg/m <sup>2</sup> )
POTASG (7)	Potencia de fricción bajo la jaula (W/mm <sup>2</sup> )
POTAUG (7)	Potencia de fricción a la salida de la jaula (W/mm <sup>2</sup> )
TCSG (7)	Tiempo de contacto bajo la jaula (s)
TCUG (7)	Tiempo de contacto salida jaula (s)
THMAX	Angulo máximo de contacto material-cilindro (°)
TIRO (7)	Tiro mandril a la salida jaula (Ton)
TIROG (7)	Tiro mandril bajo la jaula (Ton)
TEMPM (7)	Temperatura media del tubo (°C)
VDEF (7)	Velocidad de deformación (%/s)
VELR, VELR3 (7)	Velocidad relativa material-mandril a la salida de la jaula (mm/s)
VELRC, VELR1 (7)	Velocidad relativa cilindro-material (mm/s)
VELRM, VELR2 (7)	Velocidad relativa material-mandril bajo la jaula (mm/s)
XHE-XHU	Espesores equivalentes (entrada-salida) (mm)
XMAX	Abscisa máxima del contacto material cilindros (mm)
XMU1, U1 (7)	Fricción tubo-cilindros
XMU2, U2 (7)	Fricción tubo-mandril bajo la jaula

XMU3, U3 (7)

Fricción tubo-mandril a la salida de la jaula

XPMAX (7)

Posición del punto neutro (mm)

#### INDIVIDUACION DE LA TEMPERATURA DEL TUBO DURANTE LA LAMINACION

En función del espesor y la velocidad de laminación se definen, para cada calibre, curvas de temperatura interna y externa, que se utilizan en el cálculo dinámico.

Las figuras (6.3) y (6.4) ilustran el desarrollo de dicha magnitud.

#### DEFINICION DEL GRADO DEL ACERO

El programa contiene coeficientes para el cálculo de la resistencia a la deformación del material divididos para tres tipos de acero.

En base a la experiencia de DALMINE, se escogen como valores de referencia los relativos al acero tipo 2, que corresponde al grado API J55.

#### DEFINICION DE LOS PARAMETROS GEOMETRICOS UTILIZADOS EN EL PROGRAMA DINAMICO

a) Diámetro de arrastre

El diámetro de arrastre utilizado en el programa dinámico es diferente del utilizado en el programa geométrico ya que toma en cuenta la similitud entre la laminación plana y la laminación del tubo (figura (6.1)).

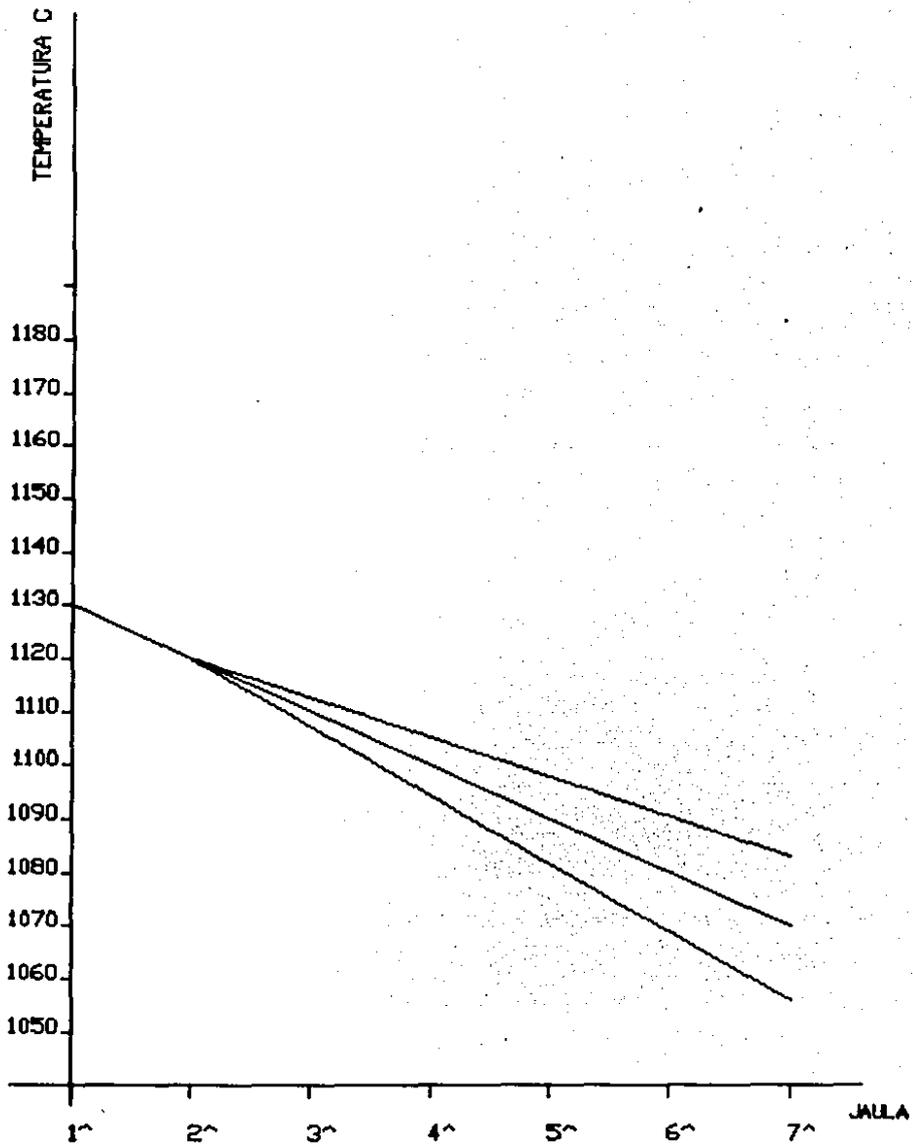


FIGURA 6.3

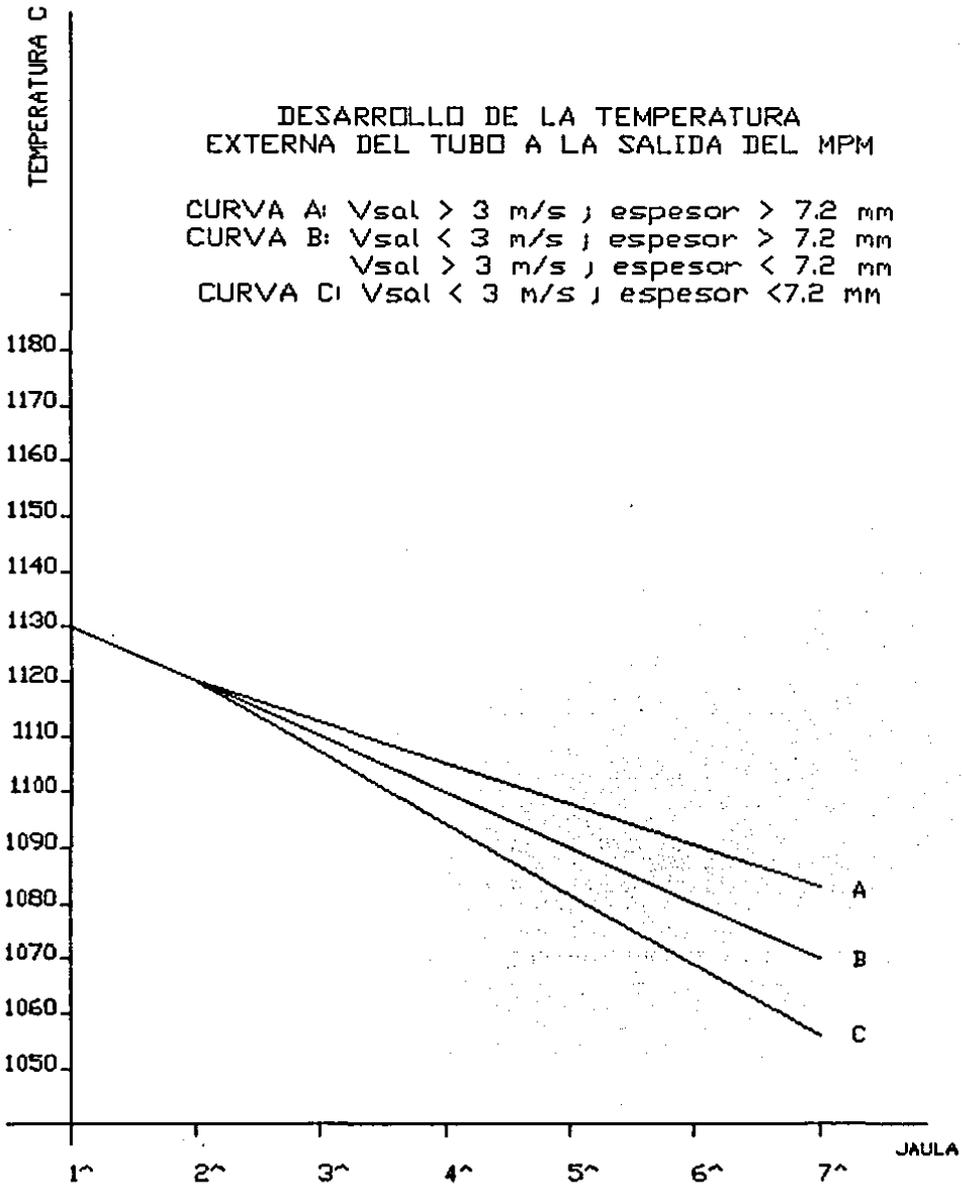


FIGURA 6.4

b) Espesores equivalentes

Para los espesores equivalentes en entrada y en salida de cada jaula se utilizan los valores calculados en el programa geométrico.

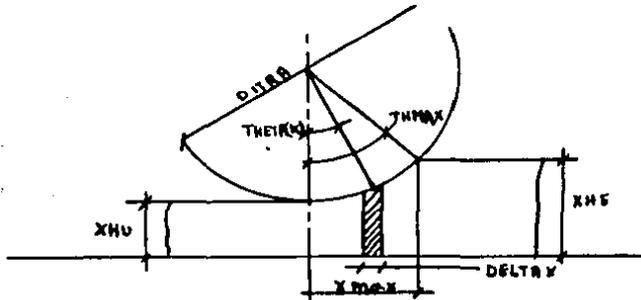
$$XHE = SPEQE(I) \quad (44)$$

$$XHU = SPEQU(I)$$

c) Angulos de contacto y longitud de contacto

$$THMAX = \text{ARCCOS} \left[ 1 - \frac{XHE - XHU}{DITRA(I)/2} \right] \quad (45)$$

$$XMAX = [DITRA(I)/2] \cdot \text{SIN}(THMAX) \quad (46)$$



d) Subdivisión del arco de contacto

Para el cálculo de las presiones se utiliza el procedimiento de elementos finitos y por lo tanto el ángulo de contacto definido en el punto anterior se divide en NS=56 partes.

1) Amplitud y abscisa del elemento

$$\text{DELTA}X = XMAX/NS \quad (47)$$

$$X(K) = X(K-1) + \text{DELTA}X \quad (48)$$

2) Angulo del elemento

$$\text{THETA}(K) = \text{ARCSIN} \left[ \frac{X(K)}{DITRA/2} \right] \quad (49)$$

### CALCULO DE LA VELOCIDAD RELATIVA

La figura (6.6) esquematiza las relaciones utilizadas para calcular las velocidades relativas tubo-cilindro y tubo-mandrill.

El programa define los valores medios de velocidad relativa en los tres casos siguientes:

- Cilindro-tubo
- Mandril-tubo (bajo la jaula)
- Mandril-tubo (en el intereje)

### CALCULO DE LOS COEFICIENTES DE FRICCION

En función de los valores de temperatura y los valores de velocidad relativa definidos anteriormente, se calculan los valores de fricción utilizando funciones obtenidas experimentalmente. Dichos valores se multiplican por coeficientes relativos al tipo de lubricación utilizado.

### CALCULO DEL TIRO SOBRE EL MANDRIL ENTRE LAS JAULAS

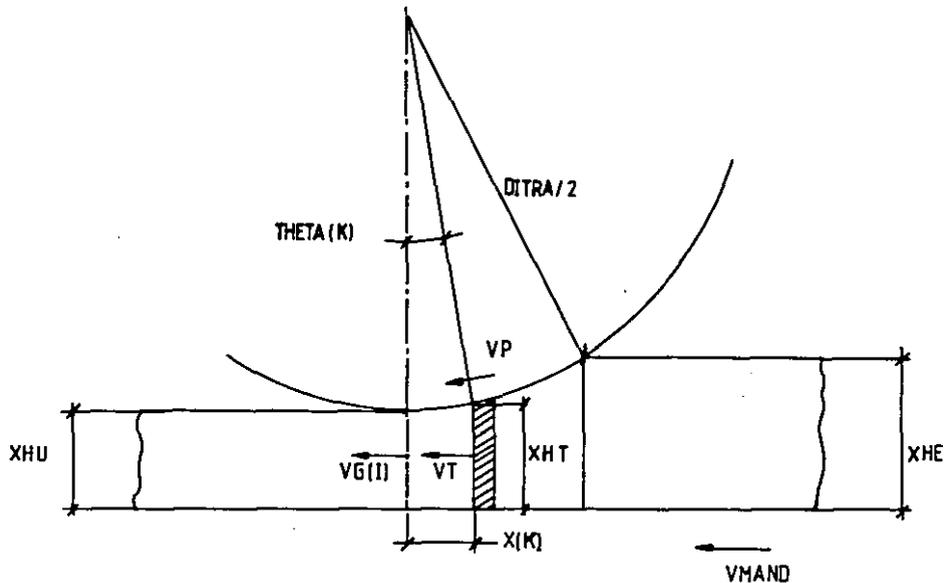
a) Cálculo de los valores de límite de resistencia del material a la salida de la jaula.

Para calcular el efecto de apriete del tubo sobre el mandril, se define el valor del límite de resistencia del material a la temperatura de laminación en base a la relación siguiente.

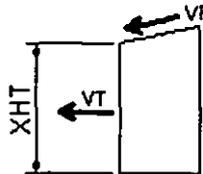
$$\text{SIGMA} = 9.213 \cdot \text{TP}^2 - 27.318 \cdot \text{TP} + 21.258 \quad (50)$$

donde TP = temperatura media del tubo.

b) Cálculo del tiro sobre el mandril a la salida de la



A) TUBO-CILINDRO



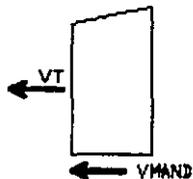
$$VT = \frac{VG(I) \cdot XHU}{XHT}$$

$$XHT = XHU + \left[ \frac{DITRA}{2} \cdot \cos(\text{THETA}(K)) \right]$$

$$VELRC = VP \cdot \cos(\text{THETA}(K)) - VT$$

$$VP = \pi \cdot \text{FITRA} \cdot \text{GIRI} / 60$$

B) TUBO-MANDRIL



$$VELRM = VT - VMAND$$

U.L.S.A.

VELOCIDAD RELATIVA TUBO-CILINDRO  
Y TUBO-MANDRIL BAJO LA JAULA

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 6,6 ESC: S/E 1988

### COEFICIENTES DE FRICCION

En funcion de la temperatura y de las velocidades relativas de laminado

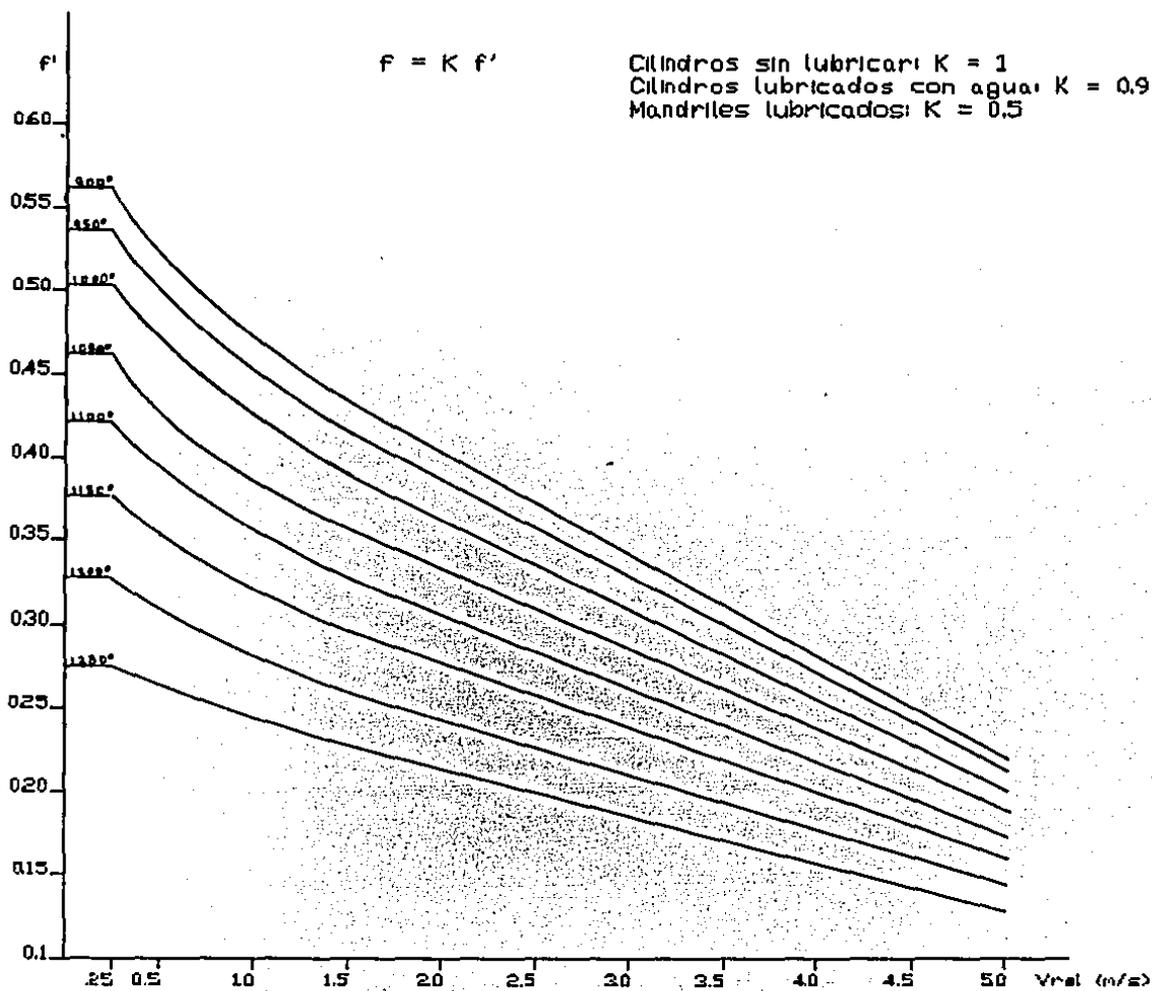


Figura 6.7

jaula.

Como se mencionó anteriormente tal esfuerzo está determinado por la recuperación elástica del mandril a la salida de la jaula, por efecto del cual se genera una presión entre el material y el mandril.

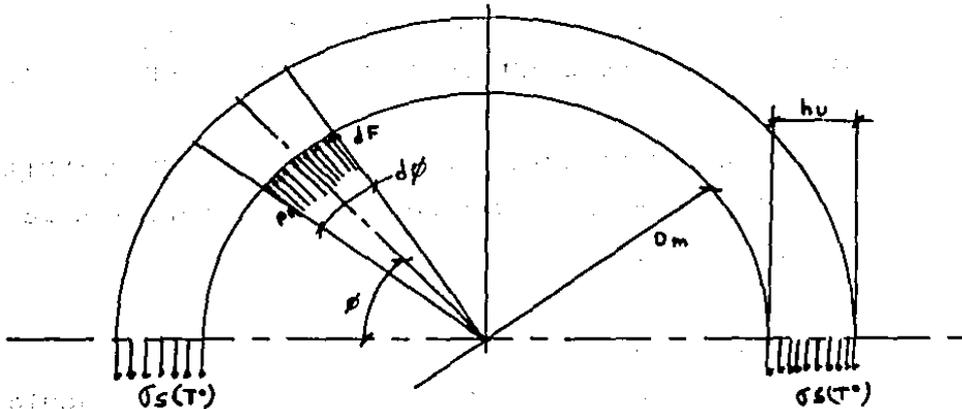
Para el cálculo de dicha presión se equilibra el esfuerzo que se genera por efecto del retorno del diámetro del mandril al valor inicial y la resistencia que opone la sección del tubo a dicho esfuerzo.

$$dF = (D_m/2) \cdot d\phi \cdot p^o \quad (51)$$

Equilibrio vertical:

$$2 \cdot h_u \cdot \sigma_s(T^o) = \int_0^\pi (D_m/2) \cdot p^o \cdot \sin\phi \cdot d\phi = (D_m/2) \cdot p^o \int_0^\pi \sin\phi \cdot d\phi$$

$$= D_m \cdot p^o$$



de donde

$$p^{\circ} = \frac{2 \cdot h_u \cdot \sigma_s(T^{\circ})}{D_m} \quad (53)$$

$\sigma_s T^{\circ}$  = Valor del límite de resistencia del material, calculado a la temperatura media del tubo a la salida.

Conocido  $p^{\circ}$ , el valor del tiro sobre el mandril viene dado por:

$$|T_{mand}|_{u.g.} = \mu_3 \cdot p^{\circ} \cdot \pi D_m \cdot K_4 D_m \quad (54)$$

donde  $\mu_3$  = coeficiente de fricción material-mandril, calculado a la salida de la jaula

$K_4 D_m$  = Tramo de mandril (en salida de la jaula) sobre el cual se resiente dicho efecto (se asume  $K_4 = 1.5$ )

El valor del tiro obtenido sirve también como condición para el cálculo de la distribución de la presión bajo la jaula, de hecho por efecto de esta presión, el material saliente de la jaula es frenado dando origen a un fenómeno de compresión sobre la sección de salida, que influye, aumentándola, la distribución de la presión de laminación.

La expresión utilizada por el programa es:

$$TIRO = X_{MU3} \cdot (X_{HU} \cdot 2) \cdot S_{NETG} \cdot (D_{IMA} \cdot A_{CONTM}) \cdot CF_6 \quad (54)$$

#### CALCULO DE LA RESISTENCIA A LA DEFORMACION DEL MATERIAL

La resistencia a la deformación de material  $K$  se obtiene en función de:

- Tipo de acero
- Temperatura del material
- Grado de deformación que se realiza bajo la jaula
- Velocidad de deformación

a) Cálculo del grado de deformación

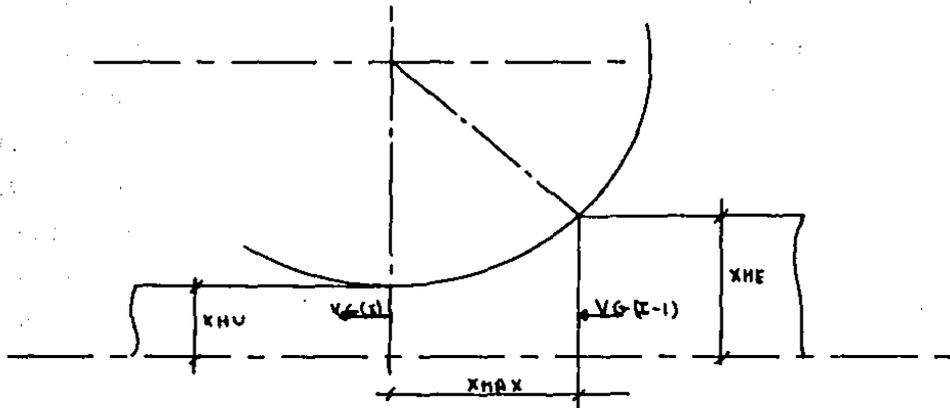
El grado de deformación se expresa, refiriéndose a cada jaula, por:

$$\text{DEFORM} = \frac{XHE - XHU}{XHE} \quad (55)$$

b) Cálculo de la velocidad de deformación

La velocidad de deformación viene dada por:

$$\text{VDEF} = \text{DEFORM} \left[ \frac{VG(I-1) + VG(I)}{2} \right] \left[ \frac{1}{XMAX} \right] \quad (56)$$



Dimensionalmente la velocidad de deformación se expresa en %/s y representa un índice del gradiente de tiempo en que ocurre la deformación.

c) Polinomio para el cálculo de la resistencia a la deformación

El programa utiliza para el cálculo de la resistencia en caliente un polinomio que liga todas las variables antes descritas.

POLINOMIO INTERPOLAR PARA LAS  $\sigma_i$  (SNE)

Dadas

TP = T/1000 T(°C) = temperatura del material

VL = log(VDEF) + 1

DF = 10·DEFOR + 1

se tiene:

$$\begin{aligned} \text{SNE} = & [B(1) + B(2) \cdot TP + B(3) \cdot TP^2 + B(4) \cdot TP] + \\ & [B(5) + B(6) \cdot TP + B(7) \cdot TP^2 + B(8) \cdot TP] \cdot VL + \\ & [B(9) + B(10) \cdot TP + B(11) \cdot TP^2 + B(12) \cdot TP] \cdot VL^2 + \\ & [B(13) + B(14) \cdot TP + B(15) \cdot TP^2 + B(16) \cdot TP] \cdot DF + \\ & [B(17) + B(18) \cdot TP + B(19) \cdot TP^2 + B(20) \cdot TP] \cdot DF \cdot VL + \\ & [B(21) + B(22) \cdot TP + B(23) \cdot TP^2 + B(24) \cdot TP] \cdot DF \cdot VL^2 + \\ & [B(25) + B(26) \cdot TP + B(27) \cdot TP^2 + B(28) \cdot TP] \cdot DF^2 + \\ & [B(29) + B(30) \cdot TP + B(31) \cdot TP^2 + B(32) \cdot TP] \cdot DF^2 \cdot VL + \\ & [B(33) + B(34) \cdot TP + B(35) \cdot TP^2 + B(36) \cdot TP] \cdot DF^2 \cdot VL^2 \end{aligned} \quad (57)$$

Los coeficientes B(1-36) toman valores según los diferentes tipos de acero.

A continuación se muestran dichos valores para un acero tipo 1, cuya composición química es: C = 0.12; Si = 0.33; Mn = 0.55.

B(1) = 613.10791

B(19) = 899.96313

B(2) = -1719.43180	B(20) = -260.12019
B(3) = 1554.20230	B(21) = -87.800994
B(4) = -465.28100	B(22) = 233.66305
B(5) = -723.21118	B(23) = -205.97340
B(6) = 2013.86710	B(24) = 59.964843
B(7) = -1852.99750	B(25) = 44.787567
B(8) = 563.44921	B(26) = -115.32633
B(9) = 186.90820	B(27) = 96.849639
B(10) = -520.77050	B(28) = -26.425781
B(11) = 481.48095	B(29) = -46.643875
B(12) = -147.43750	B(30) = 119.20372
B(13) = -354.83251	B(31) = -99.719039
B(14) = 948.45336	B(32) = 27.142089
B(15) = -829.52099	B(33) = 9.840210
B(16) = 237.62500	B(34) = -24.898498
B(17) = 386.72656	B(35) = 20.642410
B(18) = -1026.04000	B(36) = -5.565441

A continuación se muestran dichos valores para un acero tipo 2, equivalente a un SAE 1035, API J55 grado C.

B(1) = 2815.93350	B(19) = 5546.29290
B(2) = -7827.76950	B(20) = -1728.43750
B(3) = 7223.60930	B(21) = -488.07617
B(4) = -2214.10050	B(22) = 1390.45920
B(5) = -2863.15620	B(23) = -1312.54540
B(6) = 8093.49210	B(24) = 411.00000
B(7) = -7574.01560	B(25) = 286.84252
B(8) = 2350.78560	B(26) = -811.74975

B(9) = 644.68090	B(27) = 760.45947
B(10) = -1829.89740	B(28) = -236.00000
B(11) = 1720.96630	B(29) = -336.45678
B(12) = -537.00000	B(30) = 958.84448
B(13) = -1847.20500	B(31) = -905.06420
B(14) = 5212.70700	B(32) = 283.12500
B(15) = -4866.72260	B(33) = 79.967956
B(16) = 1505.43750	B(34) = -228.64892
B(17) = 2081.62470	B(35) = 216.57600
B(18) = -5902.65230	B(36) = -68.000076

A continuación se muestran dichos valores para un acero tipo 3, C = 0.10 a 0.15; Si = 0.15 a 0.35; Mn = 0.40 a 0.70; Cr = 0.70 a 1; Mo = 0.45 a 0.65.

B(1) = -3675.92960	B(19) = -4727.89840
B(2) = 10521.35100	B(20) = 1474.00000
B(3) = -9958.11320	B(21) = 345.21557
B(4) = 3119.04270	B(22) = -977.18261
B(5) = 3552.62500	B(23) = 915.72460
B(6) = -10106.92100	B(24) = -284.50000
B(7) = 9525.81640	B(25) = -193.98950
B(8) = -2974.75020	B(26) = 543.32202
B(9) = -847.90869	B(27) = -505.79711
B(10) = 2408.94090	B(28) = 156.43750
B(11) = -2265.65180	B(29) = 162.25321
B(12) = 706.00000	B(30) = -455.42968
B(13) = 1925.54190	B(31) = 423.97241
B(14) = -5437.64450	B(32) = -131.00390

$$B(15) = 5096.68750$$

$$B(33) = -25.383514$$

$$B(16) = -1584.93750$$

$$B(34) = 69.997619$$

$$B(17) = -1767.68670$$

$$B(35) = -64.049652$$

$$B(18) = 5024.86320$$

$$B(36) = 19.485961$$

### CALCULO DE LA CURVA DE PRESION EN EL MATERIAL

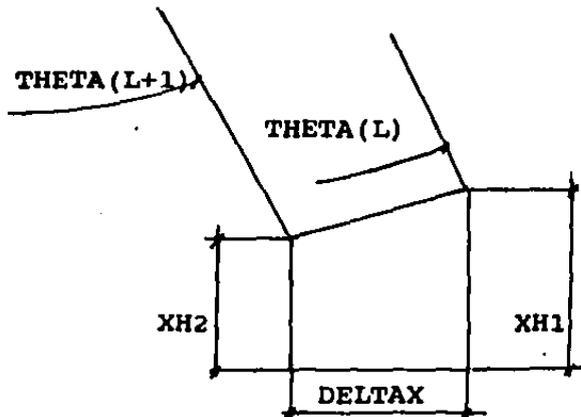
A partir de la zona de entrada se calcula el valor de presión en cada elemento finito en que fué dividido el arco de contacto, utilizando el procedimineto siguiente:

a) Definición de la altura del elemento y del ángulo

$$XH1 = XHU + [DITRA/2] \cdot [1 - \text{COS}(\text{THETA}(L))] \quad (58)$$

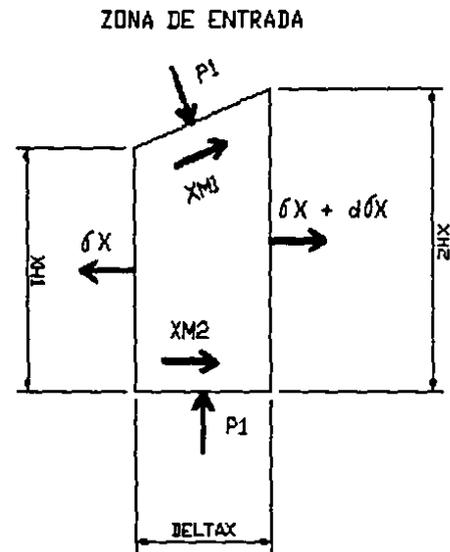
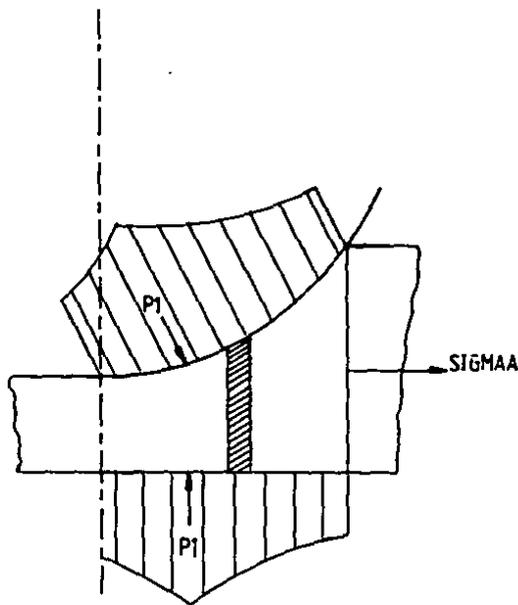
$$XH2 = XHU + [DITRA/2] \cdot [1 - \text{COS}(\text{THETA}(L + 1))] \quad (59)$$

$$\text{THETA1} = \text{ARCTAN} \left[ \frac{XH1 - XH2}{\text{DELTAX}} \right] \quad (60)$$



b) Definición de los incrementos de presión del lado de entrada

Con referencia a la figura (6.8) se parte del valor de



Haciendo un balance de fuerzas sobre la horizontal, se tiene:

$$(\sigma X + d\sigma X) XH2 = \sigma X \cdot XH1 - P1 \cdot \text{DELTA}X \cdot (XMU2 - XMU1 + \text{TAN}(\text{THETA}1))$$

Como el programa utiliza la misma nomenclatura SIGMAE para

$(\sigma X + d\sigma X)$  y  $(\sigma X)$ , la relación utilizada es:

$$\text{SIGMAE} \cdot XH2 = \text{SIGMAA} \cdot XH1 - P1 \cdot \text{DELTA}X \cdot (XMU2 - XMU1 + \text{TAN}(\text{THETA}1))$$

El valor de la presión viene definido por:

$$P1 = \text{SIGMAA} - \text{SIGMAE}$$

Donde SIGMAA es el esfuerzo de fluencia del acero en la condición de laminación de la jaula (temperatura, relación de deformación, velocidad de deformación)

U.L.S.A.

DIAGRAMA DE PRESION DE LAMINACION

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 6.8 ESC. S/E 1988

presión calculado sobre la sección de entrada, que es igual al valor de la resistencia a la deformación del material

$$\text{SIGMAA} = \text{SNE} \cdot (2/\sqrt{3}) \cdot \text{CF1} \quad (60)$$

y en base a la relación de equilibrio en el plano horizontal se calculan los incrementos de esfuerzo,

$$\text{XH2} \cdot \text{SIGMAE} = \text{SIGMAE} \cdot \text{XH1} + \text{P1} \cdot \text{DELTAX} \cdot \text{XMU2} + \text{TAN}(\text{THETA1}) \cdot \text{XMU1} \quad (61)$$

En el programa se utiliza la misma nomenclatura SIGMAE para indicar tanto la esfuerzo como el incremento.

El valor de P1 se calcula como:

$$\text{P1} = \text{SIGMAA} - \text{SIGMAE} \quad (62)$$

El cálculo se repite para los 56 elementos en que fué dividido el intervalo de contacto.

Las figuras (6.9) y (6.10) ilustran las curvas de presión calculadas para las distintas jaulas.

c) Definición de los incrementos de presión en el lado de salida

El procedimiento es análogo al anterior. La única variación concierne el valor de SIGMAE de salida debido al efecto resistente dado por el contacto tubo-mandril a la salida.

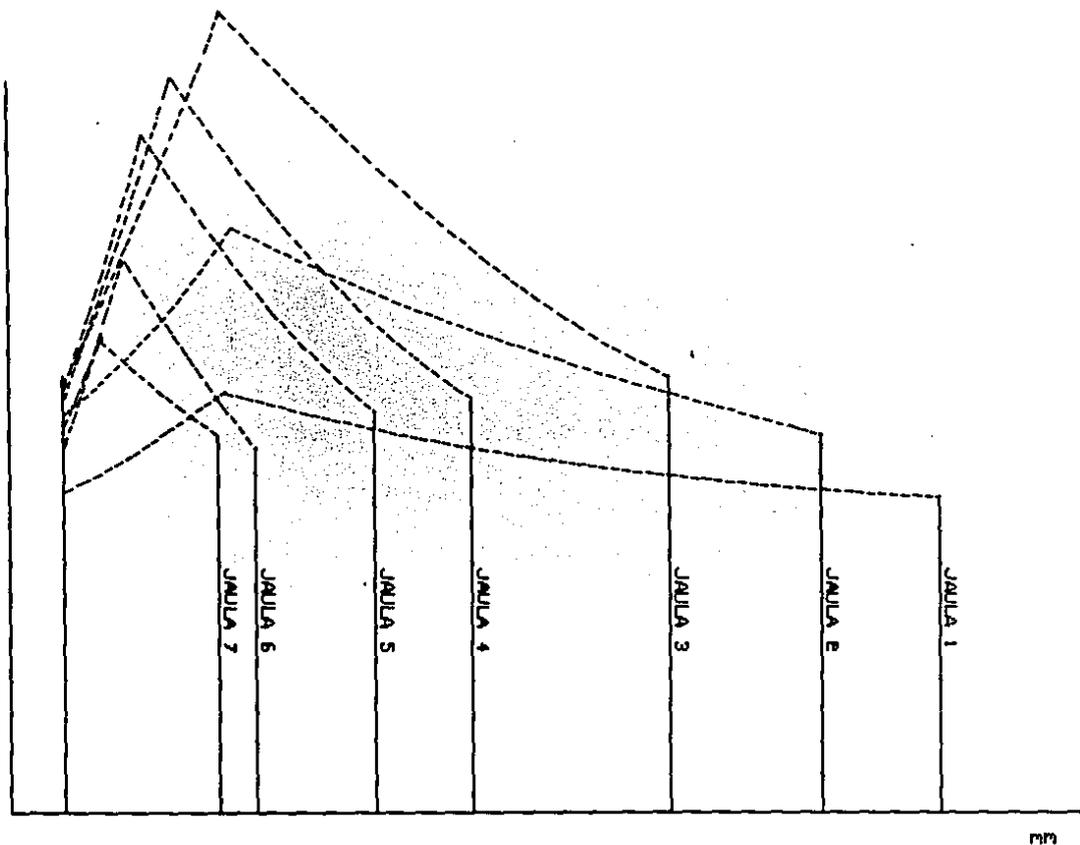
$$\text{SIGMAE} = - \frac{\text{TIRO(I)}}{\text{SEZ(I)}} \quad (63)$$

Partiendo de dicho valor se calculan los diagramas de presión en el lado de salida.

d) Definición del punto neutro

El elemento en que el valor de presión del lado de

Kg/mm



Calibre: 288 mm  
Espesor: 6.0 mm  
Elongación total: 5.608

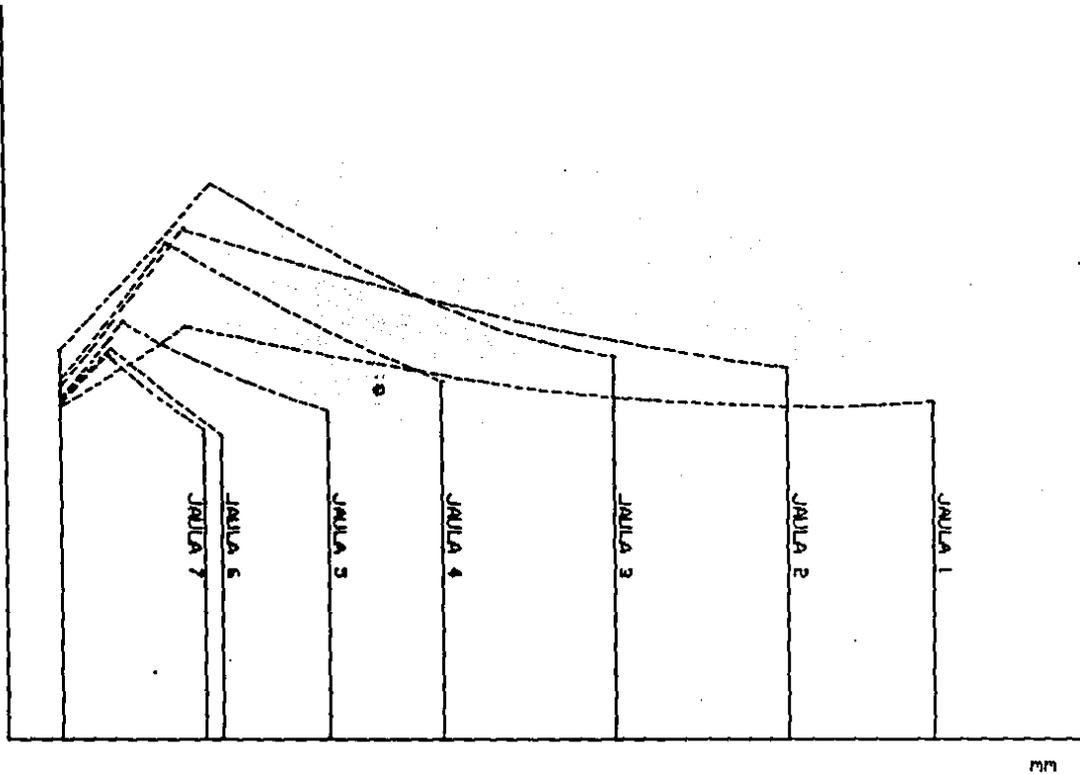
U.L.S.A.

DIAGRAMA DE PRESION DE LAMINACION

ALESSANDRO D.P. PICONE M.

FIG. 6.9 ESC: 3/E 1988

Kg/mm



Calibre: 288 mm  
Espesor: 13.5 mm  
Elongacion total: 3.456

U.L.S.A.		
DIAGRAMA DE PRESION DE LAMINACION		
ALESSANDRO D.P. PICONE M.		
FIG. 6.10	ESC: S/E	1988

salida iguala al del lado de entrada se define como punto neutro.

#### CALCULO DEL PAR DE LAMINACION

Conocidos los valores de presión de cada elemento, se calculan los valores al corte de cada elemento:

$$\text{TAGLIO} = \text{XMU1} \cdot \text{P1ME(L)} \quad (64)$$

y el valor acumulado

$$\text{COPPIA} = \text{TAGLIO} \cdot \frac{\text{DELTAX}}{\text{COS(THETA)}} \quad (65)$$

El valor del par se define por:

$$\text{COPPIA} = \text{COPPIA} \cdot \text{ACONTM} \cdot (\text{DI}/2) \cdot \text{DITRA(I)} \cdot \text{VM1} \quad (66)$$

donde VM1 = coeficiente correctivo  
 $\text{DI} = \text{DIMA} + 2 \cdot \text{XHU}$

#### CALCULO DE LA POTENCIA

El cálculo de la potencia en los motores viene dada por:

$$\text{MPOTM(I)} = \left[ \text{COPPIA} \cdot (\pi/30) \cdot \text{GIRI} \cdot \frac{\text{FITRA}}{\text{DITRA}} \right] + \left[ \text{MITIRG} \cdot \text{VMAND} \right] \quad (67)$$

y toma en cuenta tanto la potencia de deformación como de la potencia transferida al mandril descargada sobre el sistema de retención.

#### CALCULO DE LA FUERZA DE SEPARACION

La fuerza de separación viene definida por:

$$\text{FORSA} = \frac{\text{ACONTM} \cdot \text{DI}}{2} \cdot \frac{\text{PM}}{56} \cdot (56 \cdot \text{DELTA X}) \cdot \text{VM1} \quad (68)$$

donde  $\text{PM}/56 =$  valor medio de la presión  
 $\text{VM1} =$  coeficiente correctivo

CALCULO DEL TIRO SOBRE EL MANDRIL Y POTENCIA DE FRICCCION

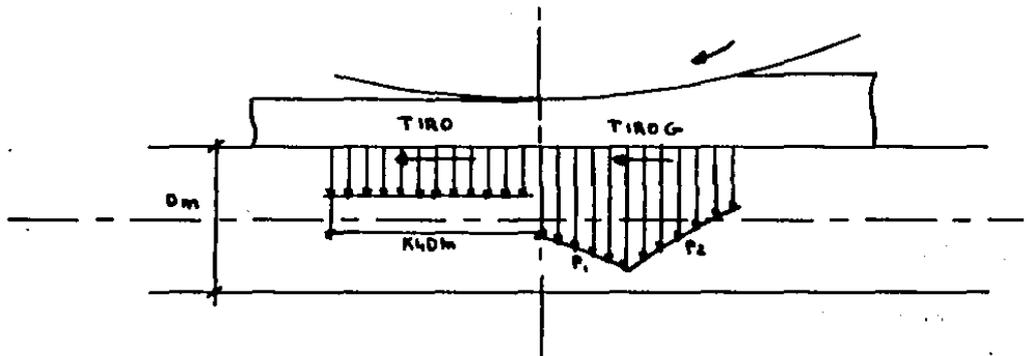
El valor del tiro de cada jaula está definido por dos términos:

Tiro bajo la jaula

$$\text{TIROG} = 2 \cdot \text{FORSA} \cdot \text{XMU2} \cdot \text{CF4} \quad (69)$$

Tiro a la salida de la jaula

$$\text{TIRO} = \text{XMU3} \cdot (\text{XHU} \cdot 2) \cdot \text{SNETG} \cdot (\text{DIMA} \cdot \text{ACONTM}) \cdot \text{CF6} \quad (70)$$



El valor del tiro acumulado se define como la suma de los valores de tiro de las jaulas en agarre contemporáneamente.

Para conocer el número de jaulas en agarre contemporáneamente se realiza una comparación entre el valor del volumen del perforado en entrada y la suma de los volúmenes de tubo relativos a los distintos interejos.

El valor de la potencia de fricción en el mandril viene dada por:

$$POTASG = \frac{TIROG \cdot VREL2}{CONTAT \cdot ACONTM \cdot DIMA} \quad (71)$$

#### CALCULO DEL SALTO EN VACIO

Dados los valores de salto definidos en el programa geométrico, los valores de fuerza de separación para cada jaula y las curvas de cedencia de las distintas jaulas (experimentales), se definen los saltos en vacío por:

$$SALTVM = SALTVM - FORSA \cdot ELAGM / 100 - RGIO \quad (72)$$

donde ELAGM y RGIO son los coeficientes de la recta que expresa la cedencia elástica del conjunto cilindros-jaula (se consideran dos valores diferentes en función del tipo de jaula, 1 a 3 y 4 a 7).

## REGULACIONES MECANICAS

A continuación se describen las regulaciones mecánicas a realizar al equipo de laminación.

#### REGULACION DE LAS SILLAS DE SOPORTE PERFORADO EN LA ESTACION DE PREINSERCIÓN

Las sillas se regulan en altura por medio de un gato mecánico que actúa sobre cuñas en las que apoyan las sillas.

El desplazamiento en un gato está determinado por la siguiente función:

$$S = 1.28125 (F - M) - 25.62500$$

donde  $F$  = diámetro exterior del perforado en mm  
 $M$  = diámetro del mandril en mm

Con  $S = 0$ ,  $F - M = 20$  lo que implica que la diferencia entre las tangentes es de 10 mm.

Las sillas se posicionan por lo tanto a 10 mm abajo del perfil del rolo (distancia entre las dos cúspides) y a esta posición corresponde la lectura 0 de regulación.

#### Posiciones del gato

1) Posición 0. Distancia sillas, rodillo s.m. 10mm; espesor del perforado 7 mm.

2) Posición 11.02. Distancia sillas, rodillo s.m. 24.3 mm; espesor del perforado 20mm.

Entre las posiciones 0 y 11.02 se posiciona el "fin de carrea" de emergencia del gato totalmanete atrás.

3) Posición 107.88. Distancia sillas, rodillo s.m. 62.1mm; espesor del perforado 57 mm.

4) Posición 115. Máxima carrera del gato.

Entre las posiciones 107.88 y 115 se posiciona el "fin de carrea" de emergencia del gato totalmente adelante.

La carrera del gato es superior a las carreras indicadas, pero éstas están limitadas por topes mecánicos.

#### ROLOS DE SOPORTE DEL MANDRIL EN EL EJE DE LAMINACION

Los rolos de soporte del mandril se regulan por medio de tirantes que limitan la carrera del cilindro de accionamiento de cada rolo.

El conjunto de tirantes se posiciona por medio de un gato mandado por un motor eléctrico.

El desplazamiento en milímetros del gato se determina con la siguiente función.

$$S = 171.63956 - 540 \left[ \left[ 0.5 \frac{590 - 0.5320}{550} \right] - 0.86603 \left[ 1 - \frac{590 - 0.53209 \cdot M}{550} \right]^{0.5} \right]$$

donde M es el calibre del mandril, expreado en mm.

En la fórmula ya está comprendido el valor de 10 mm que representa la carrera de seguridad en el mandril mínimo de 100 mm y en el máximo de 275 mm.

El índice del nonio rectilíneo T 66247 se posiciona en el valor de 15 mm con mandril mínimo de 100 mm. Se tendrá por lo tanto en el nonio que de 0 a 5 es la carrera disponible del término de la carrera de emergencia, 5 representa el punto de partida 0 de la lectura del indicador en el púlpito y 15 representa el valor a partir del cual el rolo es posicionado para soportar el mandril mínimo de 100 mm.

El término de la carrera de extremidad se posicionará entre 245 y 250.

#### ROLOS DE SOPORTE DEL PERFORADO EN EL EJE DE LAMINACION

Los rolos de soporte del perforado se regulan por medio de tirantes que limitan la carrera del cilindro de accionamiento de cada rolo o pareja de rolos.

El conjunto de tirantes se posiciona por medio de un gato mandado por un motor eléctrico.

El desplazamiento en milímetros del gato se determina con la siguiente función.

$$S = 62.41257 - 540 \left[ \left[ 0.5 \frac{590 - 0.53209 \cdot F}{550} \right] + \right. \\ \left. - 0.86603 \left[ 1 - \left[ \frac{590 - 0.53209 \cdot F}{550} \right]^2 \right]^{0.5} \right]$$

donde F es el diámetro del perforado, expreado en mm.

En la fórmula ya está comprendido el valor de 25 mm que representa la carrera de seguridad en el perforado mínimo de 180 mm y en el máximo de 275 mm.

El índice del nonio rectilíneo T 66247 se posiciona en el valor de 50 mm con perforado mínimo de 140 mm. Se tendrá por lo tanto en el nonio que de 0 a 25 es la carrera disponible del término de la carrera de emergencia, 25 representa el punto de partida 0 de la lectura del indicador en el púlpito y 50 representa el valor a partir del cual el

rolo es posicionado para soportar el mandril mínimo de 180 mm.

El término de la carrera de extremidad se posicionará entre 225 y 250.

#### REGULACION DEL PINCH-ROLL

Los rolos se regulan en altura por medio de un gato mecánico que actúa directamente sobre el soporte de los rolos. El desplazamiento vertical, en milímetros, del gato se determina con la siguiente función en la cual F se expresa en milímetros:

$$S = 0.53209 \cdot F - 79.50020$$

En la fórmula se considera el valor de 16.276 mm de carrera de seguridad en el diámetro de perforado mínimo.

Posiciones del gato y carreras absolutas (las carreras se indican negativas porque se dirigen hacia abajo).

- 1) Gato totalmente extendido: Posición 0.
- 2) Gato a -10 mm, en la carrera de 10 mm se posiciona el "fin de carrea" de emergencia del gato totalmente arriba.

A la posición -10 mm le corresponde el valor cero de la lectura del posicionador en el púlpito: diámetro del perforado correspondiente 149.41119 mm.

- 3) Gato a -26.276 mm (lectura en el posicionador +16.276): posición de los rolos de soporte perforado mínimo, diámetro 180 mm.

- 4) Gato a -111.4104 mm (lectura en el posicionador

+101.4104): posición de los rolos de soporte perforado máximo, diámetro 340 mm.

5) Gato a -127.6864 mm (lectura en el posicionador +117.6864): valor de lectura máximo con perforado correspondiente de 370.58881 mm de diámetro.

6) Gato de -127.6864 a -150 mm: en la carrera se posiciona el "fin de carrea" del gato totalmente abajo.

Nota general:

- Carrera del gato	150 mm
- Carrera extra hacia arriba	26.276 mm (con $\phi$ 180)
- Recorrido máximo desde abajo	38.5896 mm (con $\phi$ 340)
- Carrera de regulación real	85.1344 mm

#### JAULITAS DE SOPORTE MANDRIL - REGULACION DE LOS ROLOS

Los rolos se regulan mediante un gato mecánico sobre cuyo tornillo se encuentra el cilindro oleodinámico que controla la abertura de los rolos al paso del perforado.

El desplazamiento del gato viene dado por la siguiente función:

$$S = 0.39 \cdot M - 34$$

donde M es el diámetro del mandril en mm.

En la fórmula se incluye el valor de 5 mm de carrera de seguridad sobre el diámetro mínimo de 100 mm y el máximo de 275 mm.

El valor de la función es un valor medio obtenido de un diagrama práctico de desplazamientos. De hecho, no es posible un cálculo analítico de los desplazamientos. Con el uso de esta fórmula se obtienen valores reales de los mandriles

... aumentados de aproximadamente 0.25 a 0.50 mm, hasta el mandril de 260 mm, mientras que para el diámetro de mandril máximo teórico de 275 mm se obtiene un valor de aproximadamente 0.44 mm inferior al nominal.

#### Carrera del tornillo del gato

- 1) Gato totalmente adentro : 0
- 2) Gato a +3 mm; en esta carrera se posiciona el "fin de carrera" de emergencia totalmente atrás. A esta posición le corresponde el valor 0 de la lectura en el púlpito de mando.
- 3) Gato a +8 mm (lectura en el posicionador +5); corresponde a la posición del rolo de soporte mandril mínimo,  $\phi 100$  mm.
- 4) Gato a +76.26 mm (lectura en el posicionador +73.25): corresponde a la posición del rolo de soporte mandril máximo,  $\phi 275$  mm.
- 5) Gato a +81.25 mm (lectura en el posicionador +78.25); corresponde a la máxima lectura del posicionador con referencia a un mandril máximo de  $\phi 287.82$  mm.
- 6) Gato de 81.25 a + 85 mm; carrera en la que se posiciona el "fin de carrera" de emergencia totalmente afuera.

#### REGULACION DE LA VIA DE ROLOS A LA SALIDA DEL EXTRACTOR Y LA VIA DE ROLOS A LA ENTRADA DEL CALIBRADOR

La vía de rolos se regula por medio de gatos mecánicos que actúan sobre un extremo de la trabe que sopiorta los

rolos. El otro extremo de la trabe está articulado.

El desplazamiento, en milímetros, del gato viene dado por la función siguiente:

$$S = 169.63214 - 0.51764 \cdot T$$

donde T = diámetro del tubo en mm

S = carrera del gato en mm

Posiciones del gato y carreras absolutas

1) Gato totalmente adentro: posición 0.

2) Gato a 24.9 mm : corresponde al diámetro T = 279.6.

Entre la posición 0 y la 24.9 mm del gato se posiciona el "fin de carrera" de emergencia del gato bajo.

3) Gato a 84.74 mm: corresponde al diámetro T = 164 mm.

4) Gato totalmente extendido: posición 150 mm.

Entre la posición 84.74 y la 150 mm del gato se posiciona el "fin de carrera" de emergencia del gato alto.

Nota general:

- Carrera del gato	150 mm
- Carrera extra superior	65.26 mm
- Carrera de trabajo	59.84 mm
- Carrera extra inferior	24.9 mm

#### REGULACION DE LA VIA DE ROLOS A LA SALIDA DEL CALIBRADOR

La vía de rolos se regula mediante de gatos mecánicos que actúan sobre un extremo de la trabe que soporta los rolos. El otro extremo de la trabe está articulado.

El desplazamiento, en milímetros, del gato viene dado por la función siguiente:

$$S = 167.61335 - 0.51764 \cdot T$$

donde T = diámetro del tubo en mm

S = carrera del gato en mm

#### Posiciones del gato y carreras absolutas

1) Gato totalmente adentro: posición 0.

2) Gato a 24.9 mm : corresponde al diámetro T = 275.7.

Entre la posición 0 y la 24.9 mm del gato se posiciona el "fin de carrera" de emergencia del gato bajo.

3) Gato a 107.88 mm: corresponde al diámetro T = 115.4mm.

4) Gato totalmente extendido: posición 150 mm.

Entre la posición 107.88 y la 150 mm del gato se posiciona el "fin de carrera" de emergencia del gato alto.

#### Nota general:

- Carrera del gato	150 mm
- Carrera extra superior	42.12 mm
- Carrera de trabajo	82.98 mm
- Carrera extra inferior	24.9 mm

## ANEXOS

**RESULTADOS QUE SE OBTIENEN DEL MODELO MATEMATICO**

A continuación se incluyen copias de las impresiones que ejecuta el modelo matemático, para complementar el presente trabajo.

\*\*\*\*\* DISEÑO DE PAÑES \*\*\*\*\*

7/ 4/86

T A M S A	D.E.(MM)	ESP.(MM)	SECCION	CALIBRE	311.0			
M P M	PERFORADO---	24.50	25361.		Elongacion 3.541"			
10 3/4"	ESBOZO-----	311.00	7.50	7163.				
-----								
NUNERO DE JAULAS	1	2	3	4	5	6	7	
Area del material por secc.	17735.	12147.	9140.	7617.	7254.	7163.	0.	
Relacion de Elongacion	1.430	1.460	1.329	1.200	1.050	1.013	0.000	
Esesor en Fondo de Garganta mm	13.30	11.45	8.47	7.72	7.52	7.50	0.00	
Diámetro de Mandril	296.00	296.00	296.00	296.00	296.00	296.00		
***** PERFIL DE GARDANTA *****								
Altura de Paso (D=2R) mm	322.60	318.90	312.94	311.43	311.05	311.00	0.00	
Radio de Garganta (R1) mm	169.37	162.64	156.47	155.72	155.52	155.50	0.00	
Coef. de Exentricidad (R1/R)	1.05	1.02	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	
Exentricidad (R1-R) mm	8.06	3.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
***** PERFIL DEL FLANCO *****								
Angulo de Flanco (ALFA1) gr	40.00	40.00	40.00	35.00	35.00	30.00	0.00	
Radio de Flanco (R2) mm	381.1	325.3	312.9	233.6	233.3	233.3	0.0	
Relacion de Flanco (R2/R1)	2.25	2.00	2.00	1.50	1.50	1.50	0.00	
***** PERFIL DE CONTENCION *****								
Angulo de Contencion (ALFA3) gr	13.86	33.86	24.24	25.25	30.08	28.24	0.00	
Radio de Contencion (R4) mm	0.0	161.2	135.7	153.9	163.3	183.2	0.0	
Relac. de Contencion (R4/R3)	1.10	1.10	1.10	1.10	1.10	1.20	0.00	
Angulo de Desfosue (ALFA4) gr	14.00	10.00	10.00	10.00	10.00	8.00	0.00	
Radio de Desfosue (R5) mm	85.6	38.5	39.2	36.1	35.6	28.1	0.0	
***** PERFIL DE MATERIAL EN SALTO *****								
Radio de Salto (R3) mm	83.99	146.55	123.38	139.93	148.44	152.63	0.00	
Ang.Separacion Matel.(ALF2) gr	18.25	33.48	23.94	25.15	30.03	28.23	0.00	
***** SALTOS *****								
Salto Fijos	46.	46.	46.	35.	35.	25.	0.	
***** PERIMETROS POR FASE *****								
Perimetro Exterior	1057.	1014.	996.	982.	979.	978.	0.	
Perimetro Interior	944.	936.	936.	932.	932.	930.	0.	
***** ANGULOS DE SECCIONES *****								
THETA	gr	47.909	49.139	50.000	55.000	55.000	40.000	0.000
GAMMA2	gr	11.772	3.042	7.955	6.517	3.285	1.171	0.000
BETA	gr	30.319	37.819	32.045	28.483	31.715	28.829	0.000

\*\*\*\*\* DATOS PARA DIBUJO \*\*\*\*\*

7/ 4/86

T A M S A	D.E.(MM)	ESP.(MM)	SECCION	CALIBRE	311.0		
M P M	PERFORADO---	24.50	25361				
10 3/4'	ESBOZO-----	311.00	7.50	0.	ELONGACION 3.541		
-----							
NUMERO DE JAULAS	1	2	3	4	5	6	7
***** DATOS PERFIL DEL CILINDRO **							
***** PERFIL DE GARGANTA *****							
Altura de Paso (D=24R) mm	322.60	318.90	312.94	311.43	311.05	311.00	0.00
Radio de Garganta (R1) mm	169.37	162.64	156.47	155.72	155.52	155.50	0.00
Excentricidad (R1-R) mm	8.06	3.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
***** PERFIL DEL FLANCO *****							
Angulo de Flanco (ALFA1) sr	40.00	40.00	40.00	35.00	35.00	30.00	0.00
Radio de Flanco (R2) mm	381.11	325.31	312.91	233.61	233.31	233.31	0.00
***** PERFIL DE CONTENCIÓN *****							
Angulo de Contención (ALFA3) sr	13.86	33.86	24.24	25.25	30.08	28.24	0.00
Radio de Contención (R4) mm	0.00	161.21	135.71	153.91	163.31	183.21	0.00
***** PERFIL DE CONTENCIÓN *****							
Angulo de Desfosue (ALFA4) sr	14.00	10.00	10.00	10.00	10.00	8.00	0.00
Radio de Desfosue (R5) mm	85.61	38.51	39.21	36.11	35.61	28.11	0.00
***** COORDENADAS DE CENTROS ****							
Circunf. de Garganta (XC1) mm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Circunf. de Garganta (YC1) mm	-8.06	-3.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Circunf. de Flanco (XC2) mm	-157.10	-123.01	-119.86	-63.78	-63.70	-67.33	0.00
Circunf. de Flanco (YC2) mm	-149.97	-109.59	-100.58	-44.66	-44.60	-38.88	0.00
Circunf. de contención (XC4) mm	0.00	6.81	30.35	6.23	-4.15	-23.45	0.00
Circunf. de Contención (YC4) mm	0.00	-8.99	-6.55	-6.67	-7.80	-14.72	0.00
Circunf. de Desfosue (XC5) mm	245.76	200.60	199.19	191.38	189.95	183.44	0.00
Circunf. de Desfosue (YC5) mm	85.62	38.53	39.21	36.11	35.62	28.13	0.00
***** SALTOS *****							
Salto Fijos	46.	46.	46.	35.	35.	25.	0.

DR	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
0	24.500	11.451	11.451	7.716	7.716	7.500	
1	24.500	11.452	11.451	7.716	7.716	7.500	
2	24.500	11.453	11.451	7.716	7.716	7.500	
3	24.500	11.456	11.451	7.716	7.716	7.500	
4	24.500	11.459	11.451	7.716	7.716	7.500	
5	24.500	11.463	11.451	7.716	7.716	7.500	
6	24.500	11.469	11.451	7.716	7.716	7.500	
7	24.500	11.475	11.451	7.716	7.716	7.500	
8	24.500	11.482	11.451	7.716	7.716	7.500	
9	24.500	11.490	11.451	7.716	7.716	7.500	
10	24.500	11.499	11.451	7.716	7.716	7.500	
11	24.500	11.509	11.451	7.716	7.716	7.500	
12	24.500	11.520	11.451	7.716	7.716	7.500	
13	24.500	11.532	11.451	7.716	7.716	7.500	
14	24.500	11.544	11.451	7.716	7.716	7.500	
15	24.500	11.558	11.451	7.716	7.716	7.500	
16	24.500	11.573	11.451	7.716	7.716	7.500	
17	24.500	11.588	11.451	7.716	7.716	7.500	
18	24.500	11.605	11.451	7.716	7.716	7.500	
19	24.500	11.622	11.451	7.716	7.716	7.500	
20	24.038	11.640	11.451	7.716	7.716	7.500	
21	23.349	11.659	11.451	7.716	7.716	7.500	
22	22.491	11.679	11.451	7.716	7.716	7.500	
23	22.046	11.700	11.451	7.716	7.716	7.500	
24	21.472	11.722	11.451	7.716	7.716	7.500	
25	20.909	11.745	11.169	7.716	7.716	7.500	
26	20.377	11.768	10.819	7.716	7.716	7.500	
27	19.877	11.793	10.493	7.716	7.716	7.500	
28	19.406	11.818	10.192	7.716	7.716	7.500	
29	18.946	11.844	9.916	7.716	7.716	7.500	
30	18.556	11.871	9.664	7.716	7.716	7.500	
31	18.176	11.899	9.436	7.716	7.556	7.500	
32	17.825	11.927	9.233	7.716	7.532	7.500	
33	17.504	11.957	9.053	7.716	7.524	7.500	
34	17.212	11.987	8.898	7.716	7.524	7.500	
35	16.947	12.018	8.767	7.716	7.524	7.500	
36	16.715	12.050	8.659	7.716	7.524	7.500	
37	16.511	12.082	8.576	7.716	7.524	7.500	
38	16.334	12.116	8.516	7.716	7.524	7.500	
39	16.187	12.150	8.481	7.716	7.524	7.500	
40	16.069	12.185	8.469	7.716	7.524	7.500	

GR	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
41	15.965	12.220	8.469	7.716	7.524	7.500	
42	15.862	12.257	8.469	7.716	7.524	7.500	
43	15.762	12.294	8.469	7.716	7.524	7.500	
44	15.663	12.331	8.469	7.716	7.524	7.500	
45	15.564	12.370	8.469	7.716	7.524	7.500	
46	15.471	12.409	8.469	7.716	7.524	7.500	
47	15.377	12.449	8.469	7.716	7.524	7.500	
48	15.284	12.489	8.469	7.716	7.524	7.500	
49	15.194	12.531	8.469	7.716	7.524	7.500	
50	15.108	12.572	8.469	7.716	7.524	7.500	
51	15.021	12.627	8.469	7.716	7.524	7.500	
52	14.937	12.706	8.469	7.716	7.524	7.500	
53	14.854	12.810	8.469	7.716	7.524	7.500	
54	14.774	12.939	8.469	7.716	7.524	7.500	
55	14.695	13.093	8.469	7.716	7.524	7.500	
56	14.619	13.272	8.469	7.724	7.524	7.500	
57	14.544	13.300	8.469	7.747	7.524	7.500	
58	14.472	13.300	8.469	7.787	7.524	7.500	
59	14.401	13.300	8.469	7.842	7.524	7.500	
60	14.333	13.300	8.469	7.914	7.524	7.500	
61	14.266	13.300	8.469	8.001	7.524	7.508	
62	14.202	13.300	8.469	8.103	7.524	7.524	
63	14.140	13.300	8.469	8.222	7.524	7.524	
64	14.079	13.300	8.469	8.357	7.524	7.524	
65	14.021	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
66	13.966	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
67	13.912	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
68	13.860	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
69	13.811	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
70	13.764	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
71	13.719	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
72	13.676	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
73	13.636	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
74	13.598	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
75	13.562	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
76	13.528	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
77	13.497	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
78	13.468	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
79	13.441	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
80	13.417	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
81	13.395	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
82	13.375	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
83	13.357	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
84	13.342	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
85	13.329	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
86	13.319	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
87	13.311	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
88	13.305	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
89	13.301	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	
90	13.300	13.300	8.469	8.469	7.524	7.524	

TANSA MPH 10<sup>3</sup>/<sub>4</sub>

DISTRIBUCION DE ELONGACION EN LA SECCION

4/86

OR	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
0	1.000	2.139	1.000	1.484	1.000	1.029	
1	1.000	2.139	1.000	1.484	1.000	1.029	
2	1.000	2.139	1.000	1.484	1.000	1.029	
3	1.000	2.139	1.000	1.484	1.000	1.029	
4	1.000	2.138	1.001	1.484	1.000	1.029	
5	1.000	2.137	1.001	1.484	1.000	1.029	
6	1.000	2.136	1.001	1.484	1.000	1.029	
7	1.000	2.135	1.002	1.484	1.000	1.029	
8	1.000	2.134	1.003	1.484	1.000	1.029	
9	1.000	2.132	1.003	1.484	1.000	1.029	
10	1.000	2.131	1.004	1.484	1.000	1.029	
11	1.000	2.129	1.005	1.484	1.000	1.029	
12	1.000	2.127	1.006	1.484	1.000	1.029	
13	1.000	2.125	1.007	1.484	1.000	1.029	
14	1.000	2.122	1.008	1.484	1.000	1.029	
15	1.000	2.120	1.009	1.484	1.000	1.029	
16	1.000	2.117	1.011	1.484	1.000	1.029	
17	1.000	2.114	1.012	1.484	1.000	1.029	
18	1.000	2.111	1.013	1.484	1.000	1.029	
19	1.000	2.108	1.015	1.484	1.000	1.029	
20	1.019	2.065	1.016	1.484	1.000	1.029	
21	1.049	2.003	1.018	1.484	1.000	1.029	
22	1.080	1.943	1.020	1.484	1.000	1.029	
23	1.110	1.886	1.022	1.484	1.000	1.029	
24	1.141	1.832	1.024	1.484	1.000	1.029	
25	1.172	1.780	1.052	1.448	1.000	1.029	
26	1.202	1.732	1.088	1.402	1.000	1.029	
27	1.233	1.686	1.124	1.360	1.000	1.029	
28	1.262	1.642	1.159	1.321	1.000	1.029	
29	1.292	1.601	1.194	1.285	1.000	1.029	
30	1.320	1.563	1.228	1.252	1.000	1.029	
31	1.348	1.528	1.261	1.223	1.009	1.020	
32	1.374	1.494	1.292	1.197	1.016	1.013	
33	1.400	1.464	1.321	1.173	1.021	1.007	
34	1.423	1.436	1.347	1.153	1.024	1.004	
35	1.445	1.410	1.371	1.136	1.025	1.003	
36	1.466	1.387	1.392	1.122	1.025	1.003	
37	1.484	1.367	1.409	1.111	1.025	1.003	
38	1.500	1.348	1.423	1.104	1.025	1.003	
39	1.514	1.332	1.433	1.099	1.025	1.003	
40	1.525	1.319	1.439	1.098	1.025	1.003	

BR	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
41	1.535	1.306	1.443	1.098	1.025	1.003	
42	1.545	1.294	1.447	1.098	1.025	1.003	
43	1.554	1.282	1.452	1.098	1.025	1.003	
44	1.564	1.270	1.456	1.098	1.025	1.003	
45	1.574	1.258	1.461	1.098	1.025	1.003	
46	1.584	1.247	1.465	1.098	1.025	1.003	
47	1.593	1.235	1.470	1.098	1.025	1.003	
48	1.603	1.224	1.475	1.098	1.025	1.003	
49	1.612	1.213	1.480	1.098	1.025	1.003	
50	1.622	1.202	1.485	1.098	1.025	1.003	
51	1.631	1.190	1.491	1.098	1.025	1.003	
52	1.640	1.176	1.500	1.098	1.025	1.003	
53	1.649	1.160	1.513	1.098	1.025	1.003	
54	1.658	1.142	1.528	1.098	1.025	1.003	
55	1.667	1.122	1.546	1.098	1.025	1.003	
56	1.676	1.101	1.567	1.094	1.037	1.003	
57	1.685	1.094	1.571	1.093	1.030	1.003	
58	1.693	1.088	1.571	1.088	1.035	1.003	
59	1.701	1.083	1.571	1.080	1.042	1.003	
60	1.709	1.078	1.571	1.070	1.052	1.003	
61	1.717	1.073	1.571	1.059	1.063	1.002	
62	1.725	1.068	1.571	1.045	1.077	1.000	
63	1.733	1.063	1.571	1.030	1.093	1.000	
64	1.740	1.059	1.571	1.013	1.111	1.000	
65	1.747	1.054	1.571	1.000	1.125	1.000	
66	1.754	1.050	1.571	1.000	1.125	1.000	
67	1.761	1.046	1.571	1.000	1.125	1.000	
68	1.768	1.042	1.571	1.000	1.125	1.000	
69	1.774	1.038	1.571	1.000	1.125	1.000	
70	1.780	1.035	1.571	1.000	1.125	1.000	
71	1.786	1.032	1.571	1.000	1.125	1.000	
72	1.791	1.028	1.571	1.000	1.125	1.000	
73	1.797	1.025	1.571	1.000	1.125	1.000	
74	1.802	1.022	1.571	1.000	1.125	1.000	
75	1.807	1.020	1.571	1.000	1.125	1.000	
76	1.811	1.017	1.571	1.000	1.125	1.000	
77	1.815	1.015	1.571	1.000	1.125	1.000	
78	1.819	1.013	1.571	1.000	1.125	1.000	
79	1.823	1.011	1.571	1.000	1.125	1.000	
80	1.826	1.009	1.571	1.000	1.125	1.000	
81	1.829	1.007	1.571	1.000	1.125	1.000	
82	1.832	1.006	1.571	1.000	1.125	1.000	
83	1.834	1.004	1.571	1.000	1.125	1.000	
84	1.836	1.003	1.571	1.000	1.125	1.000	
85	1.838	1.002	1.571	1.000	1.125	1.000	
86	1.840	1.001	1.571	1.000	1.125	1.000	
87	1.841	1.001	1.571	1.000	1.125	1.000	
88	1.841	1.000	1.571	1.000	1.125	1.000	
89	1.842	1.000	1.571	1.000	1.125	1.000	
90	1.842	1.000	1.571	1.000	1.125	1.000	

GR	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
0	1.000	2.139	2.139	3.175	3.175	3.267	
1	1.000	2.139	2.139	3.175	3.175	3.267	
2	1.000	2.139	2.139	3.175	3.175	3.267	
3	1.000	2.139	2.139	3.175	3.175	3.267	
4	1.000	2.138	2.139	3.175	3.175	3.267	
5	1.000	2.137	2.139	3.175	3.175	3.267	
6	1.000	2.136	2.139	3.175	3.175	3.267	
7	1.000	2.135	2.139	3.175	3.175	3.267	
8	1.000	2.134	2.139	3.175	3.175	3.267	
9	1.000	2.132	2.139	3.175	3.175	3.267	
10	1.000	2.131	2.139	3.175	3.175	3.267	
11	1.000	2.129	2.139	3.175	3.175	3.267	
12	1.000	2.127	2.139	3.175	3.175	3.267	
13	1.000	2.125	2.139	3.175	3.175	3.267	
14	1.000	2.122	2.139	3.175	3.175	3.267	
15	1.000	2.120	2.139	3.175	3.175	3.267	
16	1.000	2.117	2.139	3.175	3.175	3.267	
17	1.000	2.114	2.139	3.175	3.175	3.267	
18	1.000	2.111	2.139	3.175	3.175	3.267	
19	1.000	2.108	2.139	3.175	3.175	3.267	
20	1.019	2.105	2.139	3.175	3.175	3.267	
21	1.049	2.101	2.139	3.175	3.175	3.267	
22	1.080	2.098	2.139	3.175	3.175	3.267	
23	1.110	2.094	2.139	3.175	3.175	3.267	
24	1.141	2.090	2.139	3.175	3.175	3.267	
25	1.172	2.086	2.194	3.175	3.175	3.267	
26	1.202	2.082	2.265	3.175	3.175	3.267	
27	1.233	2.078	2.335	3.175	3.175	3.267	
28	1.262	2.073	2.404	3.175	3.175	3.267	
29	1.292	2.069	2.471	3.175	3.175	3.267	
30	1.320	2.064	2.535	3.175	3.175	3.267	
31	1.348	2.059	2.596	3.175	3.202	3.267	
32	1.374	2.054	2.654	3.175	3.226	3.267	
33	1.400	2.049	2.706	3.175	3.242	3.267	
34	1.423	2.044	2.753	3.175	3.253	3.267	
35	1.445	2.039	2.795	3.175	3.256	3.267	
36	1.466	2.033	2.829	3.175	3.256	3.267	
37	1.484	2.028	2.857	3.175	3.256	3.267	
38	1.500	2.022	2.877	3.175	3.256	3.267	
39	1.514	2.016	2.889	3.175	3.256	3.267	
40	1.525	2.011	2.893	3.175	3.256	3.267	

OR	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
41	1.535	2.005	2.893	3.175	3.256	3.267	
42	1.545	1.999	2.893	3.175	3.256	3.267	
43	1.554	1.993	2.893	3.175	3.256	3.267	
44	1.564	1.987	2.893	3.175	3.256	3.267	
45	1.574	1.981	2.893	3.175	3.256	3.267	
46	1.584	1.974	2.893	3.175	3.256	3.267	
47	1.593	1.968	2.893	3.175	3.256	3.267	
48	1.603	1.962	2.893	3.175	3.256	3.267	
49	1.612	1.955	2.893	3.175	3.256	3.267	
50	1.622	1.949	2.893	3.175	3.256	3.267	
51	1.631	1.940	2.893	3.175	3.256	3.267	
52	1.640	1.928	2.893	3.175	3.256	3.267	
53	1.649	1.913	2.893	3.175	3.256	3.267	
54	1.658	1.893	2.893	3.175	3.256	3.267	
55	1.667	1.871	2.893	3.175	3.256	3.267	
56	1.676	1.846	2.893	3.172	3.256	3.267	
57	1.685	1.842	2.893	3.162	3.256	3.267	
58	1.693	1.842	2.893	3.146	3.256	3.267	
59	1.701	1.842	2.893	3.124	3.256	3.267	
60	1.709	1.842	2.893	3.096	3.256	3.267	
61	1.717	1.842	2.893	3.062	3.256	3.263	
62	1.725	1.842	2.893	3.023	3.256	3.256	
63	1.733	1.842	2.893	2.980	3.256	3.256	
64	1.740	1.842	2.893	2.932	3.256	3.256	
65	1.747	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
66	1.754	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
67	1.761	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
68	1.768	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
69	1.774	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
70	1.780	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
71	1.786	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
72	1.791	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
73	1.797	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
74	1.802	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
75	1.807	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
76	1.811	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
77	1.815	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
78	1.819	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
79	1.823	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
80	1.826	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
81	1.829	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
82	1.832	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
83	1.834	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
84	1.836	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
85	1.838	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
86	1.840	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
87	1.841	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
88	1.841	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
89	1.842	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	
90	1.842	1.842	2.893	2.893	3.256	3.256	

	1	2	3	4	5
01		2	44		
11		2	44		
21		2	44		
31		2	44		
41		2	44		
51		2	44		
61		2	44		
71		2	44		
81		2	44		
91		2	44		
101		2	44		
111		2	44		
121		2	44		
131		23	44		
141		23	44		
151		23	44		
161		23	44		
171		23	44		
181		23	44		
191		23	44		
201	1	23	44		
211	1	23	44		
221	1	23	44		
231	1	23	44		
241	1	23	44		
251	1	2 3	44		
261	1	2 3	44		
271	1	2 3	44		
281	1	2 3	44		
291	1	2 3	44		
301	1	2 3	44		
311	1	2 3	45		
321	1	2 3	45		
331	1	2 3	45		
341	1	2 3	45		
351	1	2 3	45		
361	1	2 3	45		
371	1	2 3	45		
381	1	2 3	45		
391	1	2 3	45		
401	1	2 3	45		
411	1	2 3	45		
421	1	2 3	45		
431	1	2 3	45		
441	1	2 3	45		
451	1	2 3	45		
461	1	2 3	45		
471	1	2 3	45		
481	1	2 3	45		
491	1	2 3	45		
501	1	2 3	45		
511	1	2 3	45		
521	1	2 3	45		
531	1	2 3	45		
541	1	2 3	45		



CICLO DE LAMINACION "MPM" CALIBRE 311. 11/ 9/86  
 TUBO 300.0 X 7.35 CAS. R 3- 13.00 14.50  
 FORZADURAS: BILLET(Diam=0 Long=0) TUBO(Diam=0 Esp=0) MANDRIL=0  
 Calibrado al Extractor

	BILLET	PERF.	MPM.	EXTR.	CALIB.	TUBO	PUNTA	CORTES
DIAM.	310.00	354.00	311.00	304.00	304.55	301.13	288.0	COLA 400.
ESP.	----	24.50	7.50	7.57	7.57	7.48	MANDRIL	PUNTA 350.
P.M.	584.95	189.94	53.98	53.34	53.60	54.18		296.0

CD	TOCHO CC		# FIJA	LONGITUDES			REC	FILA	PASO	PRODUCT.	
	MIN	MAX.		#	MIN	MED				MAX	PZ/W
1	K0	775 851	0	1449R	14650	14803	41	2	10281	67	114.9
	NH	1326 1456	0	0	1 14349	14500	14651				
3	K0	1509 1661	14650	1435J	14650	14948	41	1	1028J	67	114.9
	NH	2580 2841	1 14500	1 14206	14500	14795	2.45X				



TAMSA MPH: 10 3/4		GEOMETRIA TUBO Y CILINDROS -- (B) (C) (D) (E) (F) (G) (H) (I) (J) (K) (L) (M) (N) (O) (P) (Q) (R) (S) (T) (U) (V) (W) (X) (Y) (Z)		11/ 9/86				
TUBO	DIAM	300.00	ESP.	7.48	TIPO	511	ACERO	2
TOCHO C.C.	DIAM	310.00	PESO. Kd	1641	LONG	2840		
PERFORADO	D.E.	354	D.J.	305	LONG	8336	SEC	2 25341.
MPH	CAL.	311.00	JAULAS	6	ELONG.	3.547	T.LAM	8.447
MANDRIL	DIAM	296.00	LONG	14000	ALT.J	81.4		
ESBOZO MPH	DIAM	311.00	ESP.	7.50	LONG.	29.56	PESO Kd	1611
EXTRACTOR	CAL.	303.90	JAULAS	4	ELONG.	1.013		
ESBOZO EXT	DIAM	303.90	ESP.	7.58	LONG.	29.96		
VEL.	MPH-ENT	0.99	MPH-SAL	3.50	MANDRIL	0.84	EXT-SAL	3.55

\*\*\* CILINDROS \*\*\*

RADIOS Y ANGULOS GARGANTA		J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
DIAMETRO NOMINAL	MM	322.60	318.90	312.94	311.43	311.05	311.00	
EXENTRICIDAD	MM	8.06	3.19	0.00	0.00	0.00	0.00	
RADIO DE GARGANTA	MM	169.36	162.64	156.47	155.71	155.52	155.50	
1ER RADIO DESCARGA	MM	381.10	325.30	312.90	233.60	233.30	233.30	
RADIO TUBO ZONA SALTO	MM	177.00	146.55	123.39	139.93	148.39	152.63	
1ER ANGULO DESCARGA	GR	40.00	40.00	40.00	35.00	34.99	30.00	
ANG.DESP.TUBO-MANDRIL	GR	19.00	28.67	23.39	25.83	29.91	30.00	
ANG.DESP.TUBO-CILINDRO	GR	13.86	33.85	24.24	25.24	30.07	28.24	

DIAMETROS Y SALTOS

DIAM. IDEAL CILINDRO	MM	760.00	688.00	636.00	575.00	627.95	624.00
DIAM. DE TABLA	MM	714.00	642.00	590.00	540.00	593.00	599.00
DIAM. A FONDO GARGANTA	MM	437.40	369.10	323.06	263.57	316.95	313.00
DIAM. NOMINAL	MM	322.60	318.90	312.94	311.43	311.00	311.00
SALTO NOMINAL	MM	46.00	46.00	46.00	35.00	35.00	25.00
SALTO EFECTIVO	MM	46.00	46.00	46.00	35.00	34.95	25.00

\*\*\* TUBO \*\*\*

VAL. PROM. SECCION SAL. J.

SECCION TUBO	MM2	17559.	12269.	9165.	7618.	7242.	7151.
ELONGACION		1.444	1.431	1.339	1.203	1.052	1.013

VAL. PROM. ARCO CONTACTO

ESP. EQUIV. ENTRADA	MM	24.76	19.60	12.90	9.94	8.08	7.59
ESP. EQUIV. SALIDA	MM	15.39	12.06	8.69	7.74	7.50	7.50
ELONGACION PROM.		1.608	1.625	1.484	1.285	1.077	1.012
ARCO CONT. TUBO-MANDR.	GR	142.0	122.7	133.2	128.3	120.2	120.0
LONG. CONTACTO	MM	67.61	55.34	39.45	26.08	14.36	5.74

VAL. A FONDO GARGANTA

ESPESOR	MM	13.30	11.45	8.47	7.71	7.50	7.50
ELONGACION		1.84	2.14	1.57	1.48	1.13	1.03
ANG. DE ATADUE	GR	21.84	23.19	14.05	13.67	6.34	3.00

DATOS DIMAN. TUBO Y CIL.

VEL. TUBO SALIDA J.	MM/S	1425.4	2039.9	2730.9	3285.4	3456.1	3500.0
INTEREJES JAULAS	MM	1500.0	1965.0	1500.0	1965.0	1460.0	1400.0
TIEMPO LLENADO (TOT.)	S	1.652	0.963	0.549	0.598	0.480	3.643

TAMSA MPH 10 3/4		VALORES DINAMICOS -- ( Simulation )				11/ 9/86	
TUBO	DIAM mm 300.00	ESP. mm 7.48	TIPO	511	ACERO		2
TOCHO C.C.	DIAM mm 310.00	FESO Kd 1661	LONG mm	2840			
PERFORADO	D.E. mm 354	D.I. mm 305	LONG mm	8336	SEC mm2	25361	
MPH	CAL. mm 311.00	\$JAUAS 6	ELONG.	3.547	T.LAH %	8.447	
MANDRIL	DIAM mm 296.00	LONG mm 14000	ALT. J mm	81.4			
ESBOZO MPH	DIAM mm 311.00	ESP. mm 7.50	LONG. mm	29.56	FESO Kd	1611	
EXTRACTOR	CAL. mm 303.90	\$JAUAS 4	ELONG.	1.013			
ESBOZO EXT	DIAM mm 303.90	ESP. mm 7.58	LONG. mm	29.96			
VEL. m/s	MPH-ENT 0.99	MPH-SAL 3.50	MANDRIL	0.84	EXT-SAL	3.55	

BODN.TUBO-MEDIA ARCO CONT.		J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
ESP.EQUIV.ENTR.	MH	24.76	19.60	12.90	9.94	8.08	7.59	
ESP.EQUIV.SAL.	MH	15.39	12.06	8.69	7.74	7.50	7.50	
ELONGACION PRON.		1.61	1.63	1.48	1.28	1.08	1.01	
ARCO CONT.TUBO-MAND.	GR	142.0	122.7	133.2	128.3	120.2	120.0	
LONGITUD DE CONTACTO	MH	67.61	55.34	39.45	26.08	14.36	5.74	
VELOCIDAD TUBO SAL.	MH/S	1425.	2040.	2731.	3285.	3456.	3500.	

#### TEMPERATURAS TUBO

EXTERNA	°C	1100.	1090.	1080.	1070.	1060.	1055.
INTERNA	°C	1150.	1133.	1117.	1110.	1085.	1070.
PROMEDIO	°C	1125.	1112.	1099.	1090.	1073.	1063.

#### COEF. DE FRICCION

TUBO-CILINDRO		0.371	0.375	0.379	0.393	0.400	0.404
TUBO-MANDRIL BAJO J.		0.089	0.083	0.078	0.072	0.072	0.072
TUBO-MANDRIL SAL. J.		0.085	0.079	0.074	0.070	0.071	0.072

#### VELOCIDAD RELATIVA

TUBO-CILINDRO	MH/S	191.4	280.8	315.6	245.1	78.7	13.4
TUBO-MANDRIL BAJO J.	MH/S	376.8	895.1	1555.5	2185.3	2533.8	2646.0
TUBO-MANDRIL SAL. J.	MH/S	585.4	1199.9	1890.9	2443.4	2616.1	2660.0

#### DEFOR. Y ESFUERZOS

RELAC. DE DEFORM.	X	37.83	38.46	32.60	22.16	7.12	1.22
VEL. DE DEFORM.	X/S	6.75	12.04	19.71	25.55	16.73	7.42
ESF.DEFOR.BAJO J.	KG/MM2	12.64	14.52	15.59	14.94	12.13	10.15
FLUENCIA SAL. J.	KG/MM2	0.00	2.28	2.37	2.43	2.54	2.63

#### PRESION DE LAMINACION

VALOR MAXIMO	KG/MM2	16.58	21.31	22.33	26.42	18.59	11.81
DIST.P MAX DE SAL. J.	MH	13.28	10.87	9.86	7.45	4.87	1.95
P PROMEDIO	KG/MM2	13.08	16.30	16.72	20.55	15.79	11.02

#### FUERZAS PARES Y POT.

FUERZA DE SEPARACION	TOM	358	309	240	187	74	21
PAR CILINDRO	KGM	50044.	34323.	21895.	10080.	3655.	1116.
TIRO MAND. SALIDA J.	TOM	0.00	4.13	3.16	2.60	2.53	2.65
TIRO MAND. BAJO J.	TOM	47.96	38.62	28.18	20.26	7.95	2.23

TAMSA MPH 10'3/4

DISTRIBUCION DEL ESPESOR EN LA SECCION

11/ 9/86

GR	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
0	24.500	11.450	11.450	7.715	7.715	7.500	
1	24.500	11.450	11.450	7.715	7.715	7.500	
2	24.500	11.452	11.452	7.715	7.715	7.500	
3	24.500	11.454	11.454	7.715	7.715	7.500	
4	24.500	11.458	11.458	7.715	7.715	7.500	
5	24.500	11.462	11.462	7.715	7.715	7.500	
6	24.500	11.467	11.467	7.715	7.715	7.500	
7	24.500	11.473	11.473	7.715	7.715	7.500	
8	24.500	11.480	11.480	7.715	7.715	7.500	
9	24.500	11.489	11.489	7.715	7.715	7.500	
10	24.500	11.498	11.498	7.715	7.715	7.500	
11	24.500	11.507	11.507	7.715	7.715	7.500	
12	24.500	11.518	11.518	7.715	7.715	7.500	
13	24.500	11.530	11.530	7.715	7.715	7.500	
14	24.500	11.543	11.543	7.715	7.715	7.500	
15	24.500	11.557	11.557	7.715	7.715	7.500	
16	24.500	11.571	11.571	7.715	7.715	7.500	
17	24.500	11.587	11.587	7.715	7.715	7.500	
18	24.500	11.603	11.603	7.715	7.715	7.500	
19	24.500	11.620	11.620	7.715	7.715	7.500	
20	24.036	11.639	11.639	7.715	7.715	7.500	
21	23.347	11.658	11.658	7.715	7.715	7.500	
22	22.689	11.678	11.678	7.715	7.715	7.500	
23	22.064	11.699	11.699	7.715	7.715	7.500	
24	21.470	11.721	11.721	7.715	7.715	7.500	
25	20.907	11.743	11.170	7.715	7.715	7.500	
26	20.376	11.767	10.820	7.715	7.715	7.500	
27	19.875	11.791	10.494	7.715	7.715	7.500	
28	19.405	11.817	10.193	7.715	7.715	7.500	
29	18.964	11.843	9.917	7.715	7.715	7.500	
30	18.554	11.870	9.663	7.715	7.715	7.500	
31	18.174	11.897	9.438	7.715	7.438	7.500	
32	17.823	11.926	9.234	7.715	7.582	7.500	
33	17.502	11.955	9.055	7.715	7.543	7.500	
34	17.210	11.986	8.899	7.715	7.519	7.500	
35	16.948	12.017	8.768	7.715	7.511	7.500	
36	16.714	12.048	8.661	7.715	7.510	7.500	
37	16.509	12.081	8.577	7.715	7.510	7.500	
38	16.333	12.114	8.518	7.715	7.510	7.500	
39	16.185	12.149	8.482	7.715	7.509	7.500	
40	16.067	12.183	8.470	7.715	7.509	7.500	

0210 111

0010000 02 03 0003-20 J75 0010000101

ANZ 01 00M 020007

GR	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
41	15.943	12.219	8.470	7.715	7.509	7.500	0
42	15.861	12.255	8.470	7.715	7.508	7.500	0
43	15.760	12.292	8.470	7.715	7.508	7.500	0
44	15.662	12.330	8.470	7.715	7.508	7.500	0
45	15.565	12.369	8.470	7.715	7.507	7.500	0
46	15.470	12.408	8.470	7.715	7.507	7.500	0
47	15.376	12.448	8.470	7.715	7.507	7.500	0
48	15.284	12.488	8.470	7.715	7.506	7.500	0
49	15.194	12.529	8.470	7.715	7.506	7.500	0
50	15.106	12.571	8.470	7.715	7.506	7.500	0
51	15.020	12.626	8.470	7.715	7.506	7.500	0
52	14.936	12.705	8.470	7.715	7.505	7.500	0
53	14.854	12.809	8.470	7.715	7.505	7.500	0
54	14.773	12.938	8.470	7.715	7.505	7.500	0
55	14.695	13.092	8.470	7.715	7.505	7.500	0
56	14.618	13.271	8.470	7.723	7.504	7.500	0
57	14.543	13.464	8.470	7.747	7.504	7.500	0
58	14.471	13.653	8.470	7.786	7.504	7.500	0
59	14.400	13.836	8.470	7.842	7.504	7.500	0
60	14.332	14.014	8.470	7.913	7.503	7.503	0
61	14.266	14.266	8.470	8.000	7.503	7.503	0
62	14.201	14.201	8.470	8.103	7.503	7.503	0
63	14.139	14.139	8.470	8.221	7.503	7.503	0
64	14.079	14.079	8.470	8.470	7.503	7.503	0
65	14.021	14.021	8.470	8.470	7.502	7.502	0
66	13.965	13.965	8.470	8.470	7.502	7.502	0
67	13.911	13.911	8.470	8.470	7.502	7.502	0
68	13.860	13.860	8.470	8.470	7.502	7.502	0
69	13.811	13.811	8.470	8.470	7.502	7.502	0
70	13.764	13.764	8.470	8.470	7.502	7.502	0
71	13.719	13.719	8.470	8.470	7.501	7.501	0
72	13.676	13.674	8.470	8.470	7.501	7.501	0
73	13.636	13.636	8.470	8.470	7.501	7.501	0
74	13.598	13.598	8.470	8.470	7.501	7.501	0
75	13.562	13.562	8.470	8.470	7.501	7.501	0
76	13.528	13.528	8.470	8.470	7.501	7.501	0
77	13.497	13.497	8.470	8.470	7.501	7.501	0
78	13.468	13.468	8.470	8.470	7.501	7.501	0
79	13.441	13.441	8.470	8.470	7.500	7.500	0
80	13.417	13.417	8.470	8.470	7.500	7.500	0
81	13.395	13.395	8.470	8.470	7.500	7.500	0
82	13.375	13.375	8.470	8.470	7.500	7.500	0
83	13.357	13.357	8.470	8.470	7.500	7.500	0
84	13.342	13.342	8.470	8.470	7.500	7.500	0
85	13.329	13.329	8.470	8.470	7.500	7.500	0
86	13.319	13.319	8.470	8.470	7.500	7.500	0
87	13.311	13.311	8.470	8.470	7.500	7.500	0
88	13.305	13.305	8.470	8.470	7.500	7.500	0
89	13.301	13.301	8.470	8.470	7.500	7.500	0
90	13.300	13.300	8.470	8.470	7.500	7.500	0

BR	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
0	1.000	2.140	1.000	1.484	1.000	1.029	
1	1.000	2.140	1.000	1.484	1.000	1.029	
2	1.000	2.139	1.000	1.484	1.000	1.029	
3	1.000	2.139	1.000	1.485	1.000	1.029	
4	1.000	2.138	1.000	1.485	1.000	1.029	
5	1.000	2.138	1.000	1.486	1.000	1.029	
6	1.000	2.137	1.000	1.484	1.000	1.029	
7	1.000	2.135	1.000	1.487	1.000	1.029	
8	1.000	2.134	1.000	1.488	1.000	1.029	
9	1.000	2.133	1.000	1.489	1.000	1.029	
10	1.000	2.131	1.000	1.490	1.000	1.029	
11	1.000	2.129	1.000	1.492	1.000	1.029	
12	1.000	2.127	1.000	1.493	1.000	1.029	
13	1.000	2.125	1.000	1.495	1.000	1.029	
14	1.000	2.123	1.000	1.496	1.000	1.029	
15	1.000	2.120	1.000	1.498	1.000	1.029	
16	1.000	2.117	1.000	1.500	1.000	1.029	
17	1.000	2.114	1.000	1.502	1.000	1.029	
18	1.000	2.111	1.000	1.504	1.000	1.029	
19	1.000	2.108	1.000	1.506	1.000	1.029	
20	1.019	2.065	1.000	1.509	1.000	1.029	
21	1.049	2.003	1.000	1.511	1.000	1.029	
22	1.080	1.943	1.000	1.514	1.000	1.029	
23	1.110	1.886	1.000	1.516	1.000	1.029	
24	1.141	1.832	1.000	1.519	1.000	1.029	
25	1.172	1.780	1.051	1.448	1.000	1.029	
26	1.202	1.732	1.088	1.402	1.000	1.029	
27	1.233	1.686	1.124	1.360	1.000	1.029	
28	1.263	1.642	1.159	1.321	1.000	1.029	
29	1.292	1.601	1.194	1.285	1.000	1.029	
30	1.320	1.563	1.228	1.253	1.000	1.029	
31	1.348	1.528	1.261	1.223	1.010	1.018	
32	1.375	1.495	1.292	1.197	1.017	1.011	
33	1.400	1.464	1.320	1.174	1.023	1.004	
34	1.424	1.436	1.347	1.154	1.026	1.003	
35	1.444	1.410	1.370	1.134	1.027	1.001	
36	1.464	1.387	1.391	1.123	1.027	1.001	
37	1.484	1.367	1.408	1.112	1.027	1.001	
38	1.500	1.348	1.422	1.104	1.027	1.001	
39	1.514	1.332	1.432	1.099	1.027	1.001	
40	1.525	1.319	1.438	1.098	1.027	1.001	

GR	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
41	1.535	1.306	1.443	1.098	1.027	1.001	
42	1.545	1.294	1.447	1.098	1.028	1.001	
43	1.555	1.282	1.451	1.098	1.028	1.001	
44	1.564	1.270	1.456	1.098	1.028	1.001	
45	1.574	1.258	1.460	1.098	1.028	1.001	
46	1.584	1.247	1.465	1.098	1.028	1.001	
47	1.593	1.235	1.470	1.098	1.028	1.001	
48	1.603	1.224	1.474	1.098	1.028	1.001	
49	1.612	1.213	1.479	1.098	1.028	1.001	
50	1.622	1.202	1.484	1.098	1.028	1.001	
51	1.631	1.190	1.491	1.098	1.028	1.001	
52	1.640	1.178	1.500	1.098	1.028	1.001	
53	1.649	1.166	1.512	1.098	1.028	1.001	
54	1.658	1.154	1.528	1.098	1.028	1.001	
55	1.667	1.142	1.546	1.098	1.028	1.001	
56	1.676	1.130	1.567	1.097	1.029	1.001	
57	1.685	1.118	1.590	1.093	1.032	1.001	
58	1.693	1.106	1.612	1.088	1.038	1.001	
59	1.701	1.094	1.634	1.080	1.045	1.000	
60	1.709	1.082	1.655	1.070	1.052	1.000	
61	1.717	1.070	1.684	1.059	1.066	1.000	
62	1.725	1.058	1.677	1.045	1.080	1.000	
63	1.733	1.046	1.669	1.030	1.096	1.000	
64	1.740	1.034	1.662	1.000	1.129	1.000	
65	1.747	1.022	1.655	1.000	1.129	1.000	
66	1.754	1.010	1.649	1.000	1.129	1.000	
67	1.761	1.000	1.642	1.000	1.129	1.000	
68	1.768	1.000	1.636	1.000	1.129	1.000	
69	1.774	1.000	1.631	1.000	1.129	1.000	
70	1.780	1.000	1.625	1.000	1.129	1.000	
71	1.786	1.000	1.620	1.000	1.129	1.000	
72	1.791	1.000	1.615	1.000	1.129	1.000	
73	1.797	1.000	1.610	1.000	1.129	1.000	
74	1.802	1.000	1.605	1.000	1.129	1.000	
75	1.807	1.000	1.601	1.000	1.129	1.000	
76	1.811	1.000	1.597	1.000	1.129	1.000	
77	1.815	1.000	1.593	1.000	1.129	1.000	
78	1.819	1.000	1.590	1.000	1.129	1.000	
79	1.823	1.000	1.587	1.000	1.129	1.000	
80	1.826	1.000	1.584	1.000	1.129	1.000	
81	1.829	1.000	1.581	1.000	1.129	1.000	
82	1.832	1.000	1.579	1.000	1.129	1.000	
83	1.834	1.000	1.577	1.000	1.129	1.000	
84	1.836	1.000	1.575	1.000	1.129	1.000	
85	1.838	1.000	1.574	1.000	1.129	1.000	
86	1.840	1.000	1.572	1.000	1.129	1.000	
87	1.841	1.000	1.571	1.000	1.129	1.000	
88	1.841	1.000	1.571	1.000	1.129	1.000	
89	1.842	1.000	1.570	1.000	1.129	1.000	
90	1.842	1.000	1.570	1.000	1.129	1.000	

GR	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
0	1.000	2.140	2.140	3.176	3.176	3.267	
1	1.000	2.140	2.140	3.176	3.176	3.267	
2	1.000	2.139	2.139	3.176	3.176	3.267	
3	1.000	2.139	2.139	3.176	3.176	3.267	
4	1.000	2.138	2.138	3.176	3.176	3.267	
5	1.000	2.138	2.138	3.176	3.176	3.267	
6	1.000	2.137	2.137	3.176	3.176	3.267	
7	1.000	2.135	2.135	3.176	3.176	3.267	
8	1.000	2.134	2.134	3.176	3.176	3.267	
9	1.000	2.133	2.133	3.176	3.176	3.267	
10	1.000	2.131	2.131	3.176	3.176	3.267	
11	1.000	2.129	2.129	3.176	3.176	3.267	
12	1.000	2.127	2.127	3.176	3.176	3.267	
13	1.000	2.125	2.125	3.176	3.176	3.267	
14	1.000	2.123	2.123	3.176	3.176	3.267	
15	1.000	2.120	2.120	3.176	3.176	3.267	
16	1.000	2.117	2.117	3.176	3.176	3.267	
17	1.000	2.114	2.114	3.176	3.176	3.267	
18	1.000	2.111	2.111	3.176	3.176	3.267	
19	1.000	2.108	2.108	3.176	3.176	3.267	
20	1.019	2.105	2.105	3.176	3.176	3.267	
21	1.049	2.102	2.102	3.176	3.176	3.267	
22	1.080	2.098	2.098	3.176	3.176	3.267	
23	1.110	2.094	2.094	3.176	3.176	3.267	
24	1.141	2.090	2.090	3.176	3.176	3.267	
25	1.172	2.086	2.193	3.176	3.176	3.267	
26	1.202	2.082	2.264	3.176	3.176	3.267	
27	1.233	2.078	2.335	3.176	3.176	3.267	
28	1.263	2.073	2.403	3.176	3.176	3.267	
29	1.292	2.069	2.470	3.176	3.176	3.267	
30	1.320	2.064	2.535	3.176	3.176	3.267	
31	1.348	2.059	2.596	3.176	3.208	3.267	
32	1.375	2.054	2.653	3.176	3.231	3.267	
33	1.400	2.049	2.706	3.176	3.248	3.267	
34	1.424	2.044	2.753	3.176	3.259	3.267	
35	1.446	2.039	2.794	3.176	3.262	3.267	
36	1.466	2.033	2.829	3.176	3.262	3.267	
37	1.484	2.028	2.856	3.176	3.262	3.267	
38	1.500	2.022	2.874	3.176	3.262	3.267	
39	1.514	2.017	2.888	3.176	3.263	3.267	
40	1.525	2.011	2.893	3.176	3.263	3.267	

GR	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
41	1.535	2.005	2.893	3.176	3.263	3.267	
42	1.545	1.999	2.893	3.176	3.263	3.267	
43	1.555	1.993	2.893	3.176	3.263	3.267	
44	1.564	1.987	2.893	3.176	3.263	3.267	
45	1.574	1.981	2.893	3.176	3.263	3.267	
46	1.584	1.975	2.893	3.176	3.264	3.267	
47	1.593	1.969	2.893	3.176	3.264	3.267	
48	1.603	1.962	2.893	3.176	3.264	3.267	
49	1.612	1.955	2.893	3.176	3.264	3.267	
50	1.622	1.949	2.893	3.176	3.264	3.267	
51	1.631	1.940	2.893	3.176	3.264	3.267	
52	1.640	1.928	2.893	3.176	3.264	3.267	
53	1.649	1.913	2.893	3.176	3.264	3.267	
54	1.658	1.894	2.893	3.176	3.265	3.267	
55	1.667	1.871	2.893	3.176	3.265	3.267	
56	1.676	1.846	2.893	3.172	3.265	3.267	
57	1.685	1.820	2.893	3.163	3.265	3.267	
58	1.693	1.795	2.893	3.147	3.265	3.267	
59	1.701	1.771	2.893	3.124	3.265	3.267	
60	1.709	1.748	2.893	3.096	3.265	3.265	
61	1.717	1.717	2.893	3.063	3.265	3.265	
62	1.725	1.725	2.893	3.024	3.265	3.265	
63	1.733	1.733	2.893	2.980	3.265	3.265	
64	1.740	1.740	2.893	2.893	3.266	3.266	
65	1.747	1.747	2.893	2.893	3.266	3.266	
66	1.754	1.754	2.893	2.893	3.266	3.266	
67	1.761	1.761	2.893	2.893	3.266	3.266	
68	1.768	1.768	2.893	2.893	3.266	3.266	
69	1.774	1.774	2.893	2.893	3.266	3.266	
70	1.780	1.780	2.893	2.893	3.266	3.266	
71	1.786	1.786	2.893	2.893	3.266	3.266	
72	1.791	1.791	2.893	2.893	3.266	3.266	
73	1.797	1.797	2.893	2.893	3.266	3.266	
74	1.802	1.802	2.893	2.893	3.266	3.266	
75	1.807	1.807	2.893	2.893	3.266	3.266	
76	1.811	1.811	2.893	2.893	3.266	3.266	
77	1.815	1.815	2.893	2.893	3.266	3.266	
78	1.819	1.819	2.893	2.893	3.266	3.266	
79	1.823	1.823	2.893	2.893	3.266	3.266	
80	1.826	1.826	2.893	2.893	3.266	3.266	
81	1.829	1.829	2.893	2.893	3.267	3.267	
82	1.832	1.832	2.893	2.893	3.267	3.267	
83	1.834	1.834	2.893	2.893	3.267	3.267	
84	1.836	1.836	2.893	2.893	3.267	3.267	
85	1.838	1.838	2.893	2.893	3.267	3.267	
86	1.840	1.840	2.893	2.893	3.267	3.267	
87	1.841	1.841	2.893	2.893	3.267	3.267	
88	1.841	1.841	2.893	2.893	3.267	3.267	
89	1.842	1.842	2.893	2.893	3.267	3.267	
90	1.842	1.842	2.893	2.893	3.267	3.267	

GR	1	2	3	4	5
01		2		44	
11		2		44	
21		2		44	
31		2		44	
41		2		44	
51		2		44	
61		2		44	
71		2		44	
81		2		44	
91		2		44	
101		2		44	
111		2		44	
121		2		44	
131		2		44	
141		2		44	
151		2		44	
161		2		44	
171		2		44	
181		2		44	
191		2		44	
201	1	2		44	
211	1	2		44	
221	1	2		44	
231	1	2		44	
241	1	2		44	
251	1	2	3	44	
261	1	2	3	44	
271	1	2	3	44	
281	1	2	3	44	
291	1	2	3	44	
301	1	2	3	44	
311	1	2	3	45	
321	1	2	3	45	
331	1	2	3	45	
341	1	2	3	45	
351	1	2	3	45	
361	1	2	3	45	
371	1	2	3	45	
381	1	2	3	45	
391	1	2	3	45	
401	1	2	3	45	
411	1	2	3	45	
421	1	2	3	45	
431	1	2	3	45	
441	1	2	3	45	
451	1	2	3	45	
461	1	2	3	45	
471	1	2	3	45	
481	1	2	3	45	
491	1	2	3	45	
501	1	2	3	45	
511	1	2	3	45	
521	1	2	3	45	
531	1	2	3	45	
541	1	2	3	45	
551	1	2	3	45	



TAMSA MPH 10 3/4 POS1 MANDRIL Y ZONAS OPER. -- (Simulacion) ON 11/ 9/86  
 TUBO DIAH mm 300.00 ESP. mm 7.48 TIPO 511 ACERO 2  
 TOCHO C.C. DIAH mm 310.00 PESO Kg. 1661 LONG mm 2840  
 PERFORADO D.E. mm 354 D.I. mm 305 LONG mm 8336 SEC mm2 25361.  
 MPH CAL. mm 311.00 #JAULAS 6 ELONG. 3.547 T.LAH mm 8.447  
 MANDRIL DIAH mm 296.00 LONG mm 14000 ALT.J mm 81.4  
 ESBOZO MPH DIAH mm 311.00 ESP. mm 7.50 LONG. mm 29.56 PESO Kg 1611  
 EXTRACTOR CAL. mm 303.90 #JAULAS 4 ELONG. 1.013  
 ESBOZO EXT DIAH mm 303.90 ESP. mm 7.58 LONG. mm 29.96  
 VEL. m/s MPH-ENT 0.99 MPH-SAL 3.50 MANDRIL 0.84 EXT-SAL 3.50

			J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7
LONG.CONTACTO BAJO J.	MH	47.61	55.34	39.45	26.08	14.36	5.74		
LONG.CONTACTO SAL. J.	MH	888.00	888.00	888.00	888.00	888.00	888.00		
TIEM.CONTACTO BAJO J.	S	0.08	0.07	0.05	0.03	0.02	0.01		
POT.ESP.FRIC. BAJO J.	M/MM2	3.57	9.67	15.84	25.12	22.18	16.28		
TIEM.CONTACTO SAL. J.	S	1.057	1.057	1.057	1.057	1.057	1.057		
POT.ESP.FRIC. SAL. J.	M/MM2	0.000	0.086	0.096	0.106	0.118	0.125		
PDS.MAND.TOMA CARGA	MH	5938	5202	4046	3007	1544	287		
PDS.MAND.A DESCARGA	MH	12975	12298	11142	10103	8640	7383		

CARRERA ACELER./DECELER. MH 10 CARRERAS ADICIONALES MH 485 645  
 CARRERA DE TRABAJO MM 10095 CARRERA TOTAL MM 10590

DISTANCIAS -MH- ENTRE INICIO RETEN. -3136 INICIO LLEN. -2651  
 PUNTA MAND. Y JAULA 7 FIN LLENADO 349 FIN LAMINACION 8099

LONGITUD MANDRIL -MH- MAX DISPONIBLE 13500 TOTAL TRABAJO 12488

VALORES I ENHEBRADO LIMITES -US- VELOC. J DE RETENCION

VEL. HAND	ENHEBRADO MINIMO					ENHEBRADO MAXIMO				
	P.-J7 (MM)	J1-C. (MM)	P.-EX (MM)	L.TR. HANDR (MM)	ENHER (MM)	P.-J7 (MM)	J1-C. (MM)	P.-EX (MM)	ANAL. (MM)	MICRN (MM)
40	0	3963	8312	8782	10271	28	3934	8283	10700	10300
50	0	3914	8227	8830	10229	70	3843	8136	10700	10300
60	0	3864	8142	8878	10187	113	3751	8029	10700	10300
70	0	3815	8057	8926	10145	155	3660	7902	10700	10300
80	0	3767	7974	8974	10102	197	3569	7774	10700	10300
90	0	3717	7889	9023	10060	239	3477	7649	10700	10300
100	0	3668	7804	9071	10018	281	3386	7522	10700	10300
110	0	3619	7719	9119	9976	323	3295	7395	10700	10300
120	0	3569	7634	9167	9934	365	3203	7268	10700	10300
130	0	3520	7549	9215	9892	407	3112	7141	10700	10300
140	0	3471	7465	9264	9850	449	3021	7015	10700	10300
150	0	3422	7380	9312	9808	491	2930	6888	10700	10300
160	0	3373	7295	9360	9766	533	2839	6761	10700	10300
170	0	3322	7209	9409	9725	575	2747	6634	10700	10300
180	0	3273	7124	9457	9683	617	2656	6507	10700	10300
190	0	3224	7039	9505	9641	659	2565	6380	10700	10300
200	0	3175	6954	9554	9599	700	2474	6253	10700	10300
210	0	3126	6869	9602	9557	742	2383	6126	10700	10300
220	0	3077	6784	9650	9515	784	2292	5999	10700	10300
230	0	3028	6699	9699	9473	826	2201	5872	10700	10300
240	0	2978	6613	9747	9432	868	2110	5745	10700	10300
250	0	2929	6528	9796	9390	909	2019	5618	10700	10300
260	0	2880	6442	9844	9348	951	1928	5490	10700	10300
270	0	2831	6357	9893	9306	993	1837	5363	10700	10300
280	0	2782	6272	9941	9264	1035	1746	5236	10700	10300
290	0	2732	6186	9990	9223	1076	1655	5109	10700	10300
300	0	2683	6101	10038	9181	1118	1564	4982	10700	10300
310	0	2634	6016	10087	9139	1160	1473	4855	10700	10300
320	0	2584	5930	10135	9098	1202	1382	4728	10700	10300
330	0	2535	5844	10184	9056	1243	1291	4600	10700	10300
340	0	2486	5759	10233	9014	1285	1200	4473	10700	10300
350	0	2436	5673	10281	8973	1326	1109	4346	10700	10300
360	0	2387	5588	10330	8931	1368	1018	4219	10700	10300
370	0	2338	5501	10379	8890	1410	928	4091	10700	10300
380	0	2289	5416	10427	8848	1451	837	3964	10700	10300
390	0	2240	5331	10476	8806	1493	746	3837	10700	10300
400	0	2190	5244	10525	8765	1534	655	3709	10700	10300
410	0	2141	5159	10573	8723	1576	564	3582	10700	10300
420	0	2092	5073	10622	8682	1617	474	3455	10700	10300
430	0	2043	4987	10671	8640	1659	383	3327	10700	10300
440	0	1993	4901	10720	8599	1700	292	3200	10700	10300
450	0	1945	4816	10768	8557	1742	202	3073	10700	10300
460	0	1895	4729	10817	8516	1783	111	2945	10700	10300
470	0	1845	4643	10866	8475	1825	20	2818	10700	10300
480	0	1797	4557	10915	8433	1796	0	2760	10629	10230
490	0	1747	4471	10964	8392	1746	0	2724	10539	10139
500	0	1698	4385	11013	8350	1697	0	2687	10448	10048
510	0	1649	4299	11062	8309	1648	0	2650	10358	9958
520	0	1599	4212	11110	8268	1598	0	2613	10267	9867
530	0	1551	4127	11159	8226	1550	0	2576	10176	9777

VALORES DE ENHEBRADO LIMITE -VS- VELOCIDAD DE RETENCION

VEL. HAND	ENHEBRADO MINIMO					ENHEBRADO MAXIMO				
	P.-J7 (MM)	J1-C. (MM)	P.-EX (MM)	L.T.R. HANDR (MM)	ENHEB (MM)	P.-J7 (MM)	J1-C. (MM)	P.-EX (MM)	ANAL. (MM)	MICRO (MM)
540	0	1501	4040	11208	8185	1500	0	2539	10084	9484
550	0	1452	3954	11257	8144	1451	0	2502	9995	9596
560	0	1402	3867	11306	8103	1402	0	2465	9905	9505
570	0	1354	3781	11355	8061	1353	0	2427	9814	9415
580	0	1304	3695	11404	8020	1303	0	2391	9724	9324
590	0	1255	3608	11453	7979	1254	0	2353	9633	9234
600	0	1205	3522	11502	7938	1204	0	2317	9543	9143
610	0	1156	3435	11551	7897	1156	0	2279	9453	9053
620	0	1107	3349	11600	7855	1106	0	2242	9362	8962
630	0	1058	3262	11650	7814	1057	0	2204	9272	8872
640	0	1009	3176	11699	7773	1008	0	2167	9181	8782
650	0	959	3089	11748	7732	958	0	2130	9091	8691
660	0	910	3002	11797	7691	909	0	2092	9001	8601
670	0	861	2916	11846	7650	860	0	2055	8910	8511
680	0	811	2829	11895	7609	810	0	2018	8820	8420
690	0	762	2742	11945	7568	761	0	1980	8730	8330
700	0	713	2655	11994	7527	712	0	1942	8640	8240
710	0	663	2568	12043	7486	662	0	1905	8549	8149
720	0	614	2481	12092	7445	613	0	1867	8459	8059
730	0	565	2395	12142	7404	564	0	1830	8369	7969
740	0	516	2308	12191	7363	515	0	1792	8279	7879
750	0	467	2221	12240	7322	466	0	1754	8188	7789
760	0	417	2134	12289	7281	416	0	1717	8098	7698
770	0	368	2047	12339	7240	367	0	1679	8008	7608
780	0	319	1960	12388	7199	318	0	1641	7918	7518
790	0	270	1873	12438	7158	269	0	1603	7828	7428
800	0	221	1786	12487	7117	220	0	1565	7738	7338
810	0	171	1698	12536	7077	171	0	1527	7648	7248
820	0	122	1611	12586	7036	121	0	1489	7558	7158
830	0	73	1524	12635	6995	72	0	1451	7468	7068
840	0	24	1437	12685	6954	23	0	1413	7378	6978

RETENCION EN ANALOGICO  
POSICIONES PUNTA Y COLA MANDRIL VS VELOCIDAD RETENCION

VELOCID. MANDRIL		SELECT.POSIC. 1 (850)			SELECT.POSIC. 2 (990)		
		COLA-J1 I.DESC. (MM)	PUNTA-J7 F.LLEN. F.LAH. (MM) (MM)		COLA-J1 I.DESC. (MM)	PUNTA-J7 F.LLEN. F.LAH. (MM) (MM)	
MM/S	POT						
130	108				4178	207	57
140	116				4088	257	183
150	124				3998	306	310
160	133				3908	356	437
170	141				3818	406	564
180	149				3728	455	690
190	158				3638	505	817
200	166				3548	554	944
210	174				3459	604	1070
220	183				3369	654	1197
230	191				3279	703	1324
240	199				3189	753	1450
250	208				3099	802	1577
260	216				3009	851	1704
270	224				2920	901	1830
280	233				2830	950	1957
290	241				2740	1000	2084
300	249				2650	1049	2210
310	258				2561	1099	2337
320	266				2471	1148	2464
330	274				2381	1197	2590
340	283				2291	1247	2717
350	291				2202	1296	2844
360	299				2112	1345	2970
370	308				2023	1394	3097
380	316				1933	1444	3224
390	324				1843	1493	3350
400	333				1754	1542	3477
410	341				1664	1591	3604
420	349				1575	1641	3730
430	358				1485	1690	3857
440	366				1396	1739	3984
450	374				1306	1788	4110
460	383				1217	1837	4237
470	391	2527	486	2964	1127	1886	4364
480	399	2438	535	3091	1038	1935	4491
490	408	2348	584	3217	948	1984	4617
500	416	2259	633	3344	859	2033	4744
510	424	2170	682	3471	770	2082	4871
520	433	2080	731	3597	680	2131	4997
530	441	1991	780	3724	591	2180	5124
540	449	1902	829	3851	502	2229	5251
550	457	1812	878	3977	412	2278	5377
560	466	1723	927	4104	323	2327	5504
570	474	1634	976	4231			
580	482	1544	1025	4357			
590	491	1455	1074	4484			
600	499	1366	1123	4611			
610	507	1277	1172	4737			
620	516	1187	1221	4864			
630	524	1098	1270	4991			
640	532	1009	1318	5117			
650	541	920	1367	5244			
660	549	831	1416	5371			
670	557	742	1465	5497			
680	566	653	1513	5624			
690	574	564	1562	5751			
700	582	474	1611	5877			
710	591	385	1660	6004			

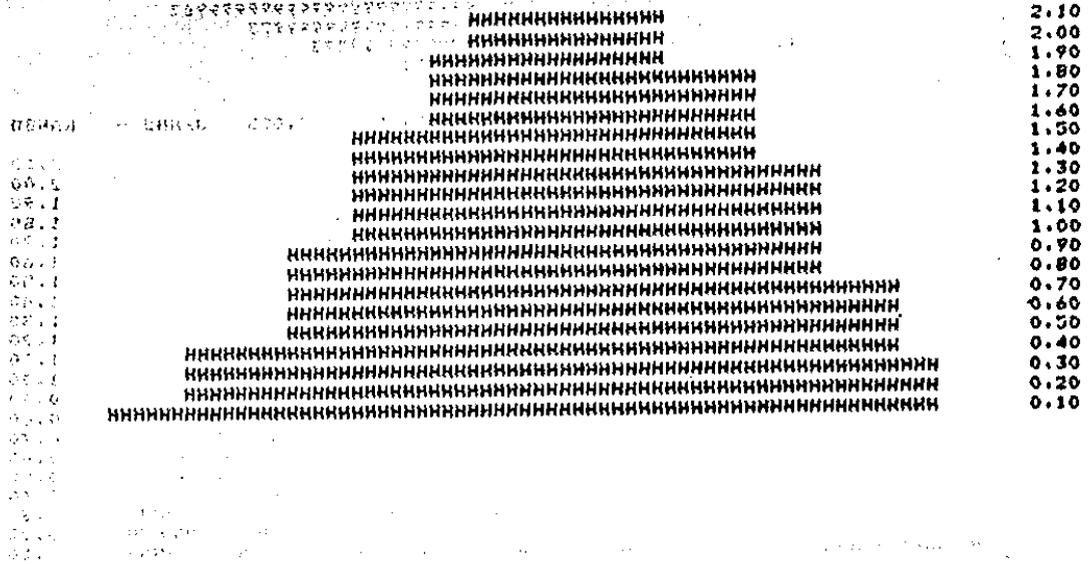


TARISA MPH 10'3/4 POS: MANDRIL Y ZONAS OPER. -- (Simulacion) ON 11/ 9/86

ZONAS DE TRABAJO DEL MANDRIL (TECNOLOGICAS)

PUNTA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	COLA
1																
2																
3																
4																
5																
6																

DIAGRAMA ENERGIA ESPECIFICA DE FRICCION - FICO = 2.095 J/MM2 - RANGO



**GLOSARIO DE TERMINOS**

**BALANCEO.-** Sistema que mantiene la separación adecuada entre los cilindros de laminación.

**BARRA.-** Producto de acero obtenido por laminación o colada continua, de sección circular llena, usada como materia prima en este proceso.

**BARRA PORTA PUNTA.-** Herramienta que sostiene la punta de perforación y da su regulación axial.

**BLOQUEO.-** Sistema oleodinámico empleado para la fijación de las herramientas en la posición de trabajo.

**BRAZOS ROTANTES.-** Mecanismo que permite la transferencia del producto a un plano paralelo al que se encuentra.

**CAM LIMIT SWITCH PROGRAMMER (CLSP).-** Este dispositivo es un sensor rotativo programable que va dando diferentes señales, según sea el ángulo de giro o la posición del mismo.

**CEDECENCIA.-** Separación de los saltos durante la laminación debido al huelgo mecánico que existe, por diseño o desgaste, en las chumaceras y baleros del mecanismo de los cilindros.

**CILINDROS DE LAMINACION.-** Herramienta de acero con perfil especial utilizada para deformar gradualmente el material en caliente. También llamados rodillos de laminación.

**CONTENCION.-** Sección del cilindro con perfil tal que el material no fluya hacia afuera por el espacio del salto. (ver figura 4.8)

**DESFOGUE.-** Sección donde ya no existe contacto entre el material y los cilindros. (Ver figura 4.9)

**EJE DE LAMINACION.**- Línea imaginaria que pasa por el centro de la pieza al momento de llevarse a cabo la laminación.

**ESBOZO.**- Producto tubular semielaborado al que le falta sólomente las dimensiones finales (calibración).

**ESPESOR EQUIVALENTE.**- Espesor promedio del tubo calculado a partir del área de la sección transversal del tubo.

**ESPESOR NOMINAL.**- Espesor de referencia que físicamente se logra con mandril, trabajando con el calibre centrado.

**ESPESOR REAL.**- Espesor parcial en una sección transversal que posee realmente un tubo; no es exactamente el mismo a lo largo de toda la circunferencia del tubo.

**GARGANTA.**- Es la sección superior del perfil del cilindro de laminación. Su amplitud está definida por el ángulo  $\alpha$ . (ver figura 4.4)

**FLANCO.**- Sección del cilindro contigua a la garganta, donde se da ovalidad al perfil. (ver figura 4.5)

**FLECHAS TELESCOPICAS.**- Flechas del MPM que cuentan con un amortiguador en el cople, el cual al ser comprimido permite el acoplamiento o desacoplamiento con el cople hembra de las chumaceras de las jaulas.

**GUILLOTINA.**- Dispositivo en forma de U que sirve para posicionar el material y lograr movimientos independientes respecto a la herramienta.

**ELECTROVALVULA (EV).**- Este tipo de válvulas realiza su trabajo por medio de una corriente eléctrica que mueve su mecanismo para efectuar la abertura o cierre de la misma.

**ENHEBRADO.**- (Inserción) Acción de introducir el mandril

en el perforado.

**ESTACIONES.-** Lugar donde se efectúan ciertas operaciones a la pieza o material.

**HOT METAL DETECTOR (HMD).-** Sensor de metal caliente que genera una corriente eléctrica debido a los rayos infrarrojos que son emitidos por el metal.

**JAULA.-** Bastidor en el cual se encuentran montados los dos cilindros de laminación.

**JAULA FALSA.-** Jaula especial que se utiliza en ciertos montajes para fines de transporte del producto.

**JAULITAS.-** Conjunto de tres rolos dispuestos a 120° uno de otro, cuya finalidad es guiar y sostener el mandril antes y después de la laminación.

**LACA GRAFITADA.-** Mezcla de agua con carbón grafito en polvo que se agrega sobre la superficie del mandril, con la finalidad de lubricar las áreas de contacto entre éste y la pieza, al momento de realizarse la laminación.

**LARDONES.-** Placas de acero que sirven para guiar el deslizamiento de partes mecánicas.

**LINEALES.-** Herramienta utilizada para guiar el perforado durante la laminación controlando, la ovalación de éste; se localizan longitudinalmente entre los cilindros, uno en la parte inferior y otro en la superior.

**LOAD CELL (LC).-** Celda de carga. Este dispositivo genera una corriente eléctrica cuando es deformado por compresión al momento que los cilindros se someten a la carga de laminación.

**MANDRIL.-** Herramienta de acero calidad H-13, recubierta

de cromo, que determina las dimensiones interiores del esbozo, proporcionando además un acabado interior de calidad.

MPM.- Iniciales con que se conoce el laminador continuo a mandril retenido. (Multistand Pipe Mill).

PERFORADO.- Producto semielaborado obtenido por laminación y perforación en caliente de un tocho.

PHOTO CELD (PHC).- Estas dispositivos permiten o suspenden el flujo de la corriente eléctrica cuando es cortado el haz luminoso entre el emisor y el receptor por el paso de un material opaco.

PINCH-ROLL.- Rodillo motorizado que facilita la introducción del perforado al interior del MPM.

PRESENCE LIMIT SWITCH (PLS).- Sensor de presencia. Este dispositivo genera una señal en el momento que percibe la presencia del metal (material o mandril).

RALA.- Dispositivo de seguridad que cede en caso de sobrecarga de las jaulas de laminación, permitiendo que aumente la separación entre los cilindros ya que es de ruptura precalculada.

RESTITUCION.- Fenómeno que se presenta cuando se deforma un material por abajo de los 900°C; éste se mantiene deformado mientras se le aplica la fuerza de presión, al cesar ésta el material recupera su forma original. (En el texto se utiliza también el nombre de recuperación elástica).

RODILLO.- Véase cilindros de laminación.

ROLOS.- Rodillos giratorios que permiten transportar el

material o el mandril longitudinalmente.

**SALTO.-** Separación que existe entre las tablas de los rodillos.

**TABLA.-** Diámetro exterior del cilindro.

**TOCHO.-** Producto de acero obtenido por corte transversal de barras. Su longitud va de 1.4 m a 5 m en este proceso.

**VIA DE ROLOS.-** Transportador longitudinal de los productos.

## CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo se ha visto cubierto a lo largo del mismo, obteniendo así un documento apegado a la realidad operativa de T.A.M.S.A.. Se describió someramente el proceso de fabricación de tubos de acero sin costura, por medio de un laminador continuo a mandril retenido, y se expuso el modelo matemático que rige el funcionamiento y la operación de dicho laminador.

El presente trabajo será de gran utilidad en el aspecto operativo de la planta, puesto que reúne la información básica para comprender el funcionamiento del laminador además de su regulación y control. Dicha información fué actualizada y complementada con algunas explicaciones que no existían en documentos escritos, para obtener así un documento de más fácil comprensión, claro está teniendo una base teórica acerca del tema.

## BIBLIOGRAFIA

- MODELLO MATEMATICO MPM 10 3/4  
DALMINE, DIREZIONE TECNICA IMPIANTI  
ITALIA, 1982
- IMPIANTO TAMSA 10 3/4, STUDIO TECNOLOGIA ED  
ATTREZZATURE AREA A CALDO  
DALMINE, DIREZIONE TECNICA IMPIANTI  
ITALIA, 1982
- SIMULACION OPERATIVA Y DISEÑO DE HERRAMIENTA  
CALIBRE 311 M.P.M.  
T.A.M.S.A.  
MEXICO, 1986
- TAMSA, RETAINED MANDREL TYPE SEAMLESS TUBE MILL PLANT  
INNOCENTI SANTEUSTACCHIO S.P.A.  
ITALIA, 1981
- TAMSA, PROPOSTA PER PROVE A CALDO LAMINATOIO  
DALMINE, DIREZIONE TECNICA IMPIANTI  
ITALIA, 1983