UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO SOBRE LOS DEFECTOS Y RUPTURAS EN PALANQUILLAS OBTENIDAS POR COLADA CONTINUA, SUS EFECTOS Y MEDIDAS PREVENTIVAS

102

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A

ALBERTO FERNANDEZ LARA

MEXICO, D. F.

1974

Jurado asignado originalmente según el tema	PRESIDENTE	Prof. Manuel Gaviño Rivera
	VOCAL	Prof. Manuel F. Guerrero Fernán
	SECRETARIO	Prof. Fernando Maldonado Mendoz
	1er. SUPLENTE	Prof. José Campos Caudillo
	2o. SUPLENTE	Prof. Dora R. de Grinberg

Sitio donde se desarrolló el Tema — SIDERURGICA LAZARO CARDENA LAS TRUCHAS, S.A.

SICARTSA

Nombre completo y firma de sustentante — A. Fernandez L. ALBERTO FERNANDEZ LAR

Nombre completo y firma del asesor del Tema — ING. JOSE CAMPOS CAUD

A MIS PADRES

Por su cariño y confianza
depositados en mi

A MIS HERMANOS

Por su ayuda desinteresada

A MI ESPOSA

Por su inapreciable aliento,
apoyo y cariño para el logro
de ésta.

A MIS MAESTROS Y

CONDICIPULOS

CON AGRADECIMIENTO A:

Ing. José Campos Caudillo

Mr. Donald P. Lorento (B.S.C

Mr. John McPhee (B.S.C.)

Por su colaboración en la

consecución de este trabajo

I N D I C E

CAPITULO I

Introducción

Los defectos que se presentan al colar aceros en la forma convencional, se presentan al obtenerlos por el proceso de colada continua. También, como es sabido, uno de los problemas que más afectan el rendimiento de una máquina de colada continua son las rupturas a la salida del molde generalmente, de la palanquilla parcialmente solidificada.

En este estudio citaré las principales causas que originan tanto los defectos como las rupturas de las palanquillas, sus consecuencias y las medidas preventivas que deben tomarse para evitarlas.

Para la descripción del equipo haré referencia al de la planta de colada continua que está instalando la Siderúrgica Lázaro Cárdenas - Las Truchas, S.A. (SICARTSA), en la desembocadura del rio Balsas en el límite de los Estados de Michoacán y Guerrero.

Esta planta contará con tres máquinas para colada continua, cada una de las cuales contará con seis líneas, es decir, cada máquina será capaz de producir seis palanquillas simultáneamente .

Las palanquillas a colar serán de 125 mm^2 de sección y 6.5, 10 y 13 m. de longitud.

La producción anual será de 1'053,000 ton de palanquilla de aceros al carbón (desde 0.10% C hasta 0.95% C) y aceros de baja aleación (A.I.S.I 4140, 5150, 5160, 8620 y 8740). Con esta producción y la de otras siderúrgicas del país se pretende satisfacer la demanda nacional de acero.

CAPITULO II

Antecedentes Históricos

La idea original de colar metales en una barra continua más larga que el molde donde se efectúa la solidificación, se atribuye a Sir Henry - Bessemer, idea que data de hace aproximadamente un siglo.

Los metales que primero se colaron en máquinas de colada continua fueron el cobre, el aluminio y sus aleaciones. La metalúrgia de este proceso, para estos metales, se desarrolló más rápidamente que la del hierro, debido a que el cobre, aluminio y sus aleaciones tienen un punto de fusión mucho menor que el del hierro; tiene además, un calor específico en el caso del cobre, más bajo que éste y una conductividad térmica más alta.

TABLA 1

Elemento	Punto de fusión (°C)	Calor específico $\frac{Cal}{g\,°C}$	Conductividad térmica $\frac{K\ cal}{hr.m^2.°C/m}$
Hierro	1535	0.113	31*
Cobre	1080	0.093	303
Aluminio	656	0.217	230

* Conductividad del acero a 600 ° C

Para el hierro se obtuviéron condiciones económicas aceptables hasta

el año de 1933, en el que el alemán Segfried Junghans propuso que se aplicara al molde un movimiento ascendente-descendente con una amplitud de desplazamiento de 2-3 cm y con una relación de velocidad ascendente a descendente de 3:1, siendo la velocidad descendente aproximadamente igual a la velocidad de extracción de la palanquilla.

Ian Holliday modificó el principio de Junghans introduciendo la técnica llamada "desprendimiento negativo"

Holliday explicaba ésta diciendo que "Se logran resultados muy superiores si el recorrido de descenso del molde se efectúa a una velocidad ligeramente mayor que la de extracción de la palanquilla. Así, la capa solidificada inicialmente, se desprende en dos formas: durante la carrera ascendente-relativamente rápida-, y muy lentamente durante la carrera descendente". Como ésta actua en dirección opuesta a la primera se le llama de "desprendimiento negativo". (Fig. 1)

Fig. 1 .- En el desprendimiento negativo, el molde desciende algo más que el acero.

Posteriormente el desarrollo de las máquinas de colada continua siguió a grandes rasgos en la siguiente forma:

En 1938 los rusos construyeron una planta en Kusnetskii.

Durante la Segunda Guerra Mundial Junghans construyó una planta en Alemania.

En Inglaterra, en 1946 se construyó la primera planta de colada continua.

La primera operación que tuvo éxito en los Estados Unidos fué en la planta de Watervliet en Nueva York en el año de 1947.

En Rusia, la planta Barrow empezó a producir planchones de --- 81 x 18 cm en 1951.

Actualmente en México trabajan máquinas de colada continua en varias empresas (Tabla 2.)

TABLA 2 MAQUINAS DE COLADA CONTINUA EN MEXICO

Compañía y Localidad	Año de arranque	N° de líneas	Capacidad de la olla	Sección (cm^2)	Tipo de horno	Tipo de acero
AESA Tultepec, Méx.		2	60 ton	15	eléctrico	aceros al carbón
HYLSA Puébla, Pue.	1969	2 x 4	60 "	15	eléctrico	aceros al carbón
ACSA Chihuahua	1962	2	55 "	12	eléctrico	aceros al C y aleados
ANSA Tlanepantla	1973	1 x 4	25-45 "	12	eléctrico	aceros al C y aleados
Laminadora Atzcapotzalco	1972	1 x 2			eléctrico	aceros al carbón

inicialmente las máquinas eran verticales (Fig. 2).

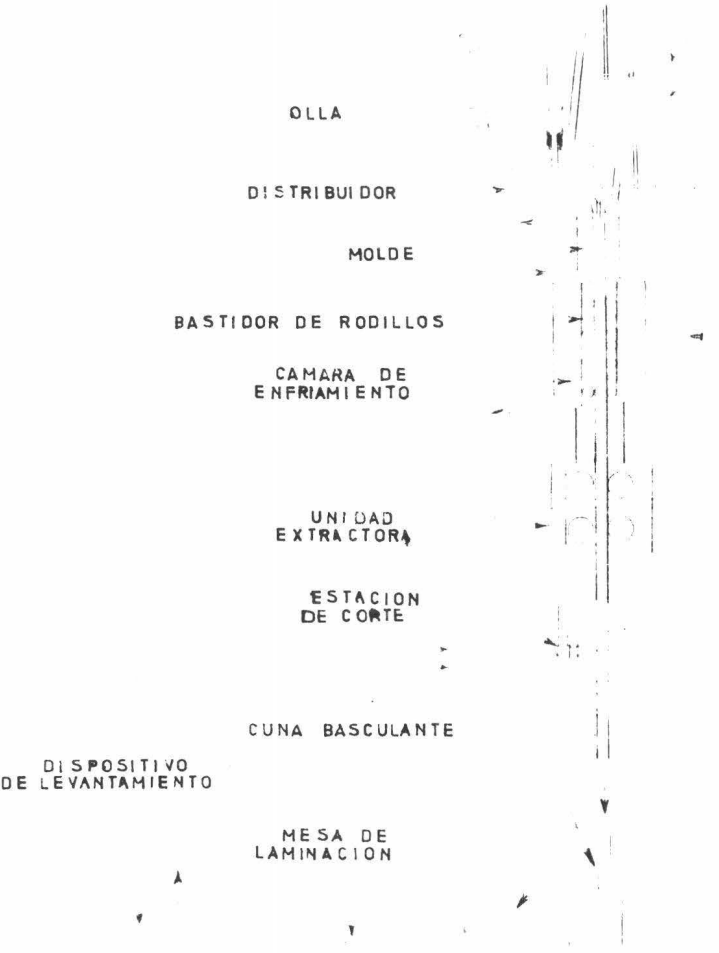
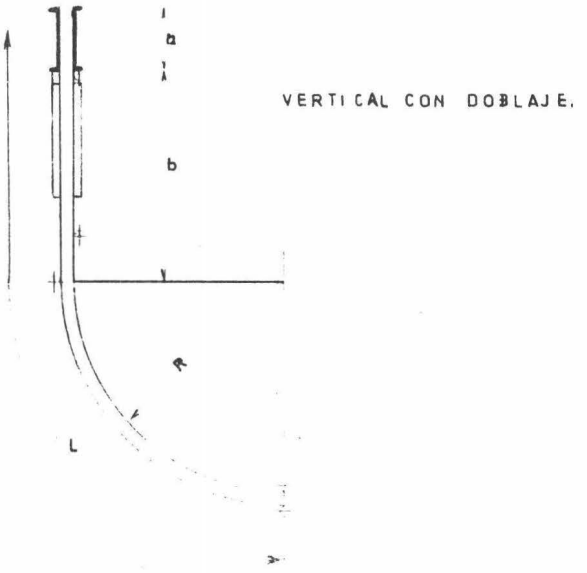


Fig. 2

A partir de 1958 empezaron a desarrollarse las máquinas curvas. Aunque hoy día se utilizan más frecuentemente las máquinas curvas, se siguen construyendo rectas. La razón por la que la mayoría de las plantas sean curvas, es que resulta una instalación más económica, ya que se disminuye en gran medida la altura de las naves y del resto del equipo. La figura 3 indica los diferentes tipos de máquinas curvas.



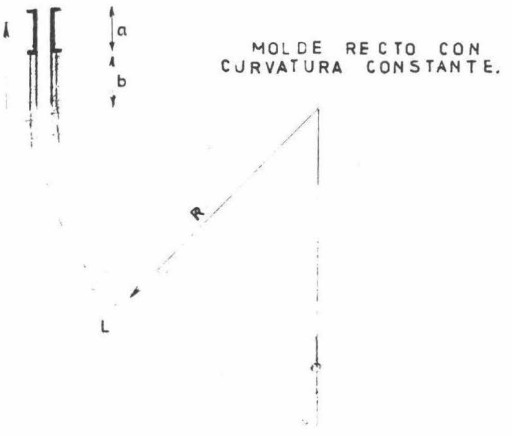
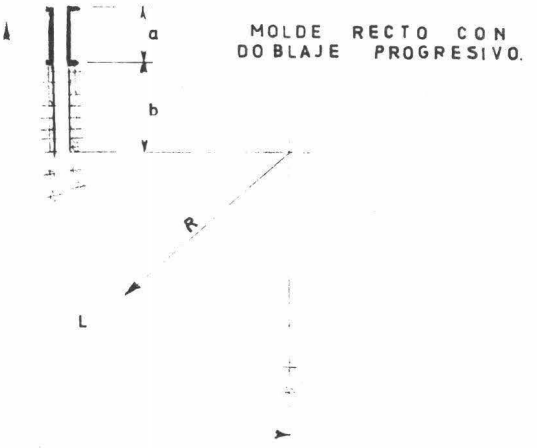


Fig. 3 Máquinas Curvas

Tabla 2.- Dimensiones de las máquinas Tipos 1 y 2

Tipo de máquina	a	b	L	R
Vertical con doblaje	0.76 m	13 m	20 m	4.8 m
Molde recto con curvatura constante	0.80"	1 "	11"	6.0"



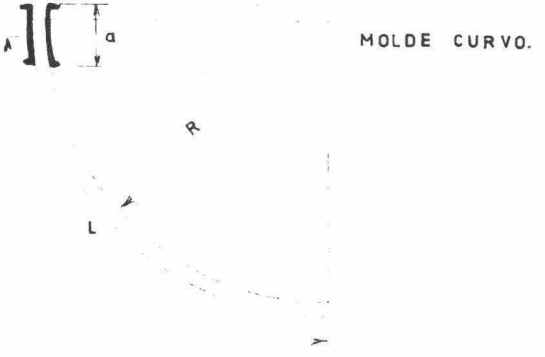


Fig. 3 Máquinas Curvas (Cont.)

Tabla 3. Dimensiones de las máquinas tipos 3 y 4

Tipo de Máquina	a	b	L	R
Molde recto con doblaje progresivo	0.65m	2 m	9.5m	00 - 4.8
Molde curvo	0.80m		8 "	5.0

CAPITULO III.-

Proceso de Colada Continua, equipo, su disposición y función.

El orden, en el que a continuación se enlista el equipo, es - aproximadamente el mismo en el que entran en operación en el proceso de Colada Continua.

Al dar su disposición, doy una idea de su participación en el proceso. Idea que ampliaré al describir el proceso al final de la lista.

3. Equipo

3.1 Torre Giratoria.-

Está localizada al nivel de la plataforma de colada, montada en un soporte de concreto (No1. fig 4). Su función es la de recibir la olla con acero líquido en uno de sus brazos y colocarle por medio de un giro de 180° en posición de colada, siendo su principal definición la de lograr coladas secuenciales (Fig No. 5).

3.2 Olla de Colada.-

La olla recibe el acero líquido del horno de aceración; se coloca en un carro por medio del cual se lleva a la planta de colada continua; se levanta de éste por medio de una grúa y se coloca en uno de los brazos de la torre giratoria.

La olla (No. 2 Fig. 4) suministra el acero a un depósito intermedio entre ella y el molde donde se efectúa la solidificación, que recibe el nombre de distribuidor. La olla tiene, en su parte infeior, una válvula del tipo deslizante que controla el flujo de metal líquido hacia el -

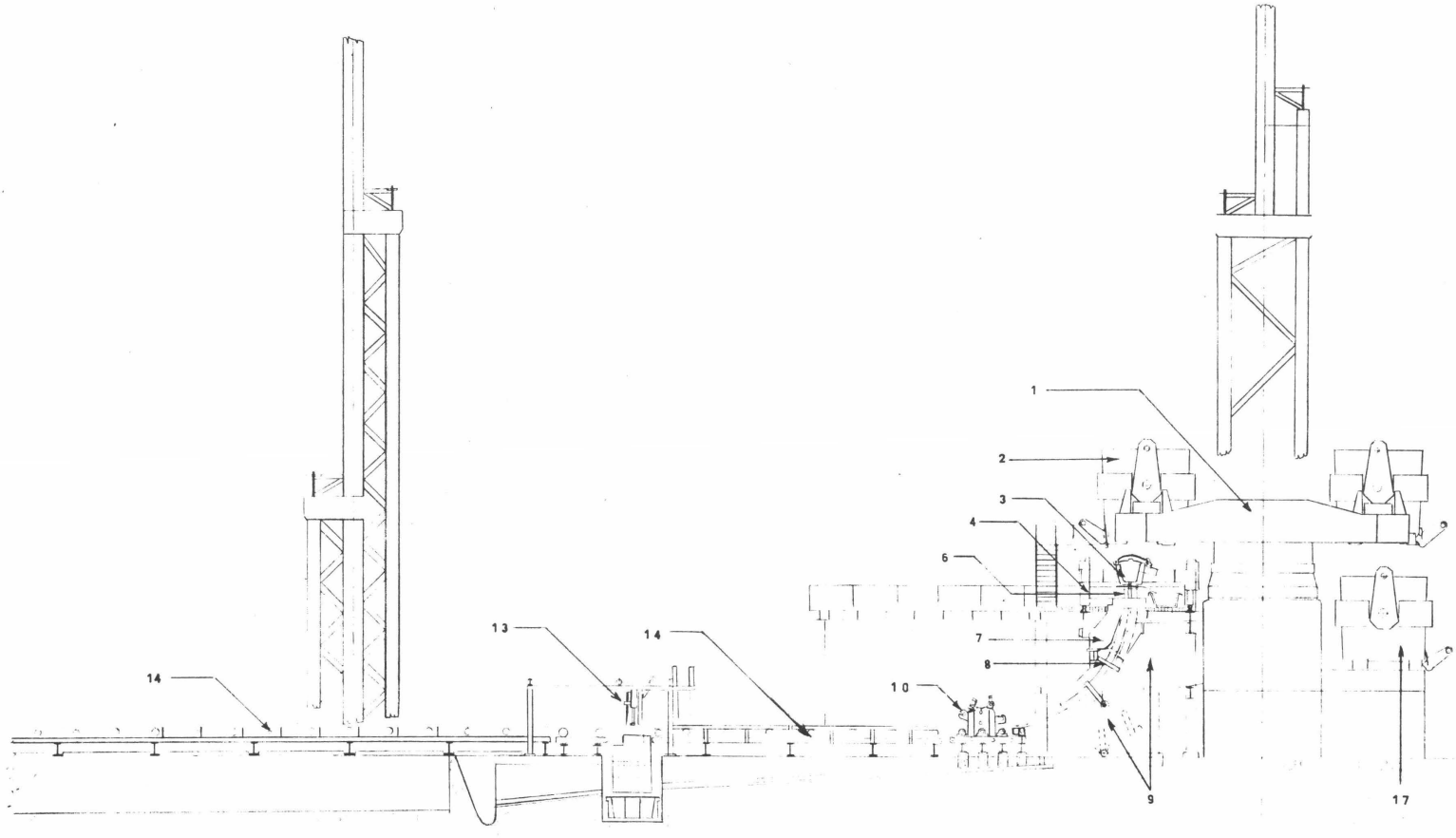


FIGURA Nº4 MAQUINA DE COLADA CONTINUA.

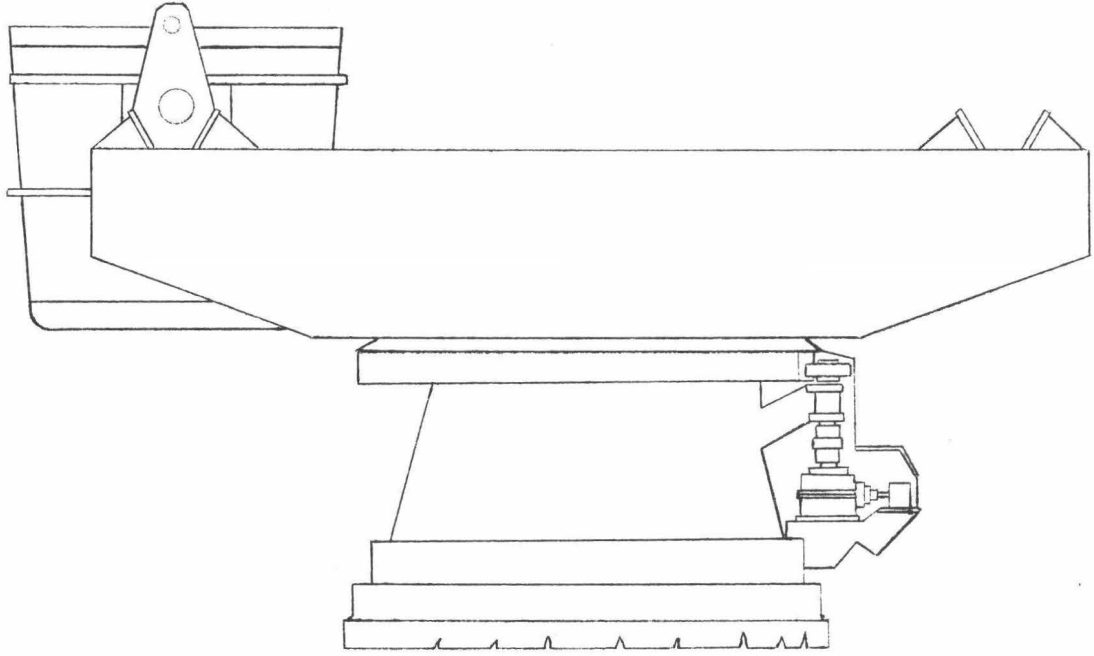


Fig. No. 5 Torre Giratoria

distribuidor. El material con el que se construye la olla es acero , revestido interiormente con ladrillo refractario. Su capacidad máxima es de 125 toneladas.

3.3 Distribuidor.-

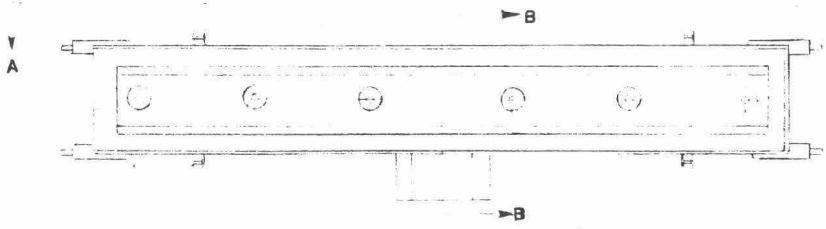
Es un recipiente de acero, revestido interiormente con ladrillos refractarios, que se coloca debajo de la olla de manera que el chorro de acero líquido que cae de aquélla lo haga en su centro (No. 3, fig. 4). Su función es la de dosificar el acero líquido a las diferentes líneas de la máquina, a través de las seis boquillas dispuestas en su base. El diametro de estas boquillas debe ser tal, que permita un flujo de acero adecuado a la sección de la palanquilla a colar. La capacidad del distribuidor es de 7 tons. aproximadamente. (Fig. No. 6).

3.4 Carro del distribuidor.-

Sirve tanto de soporte del distribuidor durante la operación de colada, como para transportarlo del área de precalentamiento a la posición de colada. Está montado sobre vías y su locomoción se efectúa por medio de un motor eléctrico. (No. 4, fig.4).

3.5 Sistema de alimentación de aluminio.-

Se cuenta con una unidad portátil para cada línea, se localiza en la plataforma de colada. Consta de un motor montado en una base. El motor, por medio de una guía introduce un alambre de aluminio, de aproximadamente 2 mm. de diámetro, en la superficie del acero líquido dentro del molde.



VISTA DE PLANTA (SIN CUBIERTA)

VISTA A-A

SECCION B-B

FIG. Nº 6 DISTRIBUIDOR.

Como es sabido, el aluminio se requiere tanto para desoxidar el acero, como para afinar el tamaño de grano del acero.

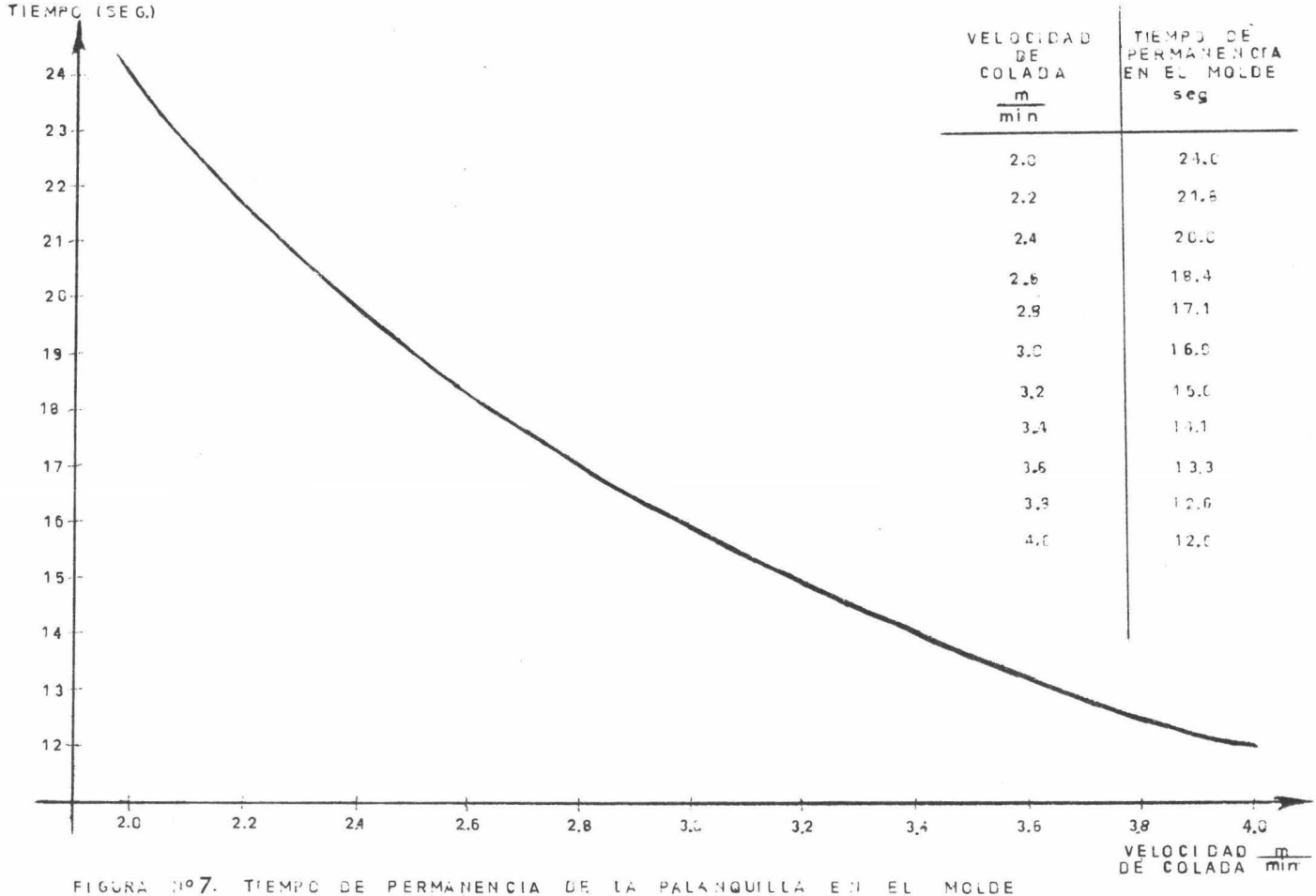
3.6 Molde.-

Generalidades.-

Cuando una palanquilla hecha por colada contínua sale del molde, consiste de una capa sólida con unas paredes relativamente delgadas y el interior aún líquido. Como resultado de la extracción de la palanquilla del molde, por medio de la unidad extractora-enderezadora, se producen fricciones entre las paredes del molde y la palanquilla que se tienen que vencer. La capa de metal solidificado está sujeta a fuerzas de tensión; al mismo tiempo está sujeta a la presión ferrostática ejercida por la columna de metal líquido.

Para resistir estas fuerzas, la capa debe tener cierto espesor y éste debe ser uniforme alrededor de la sección de la palanquilla. Una falla en la capa solidificadora puede provocar una ruptura. Aunque ésto puede ocurrir en cualquier punto entre la salida de la palanquilla del molde y la solidificación final, es obvio que el peligro es mucho mayor a la salida del molde, donde ya no tiene el apoyo de las paredes del mismo. La palanquilla solidifica totalmente poco antes de llegar a la unidad extractora.

La velocidad máxima de colada adecuada para la seguridad de la operación depende, principalmente, de aquellos factores que rigen la velocidad con que aumenta el espesor de la capa. Este espesor es una función de la velocidad de eliminación de calor y del tiempo de permanencia de la palanquilla en el molde (Fig. No.7; ver también Fig. No. 8)



VELOCIDAD DE COLADA $\frac{m}{min}$	TIEMPO DE PERMANENCIA EN EL MOLDE seg
2.0	24.0
2.2	21.8
2.4	20.0
2.6	18.4
2.8	17.1
3.0	16.0
3.2	15.0
3.4	14.1
3.6	13.3
3.8	12.6
4.0	12.0

FIGURA Nº 7. TIEMPO DE PERMANENCIA DE LA PALANQUILLA EN EL MOLDE A DIFERENTES VELOCIDADES DE COLADA.
LONGITUD DEL MOLDE : 0.8m.

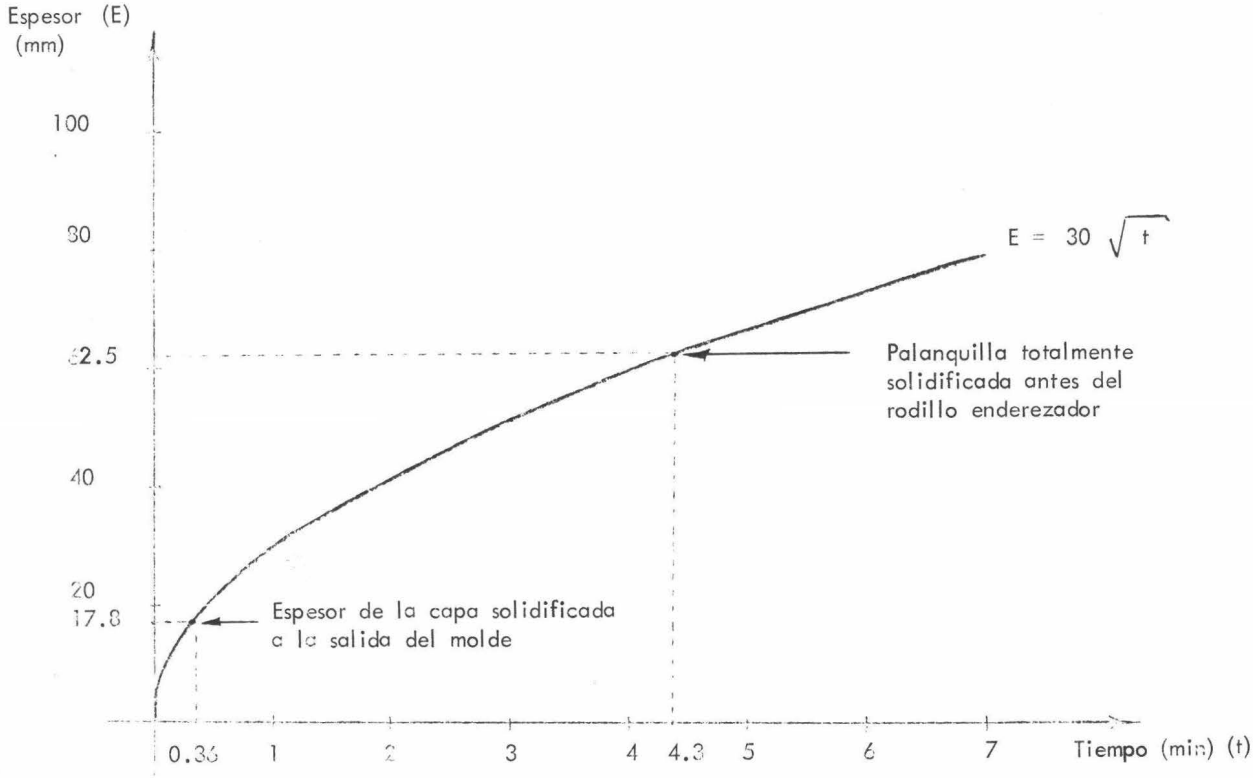


Fig. No. 8 Velocidad de crecimiento de la capa solidificada, considerando una velocidad de colada de 2.2 m/min

Este tiempo de permanencia está determinado por la longitud - activa del molde a una velocidad de colada determinada. La longitud activa del molde es la longitud en la que la palanquilla está en contacto directo con las paredes del molde, la cual se puede calcular por medio de la siguiente ecuación:

$$H = \frac{\Delta t \cdot S \cdot \gamma \cdot C_{met} \cdot C}{(t_p - t_w) \cdot K}$$

Donde: Δt - Sobrecalentamiento del metal (° C)

H = Longitud activa del molde (mm).

S = Mitad del ancho de la palanquilla (mm).

γ = Gravedad específica del acero líquido $\frac{Kg}{m3}$

γ = 7300 Kg/m3

C_{met} = Capacidad calorífica del acero líquido $\frac{Kcal}{Kg°C}$

C_{met} = 0.19 K cal/Kg°C

tp = Temperatura de vaciado del acero (°C)

tp = 1500°C

tw = Temperatura deseable del agua de enfriamiento (°C)

tw = 30 °C

K = Coeficiente de transferencia de calor del acero líquido a las paredes del molde.

K = 1700 $\frac{Kcal}{m2hr°C}$

C = Velocidad de extracción = 2.8 - 3$\left(\frac{m}{min}\right)$

$$H = \frac{50}{1500-30} \cdot \frac{7300x0.19x3x60}{1700} \cdot 62.5$$

$$H = 294 \text{ mm}$$

Comparando el valor de la longitud activa del molde, para esta sección de palanquilla, con la longitud total del molde (800 mm), podemos apreciar que sólo en una pequeña porción del molde, el metal colado está en contacto directo con las paredes de aquél.

La transferencia de calor del acero líquido al molde enfriado con agua, tiene lugar en varias etapas:

I. Transferencia de calor del centro de la palanquilla, a la pared externa de la misma.

II Transferencia de calor de la pared externa de la palanquilla a la pared interna del molde.

III Transferencia de calor por conducción a través de la pared del molde.

IV Transferencia de calor de la pared exterior del molde al agua de enfriamiento.

Etapa I

La transferencia de calor del centro de la palanquilla a su superficie, sea a través de acero líquido ó sólido, en una función de constantes físicas tales como la conductividad térmica del acero, el gradiente de temperatura y el tiempo.

Etapa II

Transferencia de calor de la superficie de la planquilla a la pared interior del molde. Es la etapa más crítica, ya que la transferencia de calor por conducción es mucho mayor que la efectuada por radiación, pero la conducción es posible, solo en la zona donde la palanquilla está en contacto directo con el molde.

Debido a la contracción que se produce como consecuencia de la solidificación de la palanquilla existe una tendencia a formarse una capa gaseosa entre la superficie de la palanquilla y las paredes del molde y ésto causa una disminución drástica en la eficiencia de la transferencia del calor ya que la mayor parte de la misma se efectúa por radiación y una pequeña porción por convección en el gas. Por lo tanto, el factor más importante que afecta la velocidad del crecimiento de la capa sólida, es el diseño del molde cuya geometría asegure un buen contacto entre la palanquilla y las paredes del molde desde el nivel superior hasta la salida del mismo. Esto significa tener un molde con una disminución gradual que correspomda a la cantidad que se contraiga el acero. La contracción varía con la velocidad de colada y el tipo de acero.

Etapa III

Con respecto a la transferencia de calor a través de la pared del molde, los factores que la controlan son: la conductividad térmica del cobre, el gradiente de temperatura y el tiempo.

Etapa IV

La transferencia de calor de las paredes del molde al agua de enfriamiento se reduce considerablemente cuando se forma un depósito de carbonatos en la pared del molde. Esto se puede evitar controlando perfectamente el tratamiento del agua que se utilice en este equipo.

Aunque el espesor de la capa sólida a la salida del molde es de gran importancia, existen otras condiciones que hay que controlar para lograr una operación segura, como son el mantener un alineamiento adecuado del molde con relación a la plataforma de rodillos y un enfriamiento correcto de las caras y vértices de la palanquilla por medio del agua atomizada .

El molde (No. 6 Fig. 4), es la parte más crítica de la máquina. Es un depósito sin fondo, de cobre con recubrimiento de cromo, curvo-con un radio de curvatura de 5 m- de sección transversal aproximadamente cuadrada 12.8 x 12.9 cm, de 80 cm de longitud y con una conicidad de $\frac{0.6\%}{m}$.

El molde durante la colada está enfriado con agua para lo cual está provisto de una chaqueta (Fig. No. 9).

Debido a que el cobre es un excelente conductor del calor se aprovecha esa propiedad para elaborar los moldes de este material.

En el molde lo que se busca es que el acero líquido que se vacie en él, solidifique lo más rápidamente posible ya que, a la salida del mismo, esa capa que se forme será la que contenga al acero del interior todavía -- líquido.

El molde también está diseñado para que por su parte superior, haya una alimentación de aceite que hace que disminuya la fricción entre la capa de acero solidificado en el molde y las paredes del mismo.

La Fig. 10 muestra la distancia aproximada a la cual solidifica totalmente una palanquilla de acero de 12.5 cm^2 de sección.

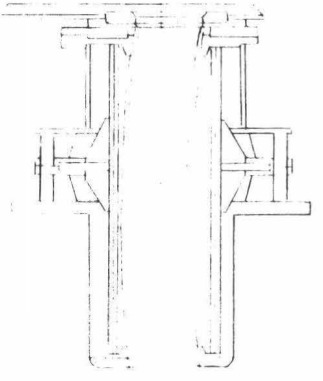


Fig. No.9 El Molde

3.7 Sistema de Oscilación del Molde

Está situado debajo de la plataforma de colada (No.7 Fig.4.). Por medio de un motor con un excéntrico acoplado, transfiere al molde un movi - miento ascendente-descendente cuya finalidad es la de evitar que la palanquilla se adhiera al molde.

3.8 Bastidor de Rodillos

Se localiza debajo de la plataforma de colada, directamente bajo el molde (No.8 fig.4). Está constituída por rodillos y espreas montadas en un soporte hecho a base de tubos y que tiene un radio de curvatura de 5 mts. para continuar el doblaje de la palanquilla que se inició en el molde. Los rodi - llos guían a la palanquilla, mientras es enfriada por medio del agua atomizada por las espreas; agua que choca directamente con la palanquilla, la cual está parcialmente líquida en su interior, hasta que, por el enfriamiento, solidifica totalmente. Los rodillos también se utilizan para guiar y soportar la barra - falsa cuando la cabeza de ésta se incerta en el molde antes de iniciar una colada.

3.9 Cámara de Enfriamiento

Se encuentra bajo la plataforma de colada (No. 9 Fig.4), abarcando las seis plataformas de rodillos de cada máquina. Como el enfriamiento de la palanquilla es directo, en la cámara se produce una gran cantidad de vapor de agua. Cada cámara cuenta con un sistema de extracción de vapor, para lo - cual cuenta con dos abanicos.

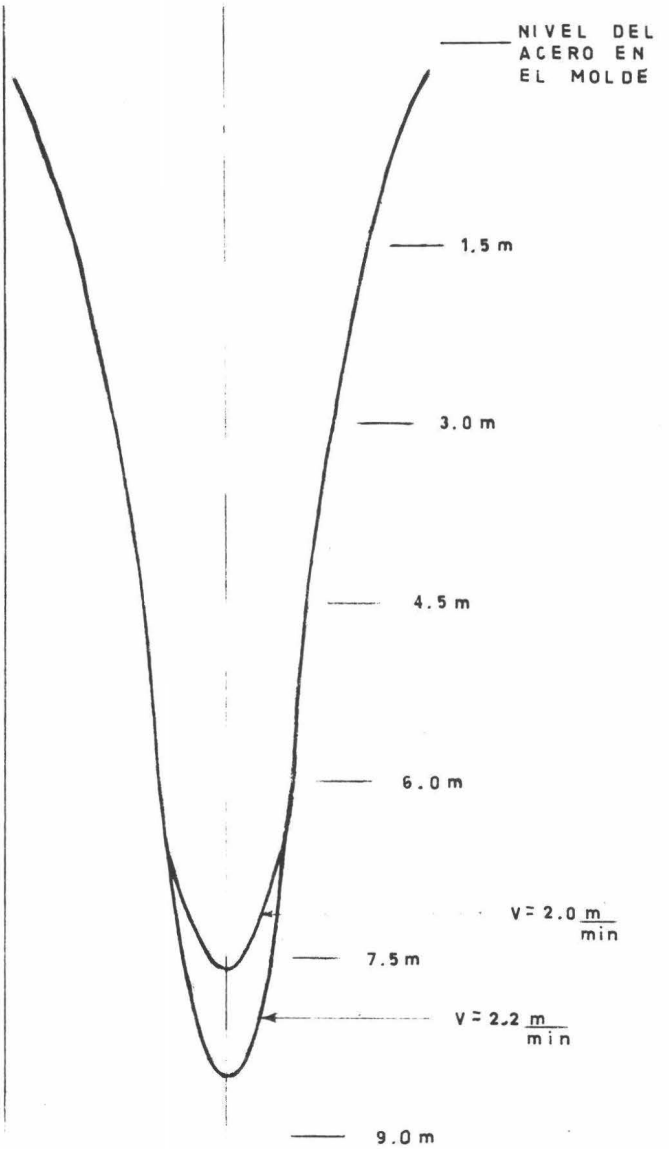


Fig. No. 10 Distancia aproximada a la cual solidifica totalmente una palanquilla de 125 mm2, colada a 2 velocidades diferentes.

3.10 Unidad Extractora-Enderezadora

Se localiza al final del arco que describe el bastidor de rodillos - (No.10, Fig.4). Hay una unidad extractora-enderezadora por cada línea de cada una de las máquinas.

Consiste de 5 rodillos (2 superiores y 3 inferiores), montados en un soporte. Los rodillos superiores son los que ajustan mediante un dispositivo - hidráulico, la presión de extracción y enderezado. De los tres rodillos inferiores, dos están motorizados y controlan la velocidad de colada. El propósito de los rodillos de esta unidad, es el de sujetar la palanquilla sin deformarla considerablemente y controlar la velocidad a la que es extraída del - molde. Si la presión que ejercen los rodillos es pequeña, el rodillo resbala causando variaciones en la velocidad de extracción, pudiéndose producir porosidad en el centro de la palanquilla. Si la presión es muy grande se deforma la palanquilla y, si el interior estaba aún pastoso, se producirán grietas internas orientadas a 90°con relación a los ejes de los rodillos extractores.

3.11 Barra Falsa

Es una cadena eslabonada de acero, con un extremo rígido Fig.11. Su longitud total, incluyendo la cabeza es de aproximadamente 9 mts. La cabeza se fija a la cadena por medio de una rosca. La cadena se mantiene dentro del molde por medio de la unidad extractora-enderezadora, sellándose con pedacería de chatarra y asbesto los huecos que quedan entre la cabeza y el molde, para evitar las fugas de acero líquido al iniciarse la colada.

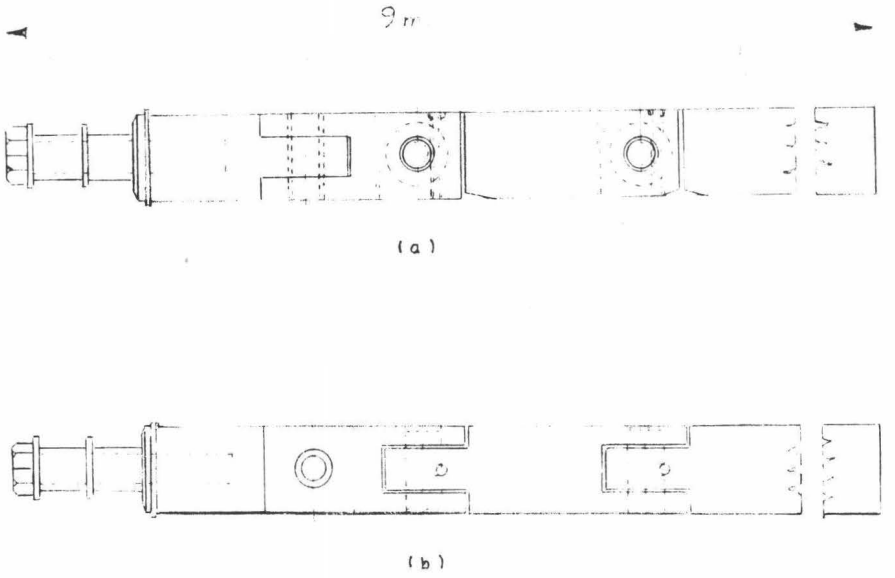


Fig. No. 1: Barra falsa a) Vista lateral b) Planta

3.12 Estaciones de Corte

Están situadas aproximadamente a unos once metros de la unidad extractora enderezadora (No. 13 Fig.4).

El corte de la palanquilla se efectúa por medio de un soplete de llama oxi-gas, montado en un carro móvil, el cual se desplaza a la misma velocidad que la palanquilla mientras se efectúa el corte. La sujeción entre este carro y la palanquilla se logra por medio de dos abrazaderas accionadas neumáticamente.

Una vez terminado el corte, el carro regresa a su posición inicial para empezar otro corte. La carrera del carro con el soplete es de 3 metros.

Tanto el soporte del carro, como el soplete están enfriados internamente con agua con el fin de evitar sobrecalentamiento y posibles deformaciones.

3.13 Almacén de la barra falsa

Se localizan entre las líneas de la máquina. Hay uno por cada línea, y tienen una longitud de 9 mts.

Tan pronto como la barra falsa haya sido separada de la palanquilla en las estaciones de corte, se levanta ésta por medio de un dispositivo hidráulico a los depósitos donde permanecen hasta el siguiente inicio de una colada

3.14 Mesa de rodillos

Están situadas desde la unidad extractora-enderezadora, pasando por las máquinas de corte, hasta donde empieza la cama de enfriamiento (No.14. Fig. 4.) Transportan la palanquilla por medio de los rodillos instalados en ella; cuenta con 40 rodillos, 29 de los cuales están motorizados.

3.15 Empujadores

Están colocados en el último tramo de las mesas de rodillos. Cuando hayan sido detenidas seis palanquillas por los "paradores", colocados al final de la mesa de rodillos, se transfieren a la cama de enfriamiento por medio de los empujadores. Estos pueden ser a base de cilindros neumáticos o eléctricos con cadenas (transportador de uñas).

3.16 Cama de enfriamiento

Está situada perpendicularmente a la mesa de rodillos. Las palanquillas desplazadas por los empujadores caen a la cama de enfriamiento a -- través de una placa inclinada. Durante su recorrido a lo largo de la cama, las palanquillas van girando 90° sobre su eje longitudinal, con el objeto de lograr un enfriamiento más rápido y uniforme. Cuenta con dispositivos mecánicos (excéntricos) que le permiten efectuar dichos giros (Fig. No. 12).

3.17 Olla para casos de emergencia

Se localiza en una base de concreto a un nivel de 3.5 m y a -- 180° de la posición de colada (No. 17 Fig.4).

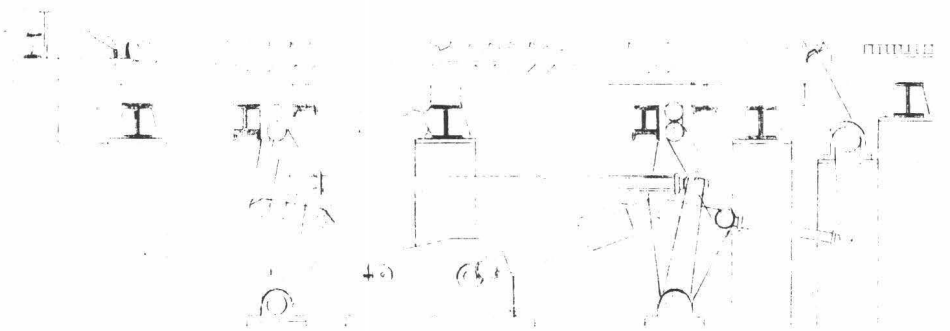


Fig. 12 Cama de enfriamiento

3.17 Equipo Auxiliar y de Servicios

En esta sección se incluyen los equipos de las estaciones de precalentamiento y secado de los distribuidores, del sistema de lubricación y de las estaciones de engrasado (son dos estaciones de engrasado; una suministra a los sistemas de oscilación y a los rodillos de las unidades extractoras-enderezadoras, mientras la otra suministra a los empujadores, mesas de rodillos y camas de enfriamiento); los equipos de la planta de tratamiento de agua, de recepción y distribución de energía eléctrica, instrumentos de medición y registro, equipo de almacenaje, suministro y control de fluído hidráulico, carro para transferir distribuidores, grúas y planta de tratamiento de agua. Fig. No. 15.

PROCESO DE COLADA CONTINUA

Generalidades

La obtención de palanquilla por el proceso de colada continua se logra vaciando el acero líquido* de la olla, a través de un distribuidor, a un molde sin fondo enfriado con agua que tiene las dimensiones de la sección a colar. El metal, vaciado al molde a una velocidad constante, solidifica parcialmente y la palanquilla se extrae a una velocidad, también constante, por medio de unos rodillos extractores-enderezadores. Ambas velocidades deben estar sincronizadas.

El espesor de la capa solidificada de la palanquilla aumenta constantemente y la solidificación se completa - normalmente - , en el momento en que

* En la planta de aceración se comprueban composición química y temperatura del acero.

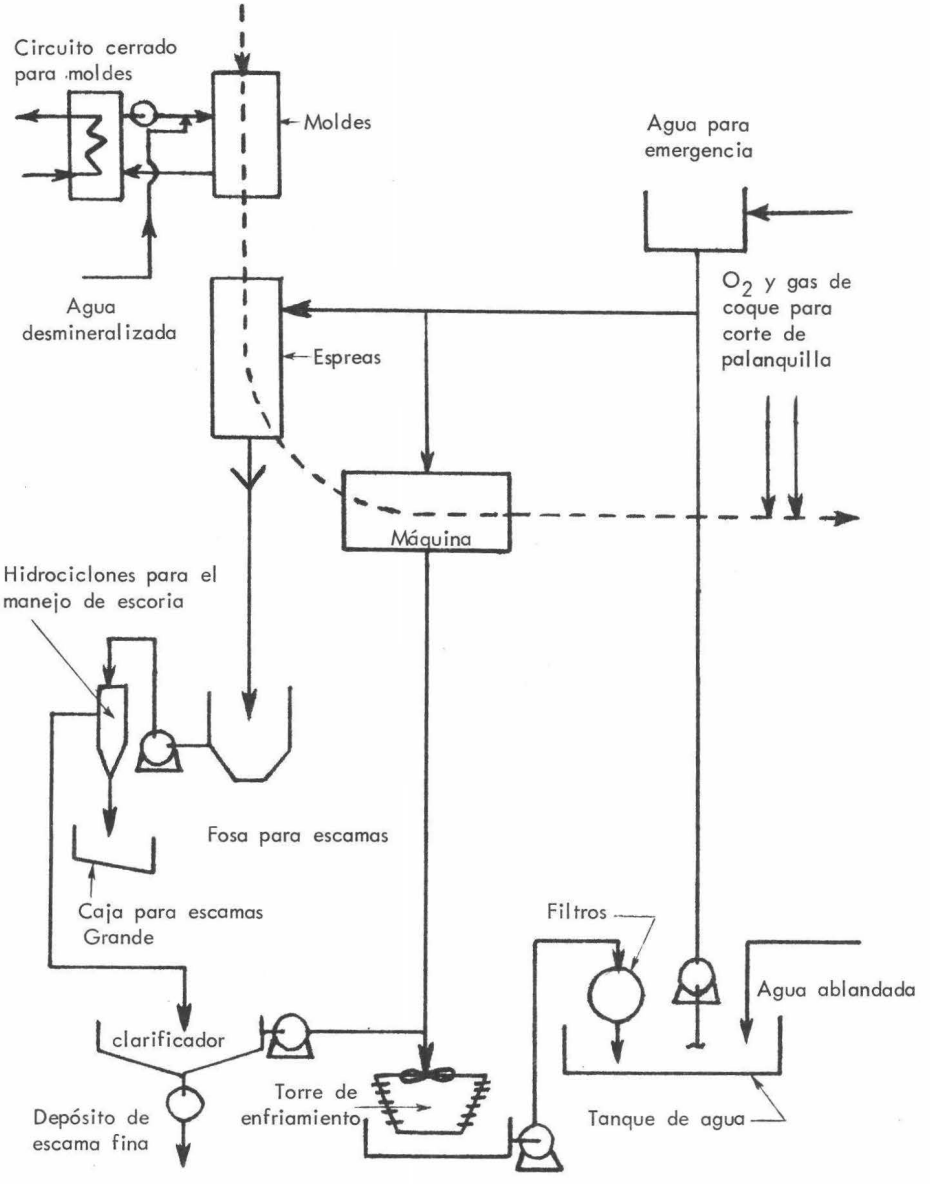


Fig.No. 15 Circuitos para los sistemas de enfriamiento en una planta de Colada Continua

la palanquilla entra en la unidad extractora-enderezadora. Algo más adelante, un soplete de corte montado en un mecanismo que se desplaza a la misma velocidad que la palanquilla, las corta a la longitud requerida para el laminado posterior.

A continuación doy una descripción más detallada del proceso de colada continua. Algunas operaciones se efectuan antes de la llegada del acero a la planta de aceración.

- Aproximadamente 2 horas antes de iniciarse la colada, debe precalentarse el refractario del distribuidor.
- Se coloca la barra falsa en la mesa de rodillos. Se ponen en movimiento los rodillos de la mesa para llevar la barra a la unidad extractora-enderezadora. Esta se encarga de llevar a la barra falsa en dirección opuesta a la de colada, hasta que la cabeza de ésta quede dentro del molde unos 10 ó 15 cms.
- Antes de iniciar la colada, se sella la cabeza de la barra en el molde para evitar fugas de acero líquido; se coloca la pedacería de chatarra dentro del molde sobre la cabeza de la barra falsa para acelerar el proceso de solidificación cuando el molde reciba el acero líquido del distribuidor. Los rodillos de la unidad extractora-enderezadora sujetan la barra falsa en esta posición.
- Una vez realizado lo anterior, el distribuidor precalentado entre -- 1000 y 1100° C, se coloca en posición de colada, por medio de

su carro y se alínea para la colada.

- Se colocan discos de hierro en las boquillas del distribuidor ya que al iniciarse la colada el acero no cae directamente a los moldes, sino que se desvia a la caja para escoria, como se explica en la operación cronológica de la máquina más adelante.

Al iniciarse la colada, el acero líquido cae al distribuidor. Este distribuidor permite la dosificación del acero a los moldes.

Tan pronto como el metal haya llegado a cierto nivel en el molde (generalmente unos 20 cms. antes de la parte superior del mismo), se inicia la extracción de la barra falsa a una velocidad predeterminada. El metal solidifica rápidamente en la cabeza de la barra falsa, asegurando la extracción de la palanquilla.

El molde se enfría abundantemente con agua durante la operación. También se agrega un agente lubricante por dentro de las paredes del molde para reducir la fricción entre la palanquilla y el molde; creando además una atmosfera reductora arriba del nivel del metal líquido. Este lubricante es el aceite de colzá. También, para ayudar a que la palanquilla no se adhiera al molde, éste cuenta con un mecanismo de oscilación. La oscilación del molde se efectúa por medio de un dispositivo mecánico. La longitud de la carrera es constante, mientras que la frecuencia es variable, pudiendo ajustarse según las necesidades de colada.

En la zona de enfriamiento secundario y doblaje que está debajo del molde, la palanquilla que sale con una capa solidificada delgada, se en-

fría hasta que se forma una capa totalmente sólida. Para el enfriamiento se utiliza agua, atomizada a través de espreas que hace contacto con la palanquilla en todas sus caras y vértices.

El volúmen de agua para el enfriamiento y la intensidad del atomizado se puede ajustar de acuerdo con el tipo de acero, tamaño de la palanquilla y velocidad de colada.

Esta zona de enfriamiento está situada en una cámara hermética. El vapor producido durante el enfriamiento se elimina por medio de dos extractores. La cámara es común a las seis líneas de cada máquina.

Al salir del molde, la palanquilla que en su interior está aún líquida, es guiada por el bastidor hasta las máquinas extractoras-enderezadoras.

Durante la extracción de la palanquilla se tienen que vencer varias resistencias. Estas son causadas por:

a.- La fricción entre la capa sólida de la palanquilla y las paredes internas del molde.

b.- El doblaje y la fricción de la palanquilla en el bastidor de rodillos.

c.- La fricción en los soportes de los rodillos de extracción.

La potencia se selecciona de manera que la palanquilla está tensionada mecánicamente lo menos posible. Los rodillos superiores de la máquina extractora hacen contacto con la palanquilla por medio de cilindros hidráulicos y la presión de contacto es ajustable.

En seguida se encuentra la máquina de corte. La palanquilla se corta a la longitud requerida con un soplete que opera continua y automáticamente utilizando una mezcla de oxígeno puro y gas de coquería.

Después de separar la barra falsa de la palanquilla, se levanta aquella a su sitio de almacenaje, por medio de un mecanismo hidráulico.

Las palanquillas llegan al extremo de la mesa de rodillos donde son detenidos por un tope. De aquí son transferidas a la cama de enfriamiento con un empujador de cadenas. Al final de la cama se encuentra un empujador accionado hidráulicamente el cual reune las palanquillas que llegan separadamente de la cama de enfriamiento depositándolas en una mesa de almacenaje. Posteriormente son levantadas por medio de una grúa con magnetos y depositadas en unos carros que las llevan a las naves de laminación.

Al concluir la colada se cierra la válvula del tipo deslizante de la olla, se quita la olla por medio de la grúa. El carro con el distribuidor se mueve lateralmente al sitio donde, por medio de una grúa, se recoje éste para llevarlo a la zona de reparación.

Para sacar la escoria y el resto del acero que quedan en el distribuidor se puede utilizar una grúa.

OPERACION CRONOLOGICA DE UNA MAQUINA

1. La máquina está lista para la colada.

Se agita el baño de acero líquido por medio de argón inyectado a presión y se determina la temperatura. Esto se realiza en la planta de aceración.

Pueden suceder tres casos:

- Que el metal esté frio: en este caso la olla regresa a la planta de aceración.
- Que el metal esté demasiado caliente: entonces se agrega chatarra para bajar la temperatura del baño.
- El metal tiene la temperatura adecuada: se ordena iniciar la colada.

2. Llega la olla con acero a la nave de transferencia entre aceración y colada continua. La olla se coloca en la torre utilizando para ello una grúa de 180 ton de capacidad. Se gira ésta 180° para quedar en posición de colada.

3. Se suspende el precalentamiento del distribuidor.

4. Se mueve transversalmente el carro del distribuidor hacia la plataforma de colada. La artesa de la escoria se coloca bajo las boquillas del distribuidor.

5. Se abre el circuito de agua del molde

6. Se comprueba la autorización de colada

7. Se llena el distribuidor con acero, se sopletea con una lanza de oxígeno en las boquillas para fundir los tapones de cobre o plomo colocados ahí, se tira ese acero al depósito de escoria a través de un canalón .

Tan pronto como el acero caiga con un chorro constante y limpio, se retira el canalón permitiendose que el acero caiga a los moldes. Solo se vacia un poco de acero y se vuelve a colocar el canalón para volver a desviar el acero a la caja para escoria mientras solidifica el que cayó al molde. Enseguida se quita definitivamente el canalón y se empieza a llenar el molde.

8. Cuando el nivel acero líquido esté aproximadamente unos 20 cms. debajo de la tapa del molde, se arrancan las siguientes unidades:

- Sistema de oscilación del molde
- Sistema de lubricación del molde
- Unidad extractora-enderezadora
- Circuito de agua para el enfriamiento en la zona secundaria.

9. Cuando la barra falsa haya pasado la estación de corte, se efectúa un primer corte para desconectarla de la palanquilla. El corte se controla automáticamente.

10. Se coloca la barra falsa en su sitio de almacenaje, fuera de la línea de colada.

11. Se corta la palanquilla a la longitud requerida, se descargan a la cama de enfriamiento y de ésta a la mesa de almacenaje.

12. Al final de la operación de colada se disminuye la cantidad de acero que cae al molde.

13. Cuando la olla está vacia, la torre se gira 180° y se quita la olla por medio de una grúa.

14. El nivel del acero en el distribuidor disminuye y ésto trae consigo una reducción de la velocidad de colada.

15. Cuando el distribuidor está casi vacio, un operador coloca los canalones para desviar la escoria a la caja dispuesta para ella.

16. El carro del distribuidor se desplaza transversalmente para poder quitar el distribuidor por medio de una grúa y llevarlo a la zona de reparación y preparación.

17. En el sistema de oscilación y la unidad extractora-enderezadora se disminuye la velocidad o se detienen por completo (dependiendo de la sección de la palanquilla), para asegurar la solidificación total de la palanquilla en su extremo. El tiempo en el que se disminuye la velocidad o durante el cual paran es de aproximadamente dos minutos.

18. Cuando el extremo de la palanquilla esté totalmente solidificado, se descarga a una velocidad un poco mayor a la de colada. Al salir la palanquilla se detiene el sistema de oscilación del molde.

19. La última palanquilla deja la máquina.

20. No hay en este momento ninguna palanquilla en la mesa de rodillos.

21. A la barra falsa se le corta la parte de la palanquilla que quedó unida a élla. Se limpia la barra falsa y se prepara para la siguiente operación de colada.

COLADA SECUENCIAL

Las máquinas de colada continua son capaces de lograr coladas secuenciales sin cambiar el distribuidor durante la operación.

Para la colada secuencial se sigue el mismo procedimiento citado anteriormente excepto para el paso No. 13, para el cual la secuencia es la siguiente:

13.a El operador de la planta de colada continua da una señal para que se coloque otra olla con acero en el otro brazo de la torre.

13.b. Antes de que se vacié totalmente la olla de colada, se llena el distribuidor lo más posible, con objeto de tener una cantidad de acero suficiente para no detener la operación de colada durante el cambio de olla.

13.c. Por rotación de la torre se coloca la nueva olla en posición de colada.

13.d. Se abre la válvula deslizante de la olla y continua la colada.

La única limitación para lograr un mayor número de coladas secuenciales es la vida de las boquillas del distribuidor, las cuales soportan como máximo ocho coladas de 60 minutos cada una.

Control de calidad del producto

El control de calidad de la palanquilla obtenida por colada continua se efectúa por inspección visual (macroscópica) y por medio de un examen metalográfico.

En la inspección visual se checa que el acabado superficial de la palanquilla cumpla con los requerimientos de calidad especificados, es decir, que no presente grietas, inclusiones, sopladuras o deformaciones de consideración.

En el examen metalográfico se observan: tamaño de grano , cantidad y localización de sopladuras, inclusiones, segregaciones y grietas.

También se efectúan análisis químicos por espectrometría de emisión para comprobar el análisis reportado por la planta de aceración.

CAPITULO IV

Tipos de defectos en las palanquillas, causas, consecuencias y medidas preventivas

Los defectos que se presentan en las palanquillas coladas continuamente se clasifican, generalmente en: externos e internas.

1.	Defectos Externos	Sopladuras
		Inclusiones superficiales
		Grietas externas
2.	Defectos Internos	Grietas internas
		Porosidad central
		Segregaciones
		Inclusiones internas

1. DEFECTOS EXTERNOS

Sopladuras

Estos defectos se crean en el momento de la solidificación por efecto de los gases que quedan atrapados durante la solidificación. Aparecen en forma de cavidades esféricas de dimensiones variables en la superficie de las palanquillas coladas, apareciendo como líneas obscuras en las barras laminadas. Los causantes de este defecto son el hidrógeno, el monóxido de carbono y el nitrógeno.

Otras causas que pueden dar origen a sopladuras son:

- Depósito de inclusiones de silicatos en la superficie.

  Tales inclusiones tienen puntos de fusión muy bajos por lo que al salir la palanquilla del molde aún permanecen líquidas y salen de la superficie de la misma dejando cavidades.

- Reoxidación del acero líquido en el molde.

  Esto trae como resultado que se formen zonas con alta concentración de oxígeno, que al combinarse con el Carbono del acero produce CO y éste sopladuras.

En la desgasificación del acero líquido, si se logra reducir el contenido de hidrógeno hasta 5 p.p.m., los resultados se consideran buenos.

Algunos metalurgistas piensan que, probablemente, la influencia del monóxido de carbono en la formación de sopladuras, sea mayor que la del hidrógeno.

Las sopladuras se producen cuando el acero no se desoxida; el problema se resuelve fácilmente utilizando 0.015% de aluminio. Por debajo de esta cantidad, los resultados pueden variar, dependiendo del porcentaje de carbono en el metal y del proceso de desoxidación . Con una desoxidacion completa, con una aleación calcio-silicio en la olla, se pueden obtener excelentes resultados; por ejemplo en aceros al carbón o de baja aleación ------- (0.25 - 0.30% C), usando cantidades de aluminio del orden de 0.008 a - -

a 0.012 %. Usando silicio en cantidades normales, como único desoxidante, no es capaz de evitar las sopladuras en el acero.

Las sopladuras localizadas en la superficie de las palanquillas se oxidan con el aire y por ello no pueden soldar en el laminado subsiguiente. Cuando las sopladuras tienen una profundidad de 3.2 mm. no afectan.

Cuando se presente este tipo de defecto en las palanquillas, deben seguirse las siguientes medidas correctivas:

a) Controlar la cantidad de hidrógeno en el acero líquido.- Existen varios factores que tienden a hacer que disminuya el contenido de hidrógeno en el acero, entre los cuales se pueden mencionar:

- Evitar humedad en las adiciones finales.
- Usar ollas y distribuidores sin humedad.
- Evitar usar cal hidratada.
- Efectuar una desoxidación correcta.

b) Cambiar el aceite utilizado en la lubricación del molde por uno nuevo o por alguno que produzca unas cantidades de hidrógeno y monóxido de carbono menores.

c) Usar (cuando sea viable economicamente) una escoria sintética totalmente deshidratada.

Inclusiones

La importancia y frecuencia de los defectos superficiales producidos por las inclusiones son mayores que aquéllos provocados por las sopladuras y su eliminación requiere de mayores esfuerzos.

Generalmente estas inclusiones están constituidas de aluminato de calcio, alojadas en la capa externa del metal. Su origen puede ser: descenso de las inclusiones que flotan sobre el menisco entre el acero líquido y las paredes del molde, o bien, la formación de inclusiones durante la solidificación o ambas a la vez.

La manera exacta en la que se forman estas impurezas llamadas 'refractarias' es muy compleja. Cabe recalcar que se presentan grandes variaciones en los diferentes tipos de aceros.

Las inclusiones que aparecen en los aceros se clasifican en 3 grupos: óxidos, sulfuros y silicatos, aún cuando hay inclusiones de composiciones intermedias.

La distribución de las inclusiones influye en gran medida en las propiedades de los metales, acresentándose sus efectos nocivos cuando se localizan en los límites de los granos, provocándose una rotura cuando se somete al metal a un esfuerzo como por ejemplo cuando éste se lamina.

En general, el efecto nocivo de las inclusiones dependerá principalmente de:

La manera en que se presenten, ya que cuando se presentan agrupadas o con cierta alineación ejercen efectos más negativos que cuando se presentan aisladas.

Las inclusiones que producen efectos más negativos, son las que se presentan en forma de hileras largas o películas continuas ya que producen discontinuidades en el metal al sustituirlo con porciones de un material débil

o frágil como son las inclusiones, disminuyendo la resistencia y ductilidad del metal.

Puede ocurrir que la inclusión tenga un punto de fusión inferior al del metal. En estas condiciones las películas interpuestas en el metal se funden o se ablandan cuando se calienta el metal para conformarlo, bastando una pequeña deformación para producir la rotura. Es decir, un metal con inclusiones de este tipo se dice que es frágil en caliente.

Después de un laminado, las inclusiones se alínean en una forma más o menos continua, pudiendo conducir ello a la formación de grietas.

La figura 16 muestra los posibles defectos que se pueden encontrar en palanquillas coladas en forma continua.

La figura 17 es un histograma que relaciona entre otros factores la influencia de la temperatura en el caso de coladas para la laminación sin acondicionamiento completo de la superficie después de una inspección visual. Se puede observar una mayor tendencia a la formación de inclusiones a temperaturas elevadas.

Para reducir la cantidad de inclusiones, se recomienda controlar extrictamente los siguientes factores:

a) La protección del acero líquido contra la re-oxidación durante la colada. Esto se logra dejando una pequeña cantidad de escoria en la superficie del baño fundido que, junto con el polvo exotérmico que se agrega para mantener la temperatura del acero, forman una capa que lo proteje contra la acción oxidante del

Fig. No. 16 POSIBLES DEFECTOS EN PALANQUILLAS COLADAS CONTINUAMENTE

Factores a Considerar	Sopladuras	Inclusiones Superficiales	Grietas Externas	Grietas Internas	Deformaciones	Segregaciones	Porosidad	Rupturas	Inclusiones Internas
Alto contenido de Alúmina >(0.15 %)									
Alto contenido de Azufre >(0.20 %)									
Temperatura Excesiva									
Molde Deformado									
Boquilla sumergible con cubierta de polvo									
Velocidad de extracción excesivamente alta									
Enfriamiento defectuoso en la zona de espreas									
Enfriamiento defectuoso en la zona del molde									
Enderezamiento mecánico antes de la solidificación total									

Donde Efecto favorable Efecto no favorable No influye

	Contenido de Aluminio en el Acero (% peso)			
	0.015	0.016 - 0.025	0.026 - 0.035	0.035
Total de Coladas 100%	34.2%	40.4%	19.1%	6.3%
Coladas "buenas" laminadas sin reacondicionamiento 67%	44.9%	44.9%	6.8%	3.4%
Coladas "malas" laminadas después de un reacondicionamiento 33%	16.6%	33.4%	38.9%	11.1%

Fig. No. 17 Influencia del contenido del Al en la calidad superficial del acero.

oxígeno de la atmósfera.

b) El control de la temperatura de colada y de la cantidad de aluminio.

Grietas Externas

Las grietas externas longitudinales representan un serio problema y traen como resultado que una palanquilla con este defecto se deseche como chatarra. Este fenómeno aumenta en el caso de aceros que contengan azufre en cantidades arriba de 0.020%. La precipitación de sulfuros interdendríticos produce fragilidad y ocasiona la aparición de estas grietas.

Generalmente se localizan en los vértices de las palanquillas. Además del factor mencionado con anterioridad, estas grietas se pueden producir por estar colando en un molde muy desgastado. Cuando la palanquilla pasa a través del molde, los vértices inferiores del mismo son los que sufren más flexión y fricción desgastándose más rapidamente. Al aumentar la flexión en la palanquilla aumentan los esfuerzos mecánicos y entonces es cuando comienzan a aparecer grietas.

Un bastidor de rodillos mal alineado con respecto al molde también contribuirá a formar grietas externas longitudinales (Fig. No. 18) ya que las tensiones durante un enfriamiento no se distribuyen uniformemente. Ver también Fig. No. 19.

Las grietas superficiales transversales se producen cuando una palanquilla demasiado fría (relativamente) se somete a los esfuerzos de la unidad enderezadora. Esto ocurre particularmente a los aceros con alto contenido de carbono (Fig. No. 20)

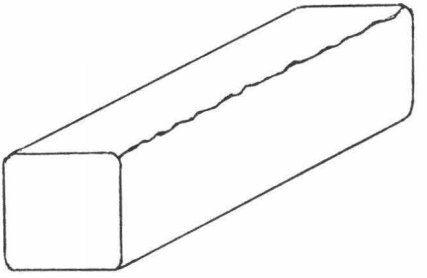


Fig. No. 18 Grieta longitudinal en un vértice debida a un molde desgastado o a un bastidor de rodillos mal alineado.

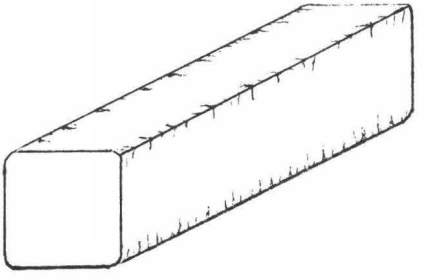


Fig. No. 20 Grietas transversales en los vértices debidas a una palanquilla demasiado fría cuando se endereza.

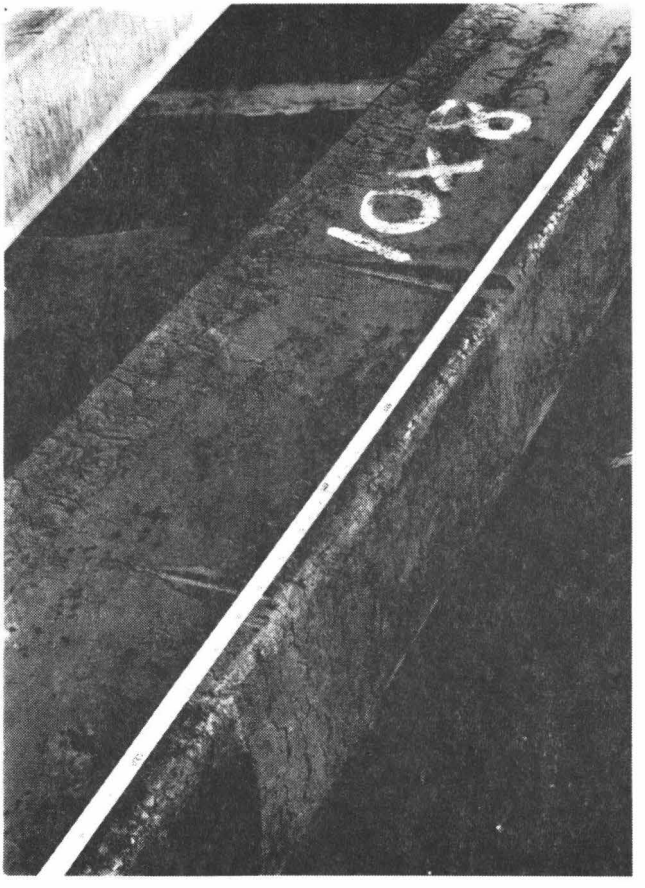


Fig. No. 19 Grietas externas en una palanquilla obtenida por el proceso de Colada Continua.

DEFECTOS INTERNOS

Grietas Internas

Las principales causas que originan grietas internas en las palanquillas obtenidas por el proceso de colada continua son: la forma peculiar en que solidifica y especialmente, la precipitación interdendrítica de los sulfuros. Estas grietas se localizan generalmente en la zona inmediata a la capa delgada de solidificación que se logra en el molde, o bien en las zonas más lejanas a la superficie de la palanquilla, ésto es, en la zona central de la misma.

Los siguientes factores, deducidos de la experiencia son los principales causantes de las grietas internas:

1. La composición química del acero y contenidos de azufre mayores de 0.015%.

Ya que como se sabe, el azufre forma con el hierro y el manganeso del acero los sulfuros correspondientes de bajo punto de fusión que, como tardan más tiempo en solidificar, constituyen puntos de menor resistencia y pueden originar una grieta o incluso una ruptura.

No obstante lo mencionado en el párrafo anterior, se han obtenido buenos resultados en la producción de aceros con contenidos de azufre entre 0.020 y 0.040%, disminuyendo la velocidad de colada y la cantidad de agua en las espreas.

2. Velocidad de colada inadeacuada y temperatura de colada elevada.

Colando a velocidades muy bajas y teniendo un flujo de agua adecuada en las espreas, aparece el mismo defecto que colando a una velocidad adecuada, pero con un flujo excesivo de agua en las espreas. Se producen grietas en el interior de la palanquilla por efecto de los rápidos cambios de volumen debidos al enfriamiento brusco (contracción debida al descenso de la temperatura. Fig . No. 21.

Manteniendo un enfriamiento constante y colando a velocidades altas o a velocidades normales pero con el acero a una temperatura demasiado elevada, se producen grietas en la palanquilla cuando pasa por los rodillos de la unidad extractora letra (d) Fig. No. 21

3. La mala alineación de los rodillos guías con relación a los rodillos de la unidad extractora.

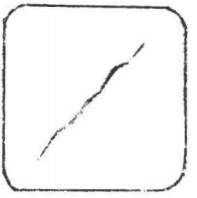
Debido a la alineación defectuosa se producen tensiones internas que pueden producir grietas.

4. Una excesiva presión en los rodillos de la unidad extractora.

Aún cuando la palanquilla esté totalmente solidificada, se pueden producir grietas internas ya que a la temperatura tan elevada que aún tiene (aproximadamente 950° C) se puede deformar con facilidad y como la presión que ejercen los rodillos es únicamente en una dirección se producen esfuerzos que originan grietas, letra (d) Fig. No. 21

Velocidad de colada $\left(\frac{m}{min}\right)$

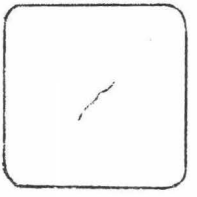
1.8



(a)

Grieta interna provocada por un exceso de enfriamiento en la zona de espreas

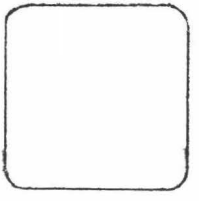
2.05



(b)

La grieta disminuye de longitud al aumentar la velocidad de colada.

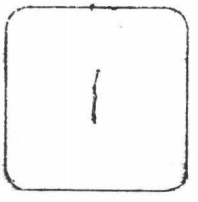
2.55



(c)

Palanquilla sin defectos internos

2.8



(d)

Grieta provocada por un exceso de presión en los rodillos enderezadores.

Fig. No. 21 Efecto de la velocidad de colada en la formación de grietas internas en palanquillas, manteniendo un enfriamiento constante en la zona de espreas.

5. Una velocidad de colada excesivamente alta o un molde desgastado, harán que la palanquilla adquiera una forma rómbica debido a que sale del molde con sus vértices debilitados por la solidificación defectuosa que se realizó por una causa u otra, o por ámbas. Si a ésto, se suma un enfriamiento excesivo en la zona de espreas, aparecerán grietas internas. Fig. No. 22.

Porosidad

Es bien conocido que la forma de solidificación cónica y la contracción del acero en el momento de solidificar pueden producir en la palanquilla cierta porosidad central cuya naturaleza e importancia dependen de las condiciones de operación, particularmente de la velocidad de extracción y de la temperatura de colada. Aunada a estos dos factores, la viscosidad influye en la formación de "puentes de solidificación" que producen porosidades. Se han encontrado por ejemplo, porosidades centrales de cierta importancia en aceros con alto contenido de aluminio, colados a temperaturas muy bajas y a velocidades de extracción altas. En este

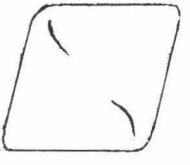


Fig. No. 22

caso, debido principalmente a que la viscosidad del acero aumenta al disminuir la temperatura, se crean "puentes" que provocan que el suministro de acero líquido en las zonas debajo de ellos se realice difícilmente, sino que imposible y necesariamente producen cavidades en el momento de la solidificación.

En la práctica generalmente se reconocen dos tipos de porosidad:

"Nubes"

Son numerosas microcavidades dispersas en un área de aproximadamente 2.5 cm de diámetro. Este tipo de defecto sella perfectamente cuando se lamina la palanquilla

"Cavidad"

Es una cavidad central, simple, de diámetro variable cuya aparición se debe más a "puentes" formados antes de la solidificación, que a la contracción del acero.

Se puede decir que la porosidad interna es un caso de defecto que no presenta oxidación y cuya eliminación, ya sea laminando o forjando, es posible debido al hecho de que ninguna capa de óxido se opone a la soldadura entre los cristales.

Segregaciones

Es bien conocido que la distribución de los elementos químicos en los metales no es siempre uniforme. Es muy frecuente, principalmente en pie-

zas moldeadas y en lingotes, encontrar zonas enriquecidas en ciertos elementos, mientras que en otras están empobrecidas de los mismos. Cuando ésto ocurre se dice que existe segregación.

La segregación se puede clasificar en tres tipos:

- Segregación de principio a fin de colada
- Microsegregación
- Segregación central

Segregación de principio a fin de colada.- Esta segregación resulta de la contaminación que sufre el acero con el óxido de hierro que recoge del refractario del distribuidor cuando éste se ha usado para varias coladas. Por lo tanto, las primeras palanquillas coladas tendrán un mayor contenido de oxígeno que aquéllas coladas posteriormente.

Microsegregación.- La microsegregación en las palanquillas obtenidas por colada continua aparece, generalmente, como resultado del rechazo que sufren los elementos (carbono, manganeso, cromo, azufre, etc.) en los espacios interdendríticos por la solidificación columnar de las dendritas de hierro.

La intensidad de esta microsegregación se incrementa al aumentar la longitud de las dendritas; dependiendo también de la naturaleza y concentración de los elementos de aleación o impurezas del acero.

Entre mayor sea la sección transversal de la palanquilla obtenida por colada continua, mayor será la longitud de las dendritas y por lo tanto la cantidad de microsegregación producida.

Segregación Central.- Las palanquillas obtenidas por el proceso de colada continua solidifican en forma similar a como lo hacen los lingotes. En el enfriamiento los cristales columnares rechazan a los átomos de los elementos de aleación o impurezas del líquido remanente, originándose de éste modo una concentración localizada. Cuando el metal líquido no logra alimentar las últimas porciones centrales de la palanquilla se forman cavidades de contracción (rechupes). Cuando se laminan las palanquillas, estas cavidades sellan perfectamente. Sin embargo, el producto laminado puede todavía mostrar, a lo largo de la misma, una zona claramente visible con alto contenido de los elementos aleantes carbono y manganeso. Estos altos contenidos, retenidos de las condiciones iniciales de colada, pueden originar diferentes estructuras metalúrgicas y asociadas a ellas, diferentes propiedades mecánicas en el centro de la barra, especialmente si se somete a tratamientos térmicos severos (temple, revenido, etc.).

En el proceso de colada continua se logra una considerable disminución de la segregación y ésta no afecta en los procesos posteriores de laminado o forjado.

Inclusiones

Se ha demostrado con el auxilio de trazadores radioactivos que las corrientes de convección, en el acero de la palanquilla que permanece líquido durante algún tiempo, son opuestas entre si y pueden provocar que queden atrapadas inclusiones en la masa del acero. (Fig. No. 23)

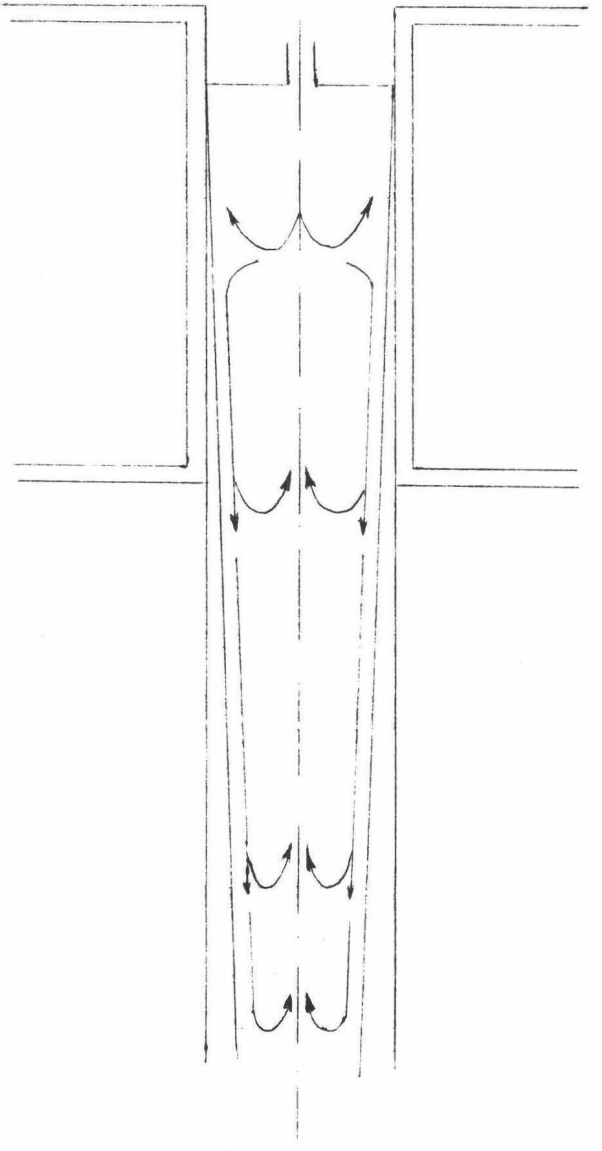


Fig. No. 23 Esquema del cono de solidificación y de las corrientes de convección en una palanquilla de 125x125 mm.

La obtención de un acero libre de inclusiones de óxidos requiere de un esmerado proceso de fabricación combinado con la adición de desoxidantes tales como silicio, manganeso, aluminio y calcio, para obtener un contenido de oxígeno del orden de 40 ppm en el acero líquido.

Aún cuando se realice un proceso de fabricación cuidadoso, se encontrará que los principales problemas estarán en la colada entre la olla y el distribuidor y entre el distribuidor y el molde. Esto es, en estas partes debe haber protección contra la reoxidación del acero, así como algún dispositivo para asegurar la correcta separación de las inclusiones que se forman en la superficie del acero.

Se han hecho estudios utilizando cerio radioactivo para identificar al aluminio añadido al acero, encontrándose que la cantidad y naturaleza de las inclusiones es la misma tanto en el acero de las palanquillas obtenidas por colada continua, como en el acero de los lingotes obtenidos por colada convencional.

Se ha comprobado que se forman inclusiones a base de aluminio en las paredes de las boquillas del distribuidor, las cuales actuan como colectores de las inclusiones originadas por la reoxidación del acero.

Análisis químicos y cristalográficos muestran que estos depósitos están constituídos de aluminato de magnesio o espinela ($Al_2O_3.MgO$) o aluminato de calcio ($2Al_2O_3.CaO$ y $6Al_2O_3.CaO$). En algunos casos se pueden encontrar pequeñas cantidades de alúmina pura.

Como se sabe estos depósitos pueden obstruir la boquilla del distribuidor e impedir el flujo de acero al molde.

También existe el riesgo de que estos depósitos se fundan y fluyan con el acero hacia el molde. Estas inclusiones siempre se localizan en los espacios interdendríticos.

El aluminio usado en cantidades excesivas como desoxidante, aumenta el riesgo de que se produzcan inclusiones debido a su alta afinidad por el oxígeno. Usado en cantidades adecuadas presenta ciertas ventajas como son el disminuir la cantidad de inclusiones y el producir aceros de grano fino en condiciones económicas.

Algunos metalurgistas consideran que es posible evitar la reoxidación del acero manteniendo el contenido de aluminio en el acero líquido entre 0.025 y 0.030%.

CAPITULO V

Ruptura de las palanquillas, causas, problemas que origina y medidas preventivas

Generalidades

Cuando por alguna causa, el espesor de la capa solidificada de la palanquilla no tiene la dimensión requerida para soportar los esfuerzos que se originan cuando sale del molde y la presión ferrostática del acero líquido, sobreviene la ruptura de la misma, provocando con ello una serie de problemas como son: salpicadura del bastidor de rodillos, el cual se debe limpiar, para lo cual se debe cerrar la boquilla del distribuidor correspondiente a la línea donde se produjo la ruptura, alargándose con ello el tiempo de colada.

Principales causas de rupturas de las palanquillas

Velocidad de extracción superior a la adecuada.

Como es fácil suponer, si se extrae la palanquilla del molde más rápido de lo adecuado para un tipo de acero dado, no alcanza a solidificar una capa lo suficientemente gruesa como para soportar la presión ferrostática del acero líquido, ni las tensiones que se originan por el doblaje provocado por la curvatura del molde y el bastidor de rodillos, produciéndose entonces la ruptura.

Para evitar este problema debe controlarse estrictamenie la velocidad de los rodillos en la unidad extractora-enderezadora (tabla No. 3).

TABLA No. 3 VELOCIDADES DE EXTRACCION PARA DIFERENTES TIPOS DE ACERO A PRODUCIR EN SICARTSA		
ACEROS (A.I.S.I.)	SECCION (mm^2)	VELOCIDAD $\frac{m}{min}$
1010 - 1019	125	2.3
1020 - 1049	125	2.3
1050 - 1095	125	2.0
Baja aleación	125	2.0

Temperatura del acero excesivamente alta

En algunas ocasiones, aún trabajando a la velocidad de extracción adecuada, se producen rupturas. Estas pueden deberse entre otras causas a que el acero que cae al molde tiene una temperatura más elevada que la adecuada para colar un acero dado (la temperatura recomendada para colar acero en máquinas de colada continua es de 40° C arriba de la temperatura de fusión del acero). Si el tiempo que permanece la palanquilla en el molde es muy reducido (depende de la velocidad de extracción), no tiene tiempo para solidificar hasta un espesor tal que le permita tener suficiente resistencia, produciéndose la ruptura.

Se puede evitar este problema controlando la temperatura del acero en el distribuidor. La Fig. No. 24 da las temperaturas en la olla y en el distribuidor. La tabla No. 4 contiene datos de las temperaturas recomendadas para los diferentes tipos de acero.

TABLA No. 4 TEMPERATURAS RECOMENDADAS PARA VARIOS ACEROS EN EL DISTRIBUIDOR

	ACERO (D.G.N)	TEMPERATURA ° C
	1010-1019	1570-1550
	1020-1049	1555-1530
	1050-1095	1535-1500
Baja aleación	4140	1493
	5150-5160	1485-1477
	8620-8740	1508-1491

Incrustaciones provenientes del agua de enfriamiento depositadas en las paredes del molde

Si el agua de enfriamiento del molde no ha sido tratada en forma adecuada, se producen depósitos principalmente de carbonatos en las paredes externas del molde, depósitos que por tener una conductividad térmica muy baja, no permiten que la transferencia de calor a través del molde sea e-

fectiva. De esta forma solidifica una capa de poco espesor y poco resistente, provocándose a la salida del molde generalmente, la ruptura de la palanquilla.

LLevando un control estricto del tratamiento del agua de enfriamiento de los moldes, se puede evitar este problema.

Impurezas o inclusiones en el acero

Cuando las impurezas o inclusiones quedan atrapadas en la capa recién solidificada de la palanquilla se situan cerca de la superficie, en especial en los vértices; no permiten por ser malas conductoras del calor, que el enfriamiento sea efectivo, saliendo la palanquilla del molde con una capa solidificada muy delgada, produciéndose la ruptura.

Para evitar que se presente este problema es conveniente tomar medidas preventivas tales como:

- Sólo utilizar distribuidores cuyo refractario esté en perfectas condiciones, ya que los fragmentos que pudieran desprenderse actuarían en la forma descrita anteriormente.
- Alimentar la cantidad de aluminio necesario para la desoxidación, en las cantidades requeridas.
- Vigilar la superficie del molde para eliminar oportunamente las escorias que flotan en la superficie del acero para evitar que sean sumergidas por el chorro de acero proveniente del distribuidor, las

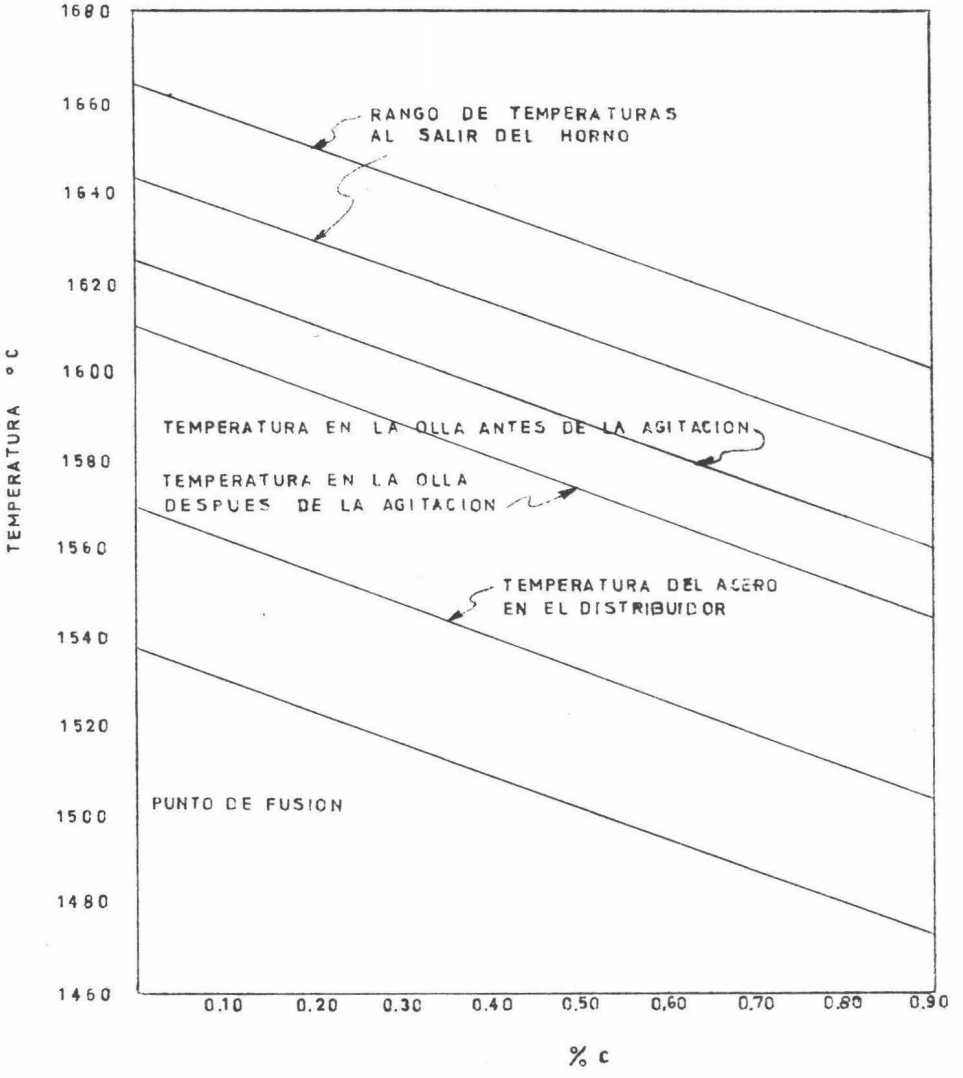


Fig. No. 24 Diferentes temperaturas de aceros al carbono en función del contenido de este elemento

Cuales quedarían atrapadas en la palanquilla y podrían provocar una ruptura.

CAPITULO VI

Conclusiones

La formación de defectos en las palanquillas elaboradas por el proceso de colada continua se deben a muchas y muy variadas causas, siendo las más comunes:

- Velocidad de colada inadecuada
- Enfriamiento excesivo o insuficiente
- Desoxidación incompleta
- Empleo de un exceso de aluminio en la desoxidación del acero

Cuando una palanquilla presente defectos pueden ocurrir tres casos:

I Que la palanquilla sea desechada como chatarra

Esto ocurre generalmente cuando el defecto es de grandes dimensiones (grietas o sopladuras muy profundas o zonas con alta concentración de inclusiones) ya que, en tales condiciones, las cavidades o impurezas no permiten que solden al laminar o forjar.

El hecho de desechar como chatarra estas palanquillas defectuosas implica pérdidas económicas de gran consideración.

II Que la palanquilla tenga que ser reacondicionada parcial o totalment

Si los defectos superficiales que presenten las palanquillas no son de dimensiones considerables (3.2 mm como máximo), se les somete a escarfia do (por sopleteado o esmerilado) con lo cual quedan en condiciones de ser

laminadas o forjadas.

El que este reacondicionamiento sea parcial o total dependerá principalmente de la magnitud de los defectos.

III Que la palanquilla presente defectos internos de poca consideración

En este caso la palanquilla se puede laminar o forjar sin detrimento de la calidad del producto final.

En suma, los factores que intervienen en la obtención de un producto de óptima calidad en las máquinas de colada continua incluyen muchas condiciones. Por ejemplo, la adición de aluminio es necesario para reducir la cantidad de porosidades, pero arriba de cierto límite, favorecen la formación de inclusiones superficiales e internas. Asimismo, una velocidad de colada elevada es conveniente para obtener un producto libre de inclusiones de óxidos, pero por otro lado, resulta una gran desventaja ya que puede originar grietas, segregaciones y rupturas.

Es necesario, por lo tanto, tomar en consideración que para lograr una operación óptima se requiere controlar perfectamente varios parámetros -- (composición química del acero, velocidad de colada, etc.), lo cual no siempre es posible debido a las condiciones de operación industrial.

No obstante, hoy en día se han superado muchas deficiencias. Los equipos de control cada vez más complejos, permiten asegurar que los productos obtenidos por el proceso de colada continua cumplan con los requerimientos de calidad solicitada.

BIBLIOGRAFIA

Becker, L. and Gosselin, P. Continuous Casting: its Metallurgical aspects Relative to High-Grade Alloy and Carbon Steels. Journal of Metals. 23 (5) 16-27 (1971).

Botta, S.A. Continuous casting experience. Iron and Steel Eng. 48 (5) 53-61

Byron F.L. The Future of Continuous Casting. Iron and Steel Engineer Year Book 833-836 (1963)

Concast Ltd. Proceeding of the Continuous casting, Symposium of the 102 A.I.M.E. Annual Meeting New York 217-237, 257-271 , (1973)

De la Vega T. y Fernández A. The Continuous Casting Unit of Ensidesa (Avilés Works). Revue de Métallurgie 175-191 (1973)

Easton, R. Continuous Casting of Steel Billets. Iron and Steel Eng. 41 (83) 121-4 (1964).

Heck, K. and Fastert, H. Metallurgical Considerations in the - Design of Continuous Casting Plants. Iron and Steel Eng. 50 (2) 33-38 (1973).

Horiguchi H. and Fujii H. The Present Situation of Continuous - Casting Operations at Nippon Steel Corporation. Nippon Steel Technical Report Overseas No. 1, 55-69 (1972).

Jackson A. Oxygen Steelmaking for Steelmakers Allard & Son Limited Dorking, London 229-269 (1969)

Lorento D.P. The Continuous Casting of Steel Billets 9-47 (1974).

Maddever, W.J. et aL. An Investigation at Casting Streams . Canadian Metallurgical Quarterly 12 (1) 79-88 (1973)

McBride, D.L. Present Status of Continuous Casting in the Steel Industry. Iron and Steel Eng. 41 (6) 69-75 (1964)

McBride L.D. & Dancy T.E. Continuous Casting. Gordon Breach Science Publishers New York 123-153, 203-208 (1962).

Rossi, I. The Continuous Casting Machine comes of Age. Iron and Steel Eng. 41 (2) 125-130 (1964)

Takayoshi, O. Stainless Steel Quality by the Continuous Casting Process. Iron and Steel Eng. 42 (9) 169-178 (1965).

Tarmann, M.B. Continuous Casting Development. Iron and Steel Eng. 49 (12), 61- 7 (1972).