

10
20j



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE CU EN LAS
BARRAS DE ACERO DE BAJA ALEACION
MANUFACTURADOS POR COLADA CONTINUA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A :

ARNOLDO FERRER ESPADIN



MEXICO, D. F.

REGISTRO CON
FALLA DE ORIGEN

1991



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 está 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

	PAG.
CAPITULO I	
INTRODUCCION	1
CAPITULO II	
GENERALIDADES	5
II.1 Procesos de Aceración	8
II.2 Descripción del proceso de Colada Continua	14
II.2.1 Tecnología Básica de Colada Continua	21
II.2.2 Descripción Técnica del Equipo de Colada Continua	31
II.2.3 Fallas comunes durante el Proceso	42
II.2.4. Defectos de las barras y sus orígenes	61
II.3 Usos y Características del Acero Fabricado en barras de colada continua	67
CAPITULO III	
NATURALEZA DEL PROBLEMA	70
CAPITULO IV	
TECNICAS EXPERIMENTALES	89

	PAG.
CAPITULO V	
RESULTADOS	97
CAPITULO VI	
CONCLUSIONES	111
FOTOGRAFIAS:	
1. Horno de fusión	114
2. Máquina de colada continua	115
3. Cámara de enfriamiento	116
BIBLIOGRAFIA	118

INTRODUCCION

La colada continua ha sido un proceso de producción comprobado durante los últimos 35 años en la industria no ferrosa, pero en los últimos 12 a 15 años a la fecha la colada continua del acero ha sido aceptada como un método importante para obtener productos semiterminados, a partir de unidades de producción de acero de gran tamaño. Actualmente algunas plantas dependen de la colada continua para procesar la totalidad de su producción. Durante este tiempo se ha incrementado la investigación tecnológica [94] para el desarrollo de este tipo de proceso. Estos estudios están basados en investigaciones metalúrgicas concientes y han proporcionado un proceso en el cual se puede confiar la alta producción a bajo costo [46] en los productos obtenidos como planchones, tochos, palanquillas y secciones especiales como desbastes para vigas y perfiles.

Este camino para llegar a la última laminación en caliente elimina el vaciado en lingotes, el desmoldeo, el recalentamiento de los lingotes y los procesos de desbaste, con bajo índice de segregación, entregando un producto con buena calidad superficial y sobre todo, un mejor rendimiento.

Hay, sin embargo, algunas limitaciones para los aceros que se pueden colar por este proceso; por ejemplo, los

aceros efervescentes, con plomo y con alto contenido de azufre son muy difíciles y en algunos casos incluso imposibles de colar.

La exigencia de menores contenidos de azufre y de un control más estrecho de las temperaturas, hace que el proceso de conversión resulte más crítico, de modo que una parte de la economía debido al rendimiento de la colada continua pueda quedar compensada por un mayor costo en la acería.

Por otra parte el arranque de toda planta de colada continua conlleva a una serie de problemas. Estos se van resolviendo, mientras más estudios tecnocientíficos se realicen y la experiencia de los operadores en planta se incremente.

Las herramientas con que cuenta un Ingeniero Químico Metalúrgico en el campo de trabajo es amplia. Muchas de estas técnicas son sencillas de aplicar para resolver problemas de producción y elevar la calidad del producto. Por ejemplo, el uso de análisis químico durante un proceso de producción metalúrgico y en especial en la producción de barras por colada continua, es indispensable para llegar a obtener un producto semiterminado, de gran calidad. En muchos casos las técnicas de análisis químicos ha ayudado a

resolver problemas de producción, que aparentemente no tenían solución inmediata.

Tomando en consideración los puntos anteriores, en el presente trabajo se realiza un estudio metalúrgico; que ayuda a resolver el problema del agrietamiento de barras manufacturadas por colada continua. Este estudio se realizó durante el proceso industrial de colada continua.

CAPITULO II

GENERALIDADES

En este capítulo se trata de dar a conocer en forma concisa como es una planta industrial de colada continua, no está muy ligado al problema de tesis planteado, pero se consideró importante la inclusión de este capítulo, como una referencia verídica y confiable del equipo y forma de trabajo para una acería moderna en 1990, que cuente con una máquina de colada continua esperando que este aporte permita ilustrar un poco las deficiencias que sobre este tema existen en nuestra Biblioteca.

La colada continua es un proceso complejo, que no solo involucra la obtención de un producto semiterminado de acero para la industria metalmeccánica, sino que es el resultado de una serie de pasos previos para la obtención de la materia prima (acero líquido) de este proceso.

Es por ello que resulta indispensable hacer mención del proceso de aceración, antes de ahondar en lo que es el proceso de colada continua. Esto solo refiriéndose expresamente a la ruta con que cuenta la planta productiva.

A su vez, es también de vital importancia mencionar como se comporta el baño líquido, el cual va a ser posteriormente transformado en un producto semiterminado de acero, materia prima de muchos procesos de manufactura en la industria de la transformación metalmeccánica.

Dada la importancia del proceso de colada continua, es necesario tomar en cuenta los conocimientos generados con anterioridad para lograr entender esta ruta en la industria metalurgica.

II.1 PROCESO DE ACERACION

Los procesos de aceración más comunes en nuestros días, son principalmente por tres vías, a saber:

- 1.- Arrabio-Convertidor (BOF)
- 2.- Chatarra-Horno arco eléctrico
- 3.- Reducción Directa-Horno de Arco Eléctrico

Que son las tres vías económicamente más rentables, para la producción de productos semiterminados de aceros al carbón o aleados.

En este caso trataremos de la vía No. 3, que es la utilizada en TAMSA. La ruta hierro esponja - horno eléctrico lo enfocaremos a los puntos más relevantes.

La ruta para manufacturar aceros a partir de materia prima como: hierro esponja, chatarra y fundentes, es por medio de los hornos de arco eléctrico de arco directo. Además, por medio de esta ruta se obtienen aceros de gran homogeneidad química.

El horno que se utiliza en la acería de TAMSA, es de arco directo tipo excéntrico (EBT), que permite un mejor

aprovechamiento del acero líquido, teniendo ventajas como de la generación de una mínima cantidad de escoria en la olla y mayor control de desgasificación [7]. Su método de trabajo es de la siguiente manera:

Se utiliza corriente trifásica a través de los electrodos, la cual varía en un rango máximo de 480 volts y 45000 amperes y mínimo de 170 volts y 25000 amperes. El sistema de electrodos está diseñado para evitar que un arco salte entre ellos. Esto implica que al energizar el sistema, un arco salta por la parte inferior del electrodo hacia la chatarra, el metal conduce la corriente hasta el extremo inferior del otro electrodo. Esto mismo sucede con los tres electrodos al mismo tiempo.

El proceso básico utilizado aquí, permite la dotación de aceros al carbón y aceros aleados de gran calidad ya que la escoria que se forma (básica de cal) reacciona con el azufre y el fósforo formando compuestos como el sulfuro de calcio y fosfato de calcio. Los compuestos formados durante la afinación, son eliminados durante el escoriado [9].

La elaboración del acero se realiza en cuatro etapas fundamentales:

1.- Carga al horno.

La carga del horno es a base de chatarra [9] y hierro esponja (aproximadamente 30%).

2.- Fusión del material.

En la fusión del material cargado la chatarra pasa a ser un factor decisivo durante la fabricación del acero. Principalmente por el control de elementos residuales (Cu, Sn, Pb, As, etc.).

Una vez fundido el material se procede a la afinación para lo cual se vacía el EBT y se pasa al horno olla.

3.- La metalurgia en la olla.

En la estación L.F. (Ladle-Furnace), es la parte más importante en el proceso de fabricación del acero (Refinación).

Para obtener una buena calidad del acero se requiere un estricto control en la selección, manejo y almacenamiento de la chatarra, así como en la determinación del FeO y del contenido de nitrógeno [8].

FeO en la escoria = 13%

Contenido del N₂:

N₂ = 0.0017 - 0.0025% antes del vaciado del EBT

N₂ = 0.0050% después del vaciado del EBT

N₂ = 0.0075% después del vaciado en colada continua

N₂ = 0.0070 - 0.0080% rango normal

El período de preafino consiste en el ajuste preliminar de carbón, manganeso y otros elementos, además de la eliminación de óxidos por medio de reacciones químicas.

La temperatura de sangrado estaría en función de:

- a) Grado de acero en fabricación.
- b) Condiciones de la olla de vaciado (temperatura de precalentamiento de la olla, desgaste del refractario).
- c) Cantidad de ferroaleaciones para suministrarse en la olla.
- d) Tiempo necesario para el sangrado del horno.

Esta temperatura debe oscilar en un rango de 1690°C a 1720°C, una vez que se tiene el ajuste de los elementos químicos en el rango deseado, y se ha bloqueado el baño metálico con ferro-aluminio [9]

Durante todo el proceso se debe mantener una escoria reductora, lo cual se logra por medio de la adición de los reductores, siguientes:

- a) FeSi en polvo (50%)
- b) CaC₂ carburo de calcio de granulometría adecuada
- c) CaSi (calcio-silicio) en polvo [9]
- d) CaF₂ fluorita
- e) Gráfico
- f) Granalla de aluminio, si es necesario.

Estos componentes deben agregarse en pequeñas cantidades. La escoria debe siempre mantener una viscosidad que permita el paso de la ferroaleación al baño.

En esta etapa se controla la cantidad de azufre existente en el acero líquido, aprovechando una mayor basicidad y desoxidación de la escoria, que junto con el burbujeo de gas argón se facilita el proceso de desulfuración. De tal forma que se logran las cantidades mínimas de azufre exigidas por el grado de acero en fabricación.

Una vez que se ha logrado la calidad del acero requerido, se hace una adición de calcio-silicio en un rango de 0.4-0.6 Kg/Ton de acero líquido.

El efecto provocado al adicionar este material es que el Calcio transforma las inclusiones sólidas de alúmina, en inclusiones líquidas de aluminatos de calcio a temperaturas de 1550°C y flotan hacia la escoria [9]. Si no se llevara a cabo esta etapa, la alúmina sólida formada durante la desoxidación, obstruiría las boquillas.

Posteriormente se agrega el polvo de cobertura* sobre la escoria, en una cantidad de 200 a 300 Kg por colada. La adición de este material se efectuará manualmente, procurando una homogénea distribución por toda la superficie, procediendo entonces a la transportación de la olla a la nave de colada continua.

* Polvo de cobertura se le llama a la mezcla de grafito con MgO , SiO_2 , Al_2O_3 y funciona como un aislante para evitar pérdida de calor.

II.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE COLADA CONTINUA

La colada continua nos introduce a una nueva era de desarrollo en la fabricación de acero, a nivel nacional. No sólo en el aspecto del incremento de su aplicación, sino también desde el punto de vista de su evolución en el proceso y su interacción con otros procesos de fabricación de acero.

La colada continua muestra una gran aceleración en su crecimiento. (Fig. 1) Esto es notable en el hecho, de que en el presente, más del 40% de la producción mundial de acero se realiza a través de la colada continua [47].

El propósito fundamental de la colada continua es pasar del proceso convencional de vaciado de lingoteras, a vaciar en forma tal que se obtenga un producto que pueda ser transferido directamente al proceso de acabado, además de que al utilizar este procedimiento, se incrementa el rendimiento y también se mejora tanto la calidad superficial, así como la estructura del producto.

Al utilizar este proceso se eliminan varias de las operaciones del método convencional. Tales como desmoldeo, acondicionamiento de lingotes, laminación primaria y todas las actividades que estas etapas implican (Fig.2)

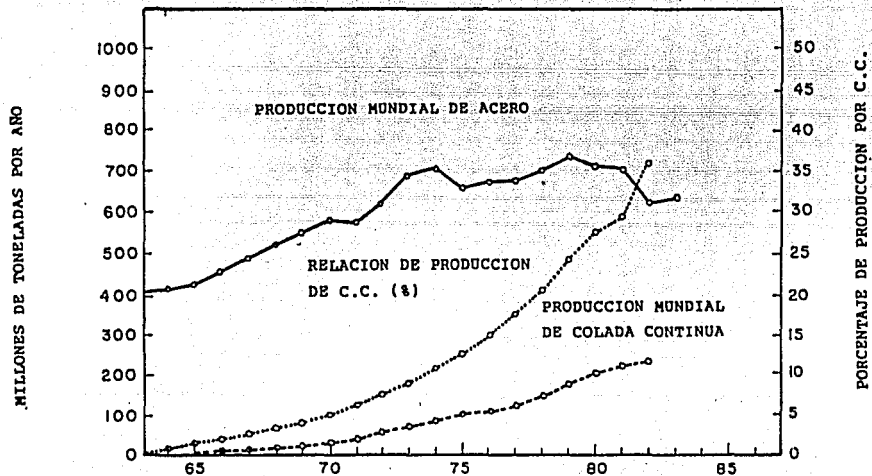
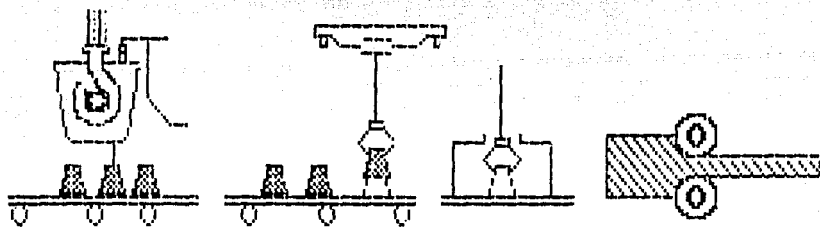


FIGURA No.1.- Producción Mundial de Acero y su relación con la Producción de Colada Continua. (CONCAST UNION A.G. WORLD CASTER SURVEY 1984.1)

COLADA CONVENCIONAL



COLADA CONTINUA

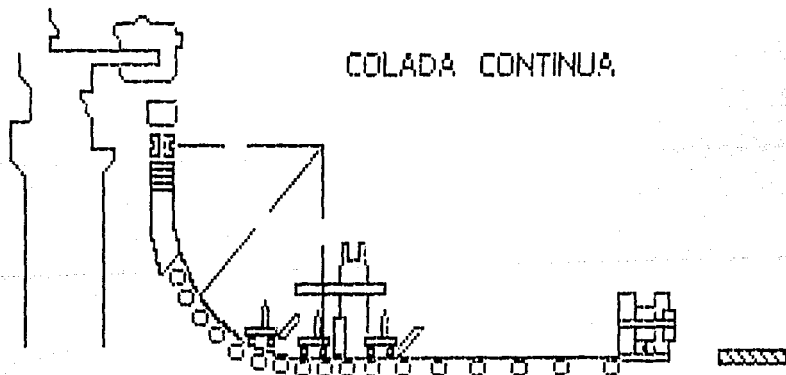


FIG. 2

Durante el desarrollo de la tecnología de colada continua, se han diseñado diferentes tipos de máquinas de colada, con la finalidad principal de reducir la altura de la instalación y por consecuencia los costos de la misma (Fig.3)

Los principales componentes de un proceso de colada continua son: (Fig.4)

Olla

Distribuidor

Molde

Enfriamiento Secundario

Máquinas extractoras

Equipos de corte

Mesa de Salida de Barras (6)

En forma general, la colada continua involucra la siguiente secuencia de operaciones:

- 1.- Entrega del metal líquido a la línea de colada.
- 2.- Paso del metal, a través del distribuidor hacia el molde.
- 3.- Inicio de la solidificación de la barra en el molde enfriado por agua.
- 4.- Extracción de la barra por medio de máquinas extractoras desde el molde, hacia la sección de corte.

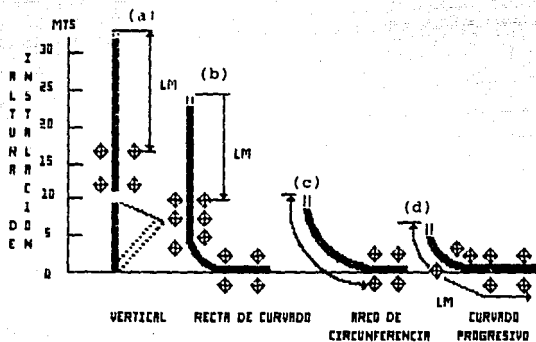


Fig. No. 3

En esta figura se observa la influencia de la tecnología de la Colada Continua y del área involucrada para su instalación industrial. (a), (b), (c) y (d) muestran las diferentes instalaciones.

1. OLLA
2. DISTRIBUIDOR
3. MOLDE
4. ENFRIAMIENTO SECUNDARIO
5. MAQUINAS EXTRACTORAS - ENDEREZADORAS
6. EQUIPO DE CORTE
7. MESA DE SALIDA

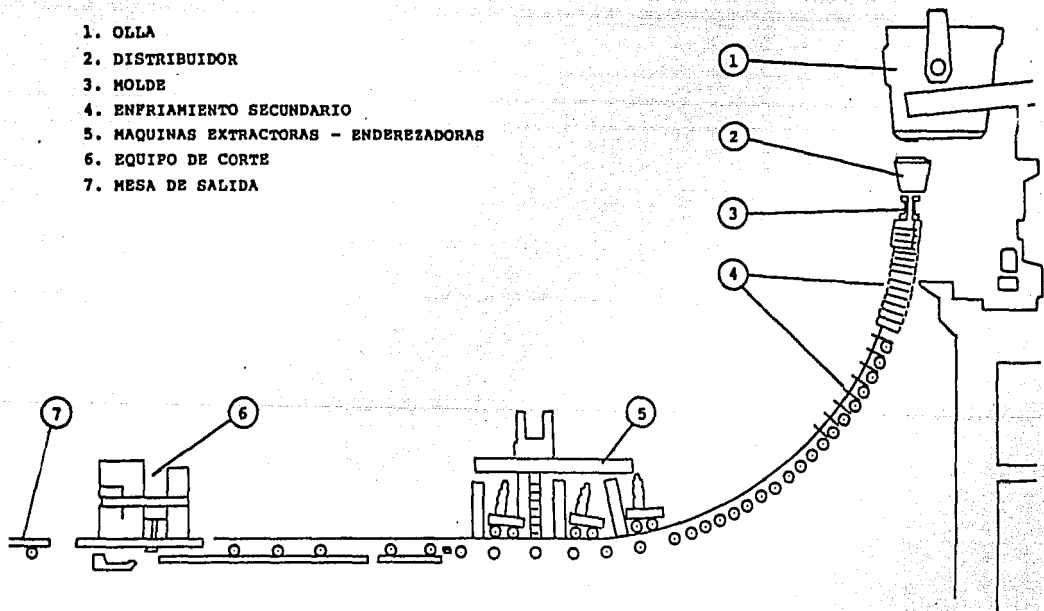


FIGURA No. 4.- Componentes Principales de Colada Continua.

- 5.- Solidificación posterior de la barra mediante spray de agua abajo del molde y por radiación calorífica.
- 6.- Corte de las barras en longitudes adecuadas.
- 7.- Enfriamiento y retiro de las barras de la línea de colada.

La descripción básica del proceso utilizado en TANSO es la siguiente: El acero fundido que se encuentra en la olla, la cual se coloca en una torreta, se vacía a un receptor conocido como distribuidor, que se encuentra en la plataforma de trabajo de colada. Posteriormente el metal fluye del distribuidor hacia el molde, el cual esta enfriado por agua, el flujo del metal en esta etapa se controla por medio de barras tapón (una por cada línea) y también con la placa deslizante para cortar el flujo de acero en casos de emergencia.

La solidificación del metal se inicia inmediatamente en la superficie del molde, esta capa de solidificación se le conoce como piel, la longitud del molde y la velocidad de colada deben ser de tal magnitud que el espesor de la piel a la salida del molde sea capaz de retener el núcleo del metal líquido de la barra colada.

Como la finalidad de prevenir que la piel formada se adhiera a la pared del molde, a éste se le aplica un movimiento oscilatorio durante la operación de colada.

II. 2.1. TECNOLOGIA BASICA DE COLADA CONTINUA.

1) Torreta.

Es una estructura rotativa utilizada para transportar y colocar la olla en la posición de colada o bien en la posición de reserva, la torreta se localiza entre las naves de manejo de olla y la de colada. La torreta consta de dos brazos (uno por olla) diseñados para el posicionamiento vertical de la olla. También están provistos de celdas de carga para el sistema de pesaje de la olla. Se tienen dos grúas para la colocación de las tapas de las ollas.

2) Carro del distribuidor.

Es un carro accionado por medio de un motor, el cual mueve el distribuidor a su posición de colada sobre los moldes. Este se desplaza sobre unos rieles localizados en la plataforma de colada, entre las posiciones de colada y precalentamiento. Para el correcto almacenamiento entre distribuidor-moldes se cuenta con un alineamiento vertical (pistones accionados hidráulicamente) y un alineamiento horizontal (manual). El carro está provisto de celdas de carga para el sistema de pesaje del distribuidor.

3) Distribuidor.

Es un recipiente de forma rectangular revestido de material refractario, la cual se llena con acero y lo distribuye hacia los moldes, a través de sus orificios de salida. El distribuidor se posiciona en el carro del distribuidor para su desplazamiento en la plataforma. Un montaje de distribuidor consta de: Distribuidor, tapas, orificios de salida, barras de tapón, placas deslizantes de emergencia y boquillas sumergibles.

4) Tapas del distribuidor.

Es una placa de acero fabricada en tres secciones revestidas de material refractario. Su función es cubrir el distribuidor para minimizar las pérdidas de calor durante el colado.

5) Barras tapón.

Es una barra monolítica de refractario la cual regula el flujo de acero líquido del distribuidor al molde. La barra tapón se coloca dentro del distribuidor sobre los orificios de salida, para la regulación automática de nivel de acero en el molde. La barra tapón es accionada por medio de un cilindro hidráulico conectado a un sistema de control de nivel de acero en el molde. Un montaje de barra tapón consta

de: barra refractaria, sistema guía de la barra y palanca de operación.

6) Placas deslizantes de emergencia.

Estas placas son operadas hidráulicamente y están colocadas a la salida de cada uno de los orificios de colada del distribuidor, para cortar el flujo de acero en caso de que se presenten problemas con la barra tapón.

7) Boquilla sumergible.

Es un tubo cerámico colocado entre los orificios de salida del distribuidor y sus respectivos moldes, con el fin de prevenir la reoxidación del acero al pasar del distribuidor al molde.

8) Montaje del Molde.

El montaje, consiste en un molde de cobre cubierto por una camisa guía de agua. El agua entra al montaje a través de un conducto de entrada, circula entre el molde de cobre y la camisa de cobre, y sale a través del conducto de salida.

El propósito de circular agua dentro del montaje del molde es remover el calor que está siendo transferido desde el material fundido a través del tubo de cobre, y de esta manera promover la formación de la piel de la barra colada en este

La finalidad del molde de cobre es formar la sección de la barra colada y enfriar la piel que rodea el núcleo líquido de la misma. Los moldes de cobre son fabricados de cobre con alta conductividad térmica. Las paredes del molde están diseñadas para mejorar la extracción de calor. Los moldes son de tipo curvo con una conicidad de 2° [6] interna para mantener el contacto entre la barra colada y las paredes del molde.

9) Control de nivel del molde.

Es un dispositivo localizado dentro del montaje del molde, el cual suministra una señal eléctrica continua en base al nivel del acero, con el fin de mantener un nivel constante en el molde mediante un control directo de la barra tapón del distribuidor (Fig. 5)

10) Oscilador del molde.

Es un mecanismo con el cual se produce un movimiento del molde hacia arriba y hacia abajo, siguiendo el arco del radio de colada. Esto se hace con el fin de evitar, se adhiera la barra colada a las paredes del molde. Tanto la amplitud de oscilación como la frecuencia son ajustables (Fig.6) (12.0 mm).

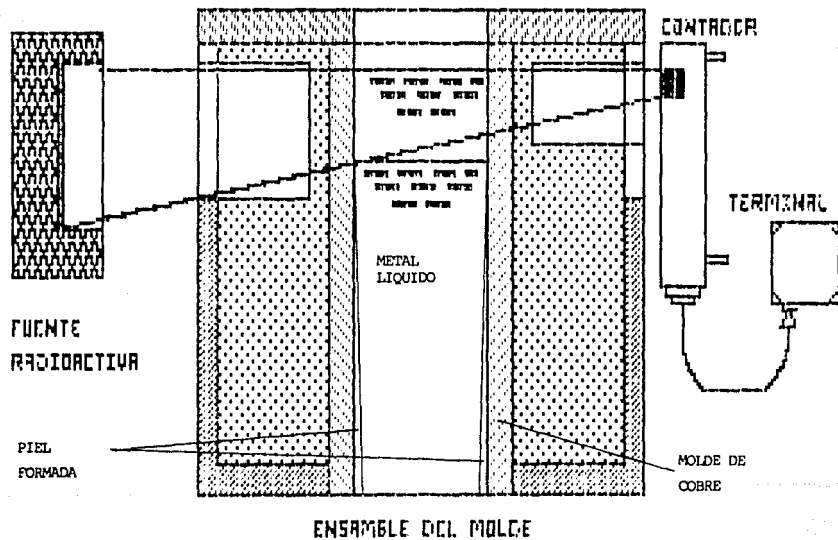


FIG. No. 5

11) Rodillos de pie.

Son segmentos de rodillo que sostienen y guían la barra colada cuando sale del molde. Consta de cuatro niveles de rodillos ensamblados y asegurados a la estructura de los rodillos de pie. Estos están enfriados por agua y contienen boquillas para rociar agua en toda la superficie de la barra colada. El segmento de rodillo de pie, oscila junto con el molde.

12) Estructura guía de la barra.

Consta de tres segmentos (I, II, III) de rodillos, que guían y sostienen la barra colada desde la salida del molde, hasta las máquinas extractoras -enderezadoras. Todos los segmentos son enfriados por agua y los segmentos I y II contienen boquillas para spray de agua.

13) Cámara de enfriamiento.

La cámara de enfriamiento cubre la sección de la máquina de colada desde la parte inferior del molde hasta la entrada a las máquinas extractoras-enderezadoras. Esta consta de extractores de vapor para retirar el vapor generado al enfriar con agua la barra.

14) Máquinas extractoras -enderezadoras.

Consiste en tres montajes secuenciales de rodillos

OSCILACION DEL MOLDE DE COBRE CON CARRERA DE 12 mm.

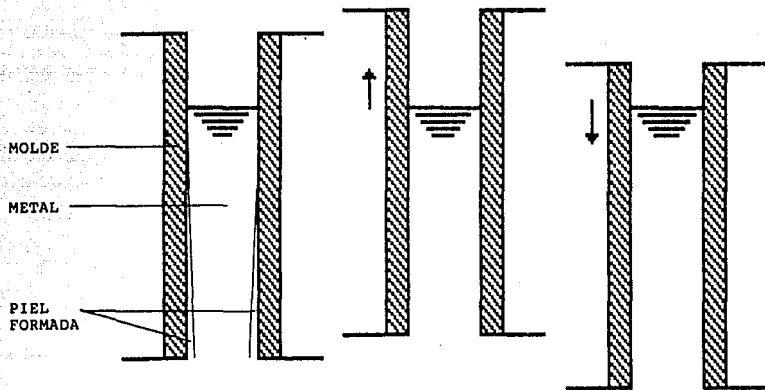


FIG. No. 6

superiores e inferiores por cada línea de colada y ejecutan tres funciones: posicionar y sostener la barra colada del molde y enderezar la barra colada. El rodillo superior es accionado por medio de un mecanismo mótriz-directo y entra en contacto con la barra colada mediante presión hidráulica. El rodillo inferior es libre, todas las máquinas están enfriadas con agua y son intercambiables.

15) Barra falsa.

La barra falsa es un mecanismo en forma de cadena, cuya utilización es cerrar la salida del molde al inicio de colada, además sirve para extraer la barra colada desde el molde. Un montaje total de la barra falsa consiste de: Eslabones de extremos cuadrados, eslabones de transmisión y cabeza de la barra falsa.

16) Máquina de corte.

Es una máquina equipada con un soplete de corte enfriado por agua, se utiliza para cortar la barra colada en longitudes que van de 1m hasta 13m. Cada línea de colada esta provista de una máquina de corte independiente.

17) Máquina estampadora.

Es una máquina que opera neumáticamente con un mecanismo tipo revolver, cuyo cabezal estampa caracteres alfa numéricos

inconfundibles en cada barra colada, con la finalidad de identificar cada una de ellas. Cada línea de la máquina de colada esta provista con una máquina estampadora.

18) Cuartos de control.

En ellos, se encuentran los tableros de control para manejar el equipo y operaciones del proceso de colada continua. Se proveen dos cuartos de control: Cuarto principal de control y, cuarto de corte y salida.

19) Sistema de enfriamiento del molde. (Primario)

Es un circuito cerrado de agua, suavizada y desmineralizada que proporciona el enfriamiento al molde de cada línea en el transcurso de la colada.

20) Sistema de enfriamiento por spray de agua. (Secundario)

Es un sistema abierto con el cual el spray de agua suavizada y desmineralizada tiene contacto directo con la barra colada, para realizar su enfriamiento y completar su solidificación.

21) Sistema de enfriamiento de la máquina de colada continua.

Es un circuito abierto de agua (suavizada), que proporciona el enfriamiento a todo el equipo de la máquina de colada continua que se encuentra expuesto al calor para garantizar su duración por largo tiempo.

22) Velocidad de colada.

Es la velocidad con la cual se extrae la barra colada por las máquinas extractoras. Esta velocidad depende básicamente de: diámetro a colar, tipo de acero, temperatura del acero y condiciones generales de trabajo.

23) Rompimiento de línea. (Break-out)

Es una condición límite de colada que se manifiesta por una ruptura de la piel a la salida del molde y se caracteriza por una pérdida repentina del nivel de acero en el molde y por flamas abajo y a los lados del molde.

Las causas que lo originan pueden ser: mal sellado de la cabeza de la barra falsa, humedad dentro del molde, excesiva velocidad de colada, temperatura muy alta de colada, mal enfriamiento de la línea, descentrado excesivo entre boquilla-molde, mal enfriamiento entre rodillos guía de piel y/o rodillos de apoyo-molde, demasiadas fluctuaciones del nivel de acero en el molde, etc.

24) Sobreflujo. (Overflow)

Es otra condición límite de colada y se presenta generalmente al inicio de la misma, debido a un incorrecto llenado del molde, o bien por una falla en el mecanismo de cierre de la boquilla de vaciado. También puede presentarse durante el transcurso de la colada por un incorrecto funcionamiento del

mecanismo de la barra tapón aunado a una reacción tardía del operador de colada.

11.2.2. DESCRIPCION TECNICA DEL EQUIPO DE COLADA CONTINUA

DESCRIPCION TECNICA GENERAL

TIPO DE MAQUINA	ARCO DE CIRCUNFERENCIA CON MOLDE CURVO
Radio de colada	18 mts.
No. de líneas de producción	cinco (5) líneas
Distancia entre líneas	1.82 mts.
Capacidad de producción	482,000 Toneladas métricas de acero líquido anuales.
Tipo de producto	Barra redondas de diámetros 215mm, 270mm, 310mm, 400mm.
Longitudes de producto	de 7.75mts hasta 15mts.
Velocidad Standar de colada	1.5 m/min ϕ 215 1.02 m/min ϕ 270 0.77 m/min ϕ 310
Tiempo de colada Standar	80 min.
Capacidad de la olla	150 Ton de acero líquido
Capacidad de distribuidor	27 Toneladas de acero líquido

La sección de colada continua de toda acería moderna se divide en cuatro naves:

- 1.- Nave de Manejo de ollas
- 2.- Nave de Colada
- 3.- Nave de Salida
- 4.- Nave de Almacenamiento y embarque.

TORRETA**CAPACIDAD**

DOS OLLAS LLENAS DE
295 TONELADAS CADA UNA.

Distancia entre ollas

10.97 mts.

Angulo de rotación

360° hacia y contra el
movimiento de las manecillas
del reloj.

Velocidad de rotación

1 rpm

Rotación de emergencia

Tipo neumático, 1/2 rpm

Sistema de levantamiento

Hidráulico

Máxima altura de levantamiento

91.76 cm

Motor para rotación normal

C. D. 30 HP, 650 rpm, 230 V.

Motor para rotación de

emergencia

Motor de aire, tipo
Ingersoll Rand HH5M, 650 rpm
11 HP y presión de aire de
4.22 Kg/cm²

Sistema de Pesaje

4 celdas de carga (ASEA)

Grúa bandera

Capacidad 5 toneladas (para
la movimentación de la tapa
de la olla)

CARRO DISTRIBUIDOR

Velocidad de desplazamiento

16.76 m/min

Motor de desplazamiento

C. A. 10 HP, 900 rpm

460 V (2 por carro)

Altura de levantamiento

0.214 m/min

Motor de levantamiento

C. A. 40 HP, 900 rpm

(2 por carro)

Centrado transversal del distribuidor	17.8 cm mecanismo de operación manual (2 por carro)
Sistema de pesaje	4 celdas de carga (ASEA)

DISTRIBUIDOR

Longitud del distribuidor	7.59 mts.
Ancho del distribuidor	2.08 mts (entre orejas de levantamiento)
Altura sin tapa	1.22 mts.
Capacidad	aproximadamente 27 Ton. de acero líquido
Peso de ensamble de distribuidor más peso del acero líquido	aproximadamente 60 Ton.

EQUIPO DE PRECALENTAMIENTO DEL DISTRIBUIDOR

Número de quemadores por estación	(4) cuatro
Quemadores	166 MVTA. 8×10^6 BTU/hr
Ventilador de aire	C. A. 10 HP, 3600 rpm, 460 v

MONTAJE DEL MOLDE.

TAMAÑO DEL PRODUCTO	215mm, 275mm, 310mm, y 400mm (ϕ de las redondas)
Tipo de molde	molde curvo
Longitud del molde	700 mm

Material del molde	Cobre rodado en frío, libra de oxígeno
Espesor de la pared del molde	14 mm
Número de niveles de rodillos de plomo	4 (cuatro)
Espacio de agua entre tubos	6.35 mm.
Interior del molde	depósito de cromo de un espesor de 0.0762 mm

El montaje del molde tiene ensamblado un dispositivo de control automático de nivel de acero en el molde y consiste de:

- 1 Fuente de radiación Cobalto 60.
- 1 Placa de Plomo
- 1 Contador tipo centellador con 6 mts de cable de silicón de conexión
- 1 Medidor de nivel de metal con contactos máx/mín y un cronómetro para su instalación del cuarto de control.

Oscilador del Molde.

Carrera total	12 mm
Frecuencia de oscilación	90-120 oscilaciones por minuto
Motor	C. D., 25 HP, 1150 rpm, 240 v

Rodillos de Pie y ensambles guía de la barra colada.

Estructura-Rodillos de Pie	Redondos	Redondos
	215 mm	270/310mm
No. de Juegos de Rodillos	4	4
No. de Rodillos por Juego	4	4
Diámetro del rodillo	165 mm	165 mm
Cara del Rodillo	178-127mm	178 mm
Ø anillo spray	559 mm	559, 648 mm

ESTRUCTURA GUIA I

Ensamble de los rodillos	5	5
No. de rodillos por ensamble	4	4
Diámetros del rodillo	165 mm	165 mm
Cara del rodillo	178-127mm	178 mm
Ø anillo spray	488 mm	584-660 mm
No. ensamble de rodillos inferiores	1	1
Ø de rodillo inferior	165 mm	165 mm
Longitud del rodillo inferior	178 mm	178 mm

ESTRUCTURA GUIA II

	Redondos 215,270 y 310 mm	
No. de rodillos inferiores	9	
No. de rodillos superiores	3	
No. de ensambles de rodillos guía laterales	2	
Ø de rodillo inferior y superior	165 mm	
Long. de cara de rodillo superior e inferior	845 mm	

• rodillo guía lateral	165 mm
Long. del rodillo guía lateral	127 mm

ESTRUCTURA GUIA III

No. de rodillos inferiores	0
No. de rodillos superiores	3
No. de ensamblajes de rodillos guía laterales	2
• de rodillo inferior y superior	165 mm
Long. de cara de rodillo superior e inferior	365-6 mm
Long. del rodillo guía lateral	127 mm

BOQUILLAS PARA SPRAY DE AGUA

ESTRUCTURA	NO. BOQUILLAS	NO. BOQUILLAS TOTALES
Rodillos de pie	H 1/4 VV 6508	20
Segmento I	3/8" BDS	44
Segmento II	3/8" BDS	36
Segmento III	-----	-----

MAQUINAS EXTRACTORAS-ENDEREZADORAS

(DESCRIPCION POR CADA MAQUINA)

No. de rodillos de presión	3
No. de rodillos intermedios	2
φ de los rodillos	437.2 mm
Longitud del rodillo	406.4 mm
Presión hidráulica máxima de operación	211.11 Kg/cm ²
Fuerza del cilindro a su máxima presión operativa	29.4 Ton
Motor	C. D. 7.5 HP, 1150 rpm TENV, 240 V.

Ensamble de la barra falsa.

Longitud total del ensamble de la barra falsa	29.9 mts.
Peso total del ensamble de la barra falsa	(215mm)- 8,390Kg (270mm)-11,123Kg (310mm)-11,804Kg

Dispositivo de desconexión.

El cilindro de desconexión tiene las siguientes características:

Diámetro	76.2 mm
Carrera	215.0 mm
Longitud del vástago	50.8 mm

Mesa de aproximación al área de corte.

La mesa de aproximación consiste en 8 rodillos, de los cuales seis se mueven mediante 6 motores individuales de C.A. y dos son libres (por cada línea de colada)

No. de rodillos	No. 25, No. 26 y del No. 1 al No. 6
Distancia entre rodillos	1.82 m
Ø del rodillo	330.2 mm
Longitud del rodillo	330.2 mm
Motor del rodillo	1.5 HP, 1200 rpm, 460 v, 3PH, 60 HZ.

Rodillo de apoyo.

El rodillo de apoyo asiste en la conducción de la parte final de la barra colada.

Diámetro del rodillo	250.83 mm
Longitud del rodillo	234.95 mm
Cilindro hidráulico	76.2 mm de Ø por 50.8 mm del vástago x 203.2 mm de carrera

Presión máxima de
operación

211.11 Kg/cm²

rodillo superior libre

rodillo inferior matriz

Motor rodillo inferior

1.5 HP, 1200 rpm, 460 v, 3PH,
60HZ.

Mesa de salida.

La mesa de salida se divide en seis rodillos, la sección 4 consta de cuatro rodillos, la sección 5 cuenta con cinco rodillos y la sección 6 cuenta con diez rodillos.

Cada rodillo movido por un motor de C.A. 1.5 HP y velocidad de 22 rpm.

Sección # 1 - Rodillos 7-12

Sección # 2 - Rodillos 13-18

Sección # 3 - Rodillos 19-24

Sección # 4 - Rodillos 27-30

Sección # 5 - Rodillos 31-35

Sección # 6 - Rodillos 36-45

Equipo de Corte.

Las máquinas de corte, contienen brazos que sujetan la barra colada y proveen un movimiento sincronizado entre la barra y la máquina de corte. Su longitud de desplazamiento es de 1.52m, también montados en la máquina están los sopletes que se mueven en un movimiento de arco para cortar la barra.

Equipo de remoción de despuntes.

Este equipo esta localizado abajo de la máquina de corte, consta de dos cajas para despuntes, una de ellas asignada a las líneas #1 y #2, y la otra para las líneas #3, #4, #5.

No. de cajas para despuntes	2
No. de carros	1
Velocidad	9.45 m/min
Motor	C.A. 5HP con freno integrado.

Zona de transferencia.

La zona de transferencia tiene un mecanismo de cadena para transferir las barras a la cama de enfriamiento. El mecanismo del movimiento de la cadena de transferencia se acciona por medio de un motor de C.A. 25 HP con freno integrado, un ciclo completo de movimiento de la cadena de transferencia representa 6.604m.

Cama de enfriamiento.

La cama de enfriamiento permite el enfriamiento de las barras, cuando éstas son transportadas por un mecanismo tipo cadena dentada de movimiento alternado arriba-abajo, avance-reversa, que permite a la barra girar a la vez que va avanzando. El movimiento del mecanismo se hace por medio de bobinas tipo solenoide e interruptores límite que indican la posición de la cadena.

4.- Nave de almacenamiento y embarque.

La cama de enfriamiento comunica a la nave de salida, con la nave adyacente que es la de almacenamiento y embarque. El producto apilado en la cama de almacenamiento es retirado de ahí para su embarque.

11.2.3. FALLAS COMUNES DURANTE EL PROCESO DE COLADA CONTINUA.

En la estación L.F. (Ladle-Furnace), se lleva a cabo la afinación y es la parte más importante en el proceso de fabricación del acero, ya que en esta estación es donde se obtiene la buena o mala calidad del mismo. En esta etapa la chatarra pasa a ser un factor decisivo durante la fabricación de acero, principalmente por el control de elementos residuales (Cu, Sn, Pb, As, etc.).

Se ha comprobado que uno de los problemas en la colada continua es la existencia de una fuerte reoxidación, el 40% del contenido total de oxígeno absorbido a lo largo del proceso, correspondía a absorción por reoxidación en la colada continua [87].

Existe una absorción de oxígeno por el baño metálico durante el vaciado del horno a la olla, debido al vaciado en la escoria.

Este fue el primer punto a atacar y para ello se diseñó un tapón de un peso específico situado entre el peso específico del acero líquido y el de la escoria, de tal manera que cuando se termina de vaciar el acero y el tapón obstruye el paso de la escoria.

A 1600°C la solubilidad del oxígeno en el baño metálico, $[\text{O}_2]$ es igual a 0.23% por lo cual siempre habrá una cantidad de oxígeno disuelto [14].

Para poder extraer dicho oxígeno se adiciona Al al baño líquido y se formará Al_2O_3 , de la cual una parte se incorporará a la escoria y otra cantidad permanecerá en el baño en forma de inclusiones no metálicas.

Si consideramos que la escoria del horno contiene un 14% de Oxígeno y el baño metálico un 0%; la escoria transfiere oxígeno al baño y esto obliga a agregar Al y se formará Al_2O_3 .

A mayor contenido de oxígeno en la escoria, mayor será la cantidad de aluminio que se tiene que agregar y mayor será la formación del Al_2O_3 .

Para tratar de eliminar las partículas de Al_2O_3 del baño líquido se efectuó la inyección de Argón lo cual hace que dichas partículas suban a la superficie; sin embargo esta práctica es eficaz hasta cierto punto ya que mientras que las partículas grandes flotan y suben a la superficie, las partículas pequeñas quedan atrapadas en el interior.

Durante el vaciado de la olla al distribuidor de la máquina de colada continua, sin protección del chorro, éste causa un efecto similar a una bomba y absorbe oxígeno el cual es introducido al distribuidor. Esta reoxidación formará más Al_2O_3 de la cual una parte se incorpora a la escoria, otra parte se adhiere en la pared interior de la buza sumergida y otra más pasa al interior de la barra donde queda atrapada (fig.10)

Las partículas de Al_2O_3 que vienen suspendidas en el acero líquido son atraídas por la pared de la buza sumergida debido a la gran velocidad tangencial. Estas partículas se van ADHERIENDO y acumulando de tal manera que reducen el diámetro interior de la buza e impiden el libre paso del acero líquido; esto hace que varíe la posición del tapón y DICHA VARIACION queda registrada en un graficador de la máquina.

En un momento determinado estas concentraciones de Al_2O_3 se desprenden del interior de la buza y se introducen en el molde de tal manera que quedarán atrapados en el interior de la barra disminuyendo su calidad de la barra.

* Buza. Tubo cerámico que conecta al distribuidor con el molde evitando la oxidación del metal.

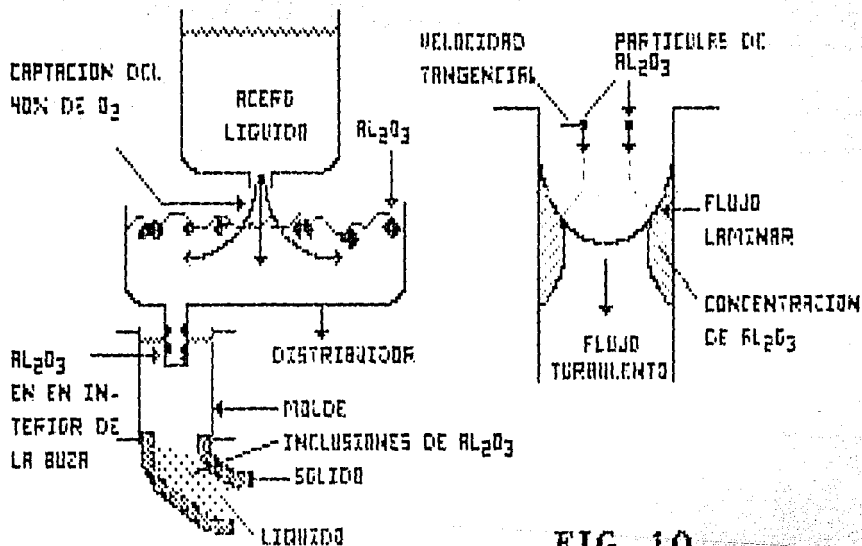


FIG. 10

Comportamiento de las partículas de Al_2O_3 en el distribuidor, boza sumergida en el molde y su posible consecuencia en la barra.

Debido a este problema se desarrollaron dos métodos de protección del chorro en la colada continua.

- 1) Protección con cámara de gas argón.
- 2) Protección con tubo refractario.

El argón se inyecta a la cámara con una presión de 300 mm de columna de agua y la captación de oxígeno es prácticamente cero.

Con estos dos métodos se eliminaron las incrustaciones de Al_2O_3 en la buza sumergida y también contribuyó a aumentar el número de coladas secuenciales de 3 pasó a 6, igualmente se observó que las fallas en la tubería se disminuyeron en un 70%.

La desulfuración se lleva a cabo en ollas con revestimiento básico y se efectúa con la inoculación de carbonato de sodio.

El tratamiento con calcio se efectúa en la estación de refinación secundaria donde inoculan calcio-silicio junto con la inyección de argón y otros gases [8].

El tratamiento con calcio tiene como finalidad el de disminuir el punto de fusión de la alumina Al_2O_3 en $100^\circ C$ mediante la formación de aluminatos de calcio, [2] cuyo punto de fusión es más bajo que el punto de solidificación del acero.

De esta manera las inclusiones de aluminato de calcio se encontrarán en el acero en forma globular y muy finas, uniformemente distribuidas [9].

Por lo tanto, no se encontrarán inclusiones macroscópicas y se elimina el problema de obstrucción de la buza sumergida, así mismo se controlará de una mejor manera la posición del tapón, la velocidad de colada y el nivel del acero en el molde.

Otro problema que surge a lo largo del proceso de colada continua es el cambio de moldes en la máquina de colada. Esto influye de cierta manera en la calidad superficial de la barra. Solamente se efectúa el cambio de moldes en los siguientes casos:

- Perforación de las barras en alguna línea.
- Diferentes diámetros de barras en una misma colada.
- Cuando el molde presenta rasgaduras, grietas o fuera de dimensión después de que se hace la inspección del mismo.

Los moldes que se descartan ya sea por defectos o fuera de dimensión, no se recuperan de ninguna manera, éstos se envían a chatarra.

El control del nivel del acero líquido en el molde se hace visual y manualmente al inicio del colado, pero después de un breve tiempo en el cual se ha alcanzado la velocidad de

colada establecida, opera el sistema automático de regulación de nivel, este sistema está controlado por una fuente radioactiva de Cobalto 60 [30].

Cada vez que se cambie un molde debe hacerse la calibración con el patrón respectivo y el nivel normal del acero líquido, debe fijarse al 80% de la calibración del sensor.

La fuente radioactiva deberá colocarse siempre en la misma línea de colada para que al cambio de molde solamente se haga un pequeño ajuste en la calibración.

Para la alineación de los moldes de colada se utiliza una placa patrón con medidas previamente especificadas, esta alineación se efectúa entre el molde y los rodillos de pie.

Si la máquina no está alineada, origina que el punto central de la barra se encuentre desplazado y esto se puede observar en la impresión Bauman.* A su vez el ensayo Bauman permite conocer el espesor de la piel. Este depende de la velocidad de colada, alta velocidad implica menor tiempo del acero en el molde y menor transferencia térmica, si la capa solidificada alcanza un espesor mínimo, esta puede romperse a la salida del molde.

* la impresión Bauman consiste en una exposición en papel fotografico de la muestra, reaccionando con H_2SO_4 , de esta forma se observa la distribución de azufre en la muestra.

Si la velocidad de colada es lenta, en el último tercio del molde, la piel no tiene contacto con la superficie del molde, en la impresión Bauman se puede observar el espesor de la primera piel formada (globulítica).

Otro factor de importancia es la calidad o pureza del agua de enfriamiento del molde. Este se define o se evalúa de acuerdo a su calidad química y física, entiéndase por calidad química a la dureza del agua y por calidad física a la dureza del agua relacionada con las partículas en suspensión.

La calidad química evaluada con la dureza del agua determina el contenido de CaO que a diferentes temperaturas se deposita en el tubo de Cobre.

La capa incrustada de CaO en la superficie del tubo de Cobre no es homogénea debido a la dilatación y contracción del molde, estos movimientos originan que la capa de CaO se desprenda en algunas partes. En las zonas donde no hay capa de CaO cambian las condiciones de enfriamiento y esto puede ser una causa de grietas longitudinales en la superficie de las barras.[14] Por otra parte las incrustaciones de CaO originan una diferencia en la extracción de calor del molde de cobre, y esto a su vez genera tensiones muy grandes en la piel que produce una grieta. En caso extremo, esta grieta puede abrirse por debajo del molde y originará un rompimiento de hilo (Break out) [8].

En la colada continua de palanquilla no se presenta este problema, pero se tiene el problema de encogimiento en las esquinas, la buena calidad del agua de enfriamiento garantiza un buen producto.

Otro aspecto importante es la inmersión de la buza en el molde, ésta debe hacerse de tal manera que ésta quede sumergida a una distancia de 45 mm respecto al nivel de acero líquido.

Si la longitud de inmersión es bastante grande, no permite el ascenso del acero líquido hacia la superficie y se forma una capa o costra de material que en un momento determinado puede desprenderse y generar inclusiones.

La lubricación del molde se efectúa entre el intersticio del acero y la escoria solidificada y no en la pared del molde.

El acero líquido con escoria no fluida ocasiona una película de lubricante muy delgada y debido a la presión ferrostática, la capa solidificada puede pegarse a la pared del molde, la escoria viscosa dificulta la penetración del polvo en el intersticio ya que ésta tiene una tensión superficial muy baja, por lo tanto debe contarse con una escoria fluida de alta tensión superficial para que favorezca la penetración del polvo.

El sellado con la varilla de acero y cordón de papel debe hacerse de tal manera que no exista ningún juego entre la cabeza y la superficie del tubo de Cobre. Un mal sellado de la cabeza puede ocasionar una ruptura de barra a la salida del molde. Una vez iniciada la colada, el polvo del molde se añade hasta que el nivel de acero líquido cubra una parte de la buza, uno de los requisitos del polvo de colada es que la escoria formada por el mismo debe absorber la alúmina sin perder la capacidad de lubricación.

El espesor de la capa de polvo durante la colada debe ser de 20 a 30 mm, de lo contrario una capa excesiva de polvo promueve el arrastre de escoria al interior de la barra y en un caso extremo puede producir la ruptura de la barra a la salida del molde.

Una operación compleja y verdaderamente difícil es el llenado del molde al arranque de la máquina, el tiempo teórico de llenado del molde es de 40s.. Sin embargo este tiempo difiere en la práctica ya que en ocasiones el molde se ha llenado en 19s.. Es recomendable tratar de mantener un tiempo de llenado de 40s., ya que si el tiempo de llenado e inicio del proceso de colado es muy rápido, no da tiempo a que se forme la primera piel y origina una corteza escalonada, constituyendo un punto débil de la misma [55]

Se debe vigilar que el tapón y la tasa de la buza sumergida selle perfectamente. Por ello es que al inicio de la colada, es una práctica común el abrir y cerrar el tapón para que éste alto o bajo nivel de acero líquido en el molde no promueva la formación de glóbulos. El alto nivel forma bordes de acero en la parte superior del molde y en éste caso hay que parar la máquina y eliminarlos con inyección de oxígeno.

Un bajo nivel forma un menisco que, en un momento dado, se desprende de la superficie del molde y el acero líquido penetra por la parte posterior, de tal manera que en el momento que la barra sale del molde puede producirse una perforación.

Cuando se utiliza oxígeno en el molde, debe procurarse no dañar el tubo de cobre, así mismo debe verificarse que no existan fugas de agua. Si se detecta una fuga en algún molde, debe interrumpirse esa línea de colado.

Si al iniciar la colada se alcanza el nivel de 600 mm en el molde, la máquina se pone en marcha ya sea en manual o en automático. A poner en marcha la barra falsa se baja el nivel del acero y este descenso debe compensarse ya sea en manual o automático.

Si no hay un control del sello entre el tapón y la tapa de la buza, origina un vaciado sin control y provoca sobreflujo.

Debido a que el tapón y la buza se fabrican con gráfita, durante el calentamiento el carbono se desprende en capas laminares. Este desconchamiento origina un mal sellado entre el tapón y la tasa de la buza. Sin embargo, al iniciar la colada el material esta caliente y con los golpes de la primera operación se eliminan dichas irregularidades. Un buen sellado entre el tapón y la tasa de la buza elimina problemas en el llenado del molde.

En ocasiones se forman glóbulos en los puntos de las buzas fabricadas de material refractario y originan problemas en el llenado del molde, la fabricación de estos glóbulos obedece a varias causas:

- Pérdidas de temperatura durante el cambio del distribuidor.
- Mal precalentamiento.
- Demasiada variación en el nivel del acero del molde.

Cuando se detecta la formación de estos glóbulos existen varias medidas a adoptar:

- Bajar el nivel del acero líquido en el molde hasta que el glóbulo quede descubierto y luego se desprende con la inyección de oxígeno.

- Si el glóbulo es pequeño se puede incrementar el nivel del acero para que éste se funda y desprenda.

Como se ha señalado en el punto 23 de la terminología básica de colada continua, el rompimiento de línea, es una condición crítica, pero que se hace en ese momento. En ese punto se cierra manualmente el tapón y se incrementa la velocidad de colada hasta su valor máximo. El nivel del acero líquido en el molde empieza a descender y cuando éste llega al 55%, automáticamente la máquina reduce la velocidad de colada hasta cero, y se acciona inicialmente la cuchilla que corta la buza y cierra el vaciado de esa línea.

Una condición extremadamente crítica es la extracción de la barra bloqueada en alguna de las líneas. Para ello se utilizan las unidades de extracción, donde los rodillos extractores disponen en conjunto de una presión de 100 bars y se utilizan únicamente para introducir la barra falsa. Sin embargo para la introducción de la misma, se utilizan 70 bars, y en realidad la unidad esta compuesta por tres rodillos (1, 2, 3).

Los rodillos de extracción 4 y 5 disponen de una presión de 10 y 20 bars respectivamente, pero en caso de que se requiera extraer una barra bloqueada se puede aplicar los 70 bars mencionados.

Las unidades de extracción disponen en conjunto de 160 bars de presión, la cual se puede utilizar para la introducción de la barra falsa.

En caso de que se requiera extraer una barra bloqueada, pueden utilizarse las unidades de extracción 4, 5 y 6, usando los 160 bars de presión.

En caso de que no se logre extraer una barra bloqueada utilizando las unidades de extracción, debe utilizarse equipos de oxicorte y otras herramientas para cortar la barra en tramos y hacer la extracción manual. Este caso es el más grave ya que se requiere de mucho tiempo para efectuar esta operación.

El sistema de agua de enfriamiento del molde cuenta con caudales de agua controlados mediante bombas colocadas antes de los filtros y opera con un caudal de 2,000 L/min.

Los filtros se controlan con presión y cuando se presenta una sobrepresión, el filtro se saca de operación y es reemplazado por el de reserva.

En caso de una disminución del caudal de agua, se pone en marcha una segunda bomba.

Si aún con esto no se alcanzan los caudales con las dos bombas se cierra el circuito y se abre el sistema de agua de emergencia con una señal óptica y acústica, este sistema opera con un valor límite de caudal de agua de 1,000 L/min., con una cantidad de agua de 50 m^3 y, 3.5 bars de presión.

El sistema de agua de emergencia del molde no se encuentra en circuito cerrado y el agua se descarga al depósito del enfriamiento secundario, por eso es que sólo se cuenta con 8 minutos para reestablecer el sistema de enfriamiento primario.

En caso de que se ponga en marcha el sistema de emergencia, el operador de la máquina tiene que terminar de colar en dos minutos, con una disminución de la velocidad de colada para controlar el ΔT del agua. Cuando no funciona el sistema de agua de enfriamiento de un molde se puede cerrar el vaciado de esa línea y se continúa con el colado de las otras líneas.

Si la falla se encuentra después de la salida del agua del molde, el caudal y el ΔT del agua son correctos pero en algún punto detrás del molde hay una falla de la tubería, en este

caso se pierde agua por un circuito cerrado, pero se continua colando y se compensan las pérdidas con agua de enfriamiento secundario.

Si el caudal del agua está bajando y se incrementa el ΔT del agua, quiere decir que la falla está antes de la entrada del molde, en este caso se cierra el colado en esa línea.

Si en un momento dado la falla es dudosa se continúa colando en esa línea, ya que puede haber un valor medido incorrectamente.

Un punto importante del sistema de circuito cerrado es que en caso de que se vacíe el sistema hay que cargar de nuevo la línea y purgarla para hacer salir las bolsas de aire, dicha purga se hace en el molde durante 15 minutos.

En caso de que ocurra una falla eléctrica total, se cierra inmediatamente el colado del distribuidor a los moldes con las cuchillas de cierre que se operan manualmente.

Además del informe de colada y todo el anterior análisis del proceso de colada, se analizan las condiciones de vaciado de la colada mediante una gráfica que se obtiene en la máquina de colada continua y que indica la posición del tapón, la velocidad de vaciado y el control del nivel del molde.

Esta gráfica se puede observar en la fig. 11, y dependiendo de las desviaciones de cada uno de los parámetros son las acciones a tomar para la evaluación de la calidad de la barra.

1.- Si la velocidad de colada se reduce demasiado hay que controlar la superficie exterior para detectar marcas de poro de colada.

2.- Si la posición del tapón se inclina hacia la derecha, es un índice que hay incrustaciones de Al_2O_3 en el interior de la buza, que de un momento a otro se desprenden originando inclusiones y arrastre de escoria al interior de la barra.

En este caso se deben de cortar muestras para ensayo Baumman y análisis de inclusiones con lo cual se pueden detectar estos defectos internos.

Normalmente las incrustaciones de escoria tienen un alto contenido de azufre.

3.- Si la posición del tapón se inclina hacia la izquierda es un indicativo de que el tapón se encuentra erosionado y puede permitir el paso de escoria, en este caso hay que proceder de la misma manera.

4.- Si el nivel del acero líquido en el molde oscila demasiado da origen a defectos superficiales por lo cual hay que controlar la superficie de las barras. En base a este

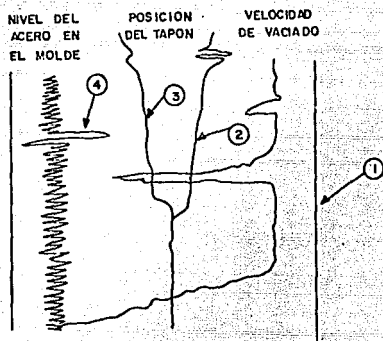


FIG. No. 11

En esta figura se puede observar el comportamiento de nivel de acero, posición del tapón y la velocidad de vaciado.

registro de las condiciones de vaciado el material puede ser liberado o detenido. Si el material queda detenido se procede al control superficial, el análisis de inclusiones y macroataque, y según los resultados que se obtengan se tomará la decisión del destino que deberá tener el material.

Por otra parte cada vez que se cambia de olla y se continua colando con el mismo distribuidor, se corre el riesgo de arrastre de escoria del distribuidor al interior del molde.

Esto se debe a la acción de la presión del chorro de la nueva olla, el riesgo es mayor principalmente en las líneas del centro ya que es aquí donde el chorro ejerce la mayor presión.

En este caso se procede a tomar muestras de la última barra de la colada de las dos líneas intermedias y en caso de que se encuentre escoria atrapada, se continuará el muestreo hacia las líneas laterales. En caso de que también se encuentre escoria en estas otras muestras, se cortará una muestra más de la penúltima barra de la primera colada y otra de la primera barra de la segunda colada, ambas muestras de una de las líneas centrales.

Este procedimiento se efectuará hasta que ya no aparezca escoria en el interior de las barras.

II.2.4 Defectos de las Barras y sus orígenes.

1.- Grieta longitudinal.

Uno de los factores que originan grietas longitudinales es por la falta de lubricación en el molde. Estas pueden producirse aún dentro del molde y pueden ocasionar una ruptura de la barra a la salida del molde.

En ocasiones se pueden presentar grietas muy grandes sin haber causa aparente y sin haber ruptura de la barra.

Las grietas longitudinales también pueden ser originadas por defectos interiores que se abren hacia el exterior.

En ocasiones a una temperatura de 300°C de las barras, las grietas ya afloran a la superficie, sin embargo en algunos casos tardan de 2 a 3 semanas en aparecer debido a las tensiones interiores.

Para disminuir este riesgo, especialmente en aceros con alto contenido de C, Mn, Cr, Mo, V, Nb, el enfriamiento debe hacerse lentamente.

Las grietas grandes no se aceptan mientras que las finas pueden escafearse* y después se evalúan. Si la superficie se presenta lisa después del escafeo, indica que la grieta ha desaparecido; si la superficie aún presenta una ligera hendidura, la grieta todavía existe.

* El escafeo consiste en el esmerilado de la parte afectada.

2.- Defectos Mayores en las barras.

(grieta longitudinal aparatosa)

Este defecto se origina dentro del molde que puede ser por un enfriamiento no homogéneo, mala lubricación del molde y molde fuera de conicidad.

La conicidad no adecuada origina que el contacto sea nulo en toda la pared del molde y esto origina la grieta.

3.- Grietas Transversales.

Se producen en la máquina de extracción y son provocados por un exceso de enfriamiento de las barras, que normalmente se hace por temor a una perforación de la barra.

Estas grietas también se originan cuando un material se ha enfriando constantemente durante un paro de la máquina de colada debido a que no se cerró el enfriamiento secundario.

4.- Rayaduras longitudinales.

Estas rayaduras las ocasionan los rodillos debido a que tienen cascarilla incrustada que no les permite girar, rayando la superficie de la barra.

Ocasionalmente se observa que aparece la ranura y luego sola desaparece, esto indica que la cascarilla incrustada se desprendió sola.

Para evitar este defecto hay que inspeccionar regularmente las barras en la mesa de enfriamiento y en un caso extremo hay que parar la línea correspondiente.

Las rayas ligeras se pueden escafear pero sin dejar aristas vivas, la tolerancia del escafeo depende del tipo de rodillos y tipo de laminador en que se utilizarán las barras.

5.- Marcos de oscilación.

Si por algún problema una colada se vacía manualmente, esta operación originará defectos en la superficie de la barra tales como : marcas profundas de oscilación, marcas de anillo, incrustaciones y sobrepel.*

6.- Marcas de peso de colada.

Se forman debido a un paro total de la máquina de colada y se presentan en la circunferencia de la barra.

7. Ovalidad de la Barra.

La ovalidad de la barra es producida por la máquina extractora debido a alta presión de los rodillos.

* Sobrepel. Gotas frías o acero salpicado durante la entrada del acero líquido al molde provocado por un flujo turbulento.

Para evitar este defecto es necesario una correcta calibración de los rodillos además de efectuar la colada a baja velocidad y bajo enfriamiento en caso de aceros aleados.

B. Grietas Internas.

Las grietas internas en las barras se originan durante la colada, especialmente en aceros con alto contenido de azufre y en aceros aleados (2% Cr, 1% Mo).

Para evitar este defecto se debe colar con baja temperatura, baja velocidad de colada y poca agua en el enfriamiento secundario; así mismo se deberán evitar altas presiones de apriete en la máquina extractora. [51]

Existen muchas probabilidades de agrietamiento interno en aceros con Ti y B especialmente cuando son aleados con Nb, V y Mo.

En grados de acero con bajos S < 0.003 % no se aprecian las grietas en el ensayo Bauman, por lo cual en este caso se emplea el macroataque. [56]

9.- Incrustaciones de polvo de colada.

Debido a turbulencia del acero líquido en el molde, ocurre una carbonización del polvo de colada, el cual es aspirado y queda atrapado en el interior de la barra. Normalmente se concentra en la primera capa solidificada de la periferia de la barra.

La turbulencia ocurre cuando falla el sistema automático del control del nivel del molde y es necesario continuar la colada en manual. Ocurre también cuando se incrementa gradualmente la velocidad de colada.

Debido a este defecto se corta el inicio de la primera barra, aproximadamente 1m.

10.- Incrustaciones de escoria y polvo de colada.

La introducción de escoria y polvo de colada al interior de la barra, se debe al desgaste de la buza en el nivel de acero líquido en el molde y esto se introduce en la primera capa solidificada.

Para controlar este defecto se escarfea una barra a toda la longitud.

En caso de defectos o desgaste de la buza en el nivel de acero líquido en el molde, se producirá material a chatarra, de allí la importancia de inspeccionar la buza en esta zona después del vaciado de una colada.

11.- Inclusiones en el acero.

Las inclusiones no metálicas en el acero están constituidas básicamente por inclusiones de alúmina (Al_2O_3).

Dichas inclusiones se forman primordialmente por la reoxidación del acero por contacto con el aire, además de que detrimentan la calidad del acero, ocasionan problemas en el

colado, debido a que se acumulan y obstruyen el diámetro interior de la buza sumergida impidiendo el libre paso del acero líquido.

Inclusiones de gran tamaño presentes en las barras originan grietas en las tuberías.

Para evitar la formación excesiva de inclusiones en el acero, es necesario evitar el contacto del acero líquido con el aire durante el vaciado de la olla al distribuidor y esto se logra protegiendo el chorro mediante un tubo refractario o mediante una cámara de argón.

12.- Rechupe Secundario.

Puede ser causado por altas temperaturas de vaciado, alta velocidad de colada o deficiencias en el enfriamiento del molde.

13.- Barras Torcidas.

Las barras torcidas resultan de tomarlas con una grúa a una temperatura elevada y que por acción de su propio peso las puntas tienden a doblarse.

En algunos casos se utiliza un antiguo laminador para tratar de enderezar las barras, ya sea en frío o en caliente, sin embargo hay aceros que son muy difíciles de enderezar.

En este caso se cortan las barras a la longitud mínima requerida disminuyendo así la torcedura.

11.3. Uso y características del acero fabricado en barras de colada continua.

Las barras de acero producidas por colada continua, no son el único producto que se manufactura en las máquinas de colada continua, también se producen tochos, palanquillas, billets, y planchones, pero para estos productos se utilizan laminadores de planos.

Cabe mencionar que la totalidad de los productos de colada continua son convertidos en una basta gama de productos diferentes, por medio de uno ó más procesos de trabajado mecánico y pueden realizarse en frío ó en caliente. A continuación solo mencionaremos los procesos sin entrar en detalle de como operan, por ser un tema basto que no compete a tema de esta tesis, como son:

Laminación

Forja

Extrusión

Trefilado

Embutido profundo

Estirado.

Pero las barras de acero tienen una utilidad industrial en la fabricación de no planos, pudiendo ser barras, tubos, conexiones, envases, etc.

Los mismos procedimientos anteriormente mencionados son utilizados para la fabricación de los no planos.

La utilización de barras de acero por colada continua ayudan en la laminación de tubos y conexiones por la estructura bien definida, ya que al tener un enfriamiento más homogéneo a lo largo de la extracción de la barra, permite la formación casi ideal de la estructura, que a su vez será homogeneizada en los procesos posteriores. Lo que se trata de explicar es lo siguiente, la formación de una capa finísima chill de granos en la periferia de la barra se logra con la total esparción del agua de enfriamiento. Cabe recordar que los 16 aros de enfriamiento en la sección II y III de enfriamiento dirigen el enfriamiento en forma unidireccional (comportándose como placa para cálculos), pero en forma radial a todos los 360° de circunferencia de la barra. De aquí la importancia de la dureza del agua, ya que como se mencionó un ligero cambio de temperatura podría formarnos un pozo de tensiones que pueden llegar a producir una grieta, pero también hay otros factores que influyen y que trataremos posteriormente. La segunda estructura de granos formados por este enfriamiento controlado es la zona de granos laminares, granos alargados ideales para la laminación que permiten abatir la energía necesaria para el proceso, y por último la estructura de granos equiaxiales que son ideales para cualquier transformación mecánica.

Así, los tochos son cortados a medidas exactas para su posterior transformación, en esta tesis estamos hablando de utilización de tochos para laminación de tubos en laminadores continuos MPM* a mandril retenido, produciendo tubería bajo la norma API y ASTM en diferentes grados de aceros.

También estas barras pueden ser utilizadas para otros procesos, como fabricación de cilindros para envases de gases industriales, chumaceras mecánicas, etc.

Mencionaremos también que otro producto de la colada continua es el billet que varía de tamaño, un tamaño standar es el de 2" x 2", muy utilizado en la industria de la laminación en laminadores SENDZIDIMIR para obtención de varilla y alambón. Los planchones producen chapas desde micras (papel metálico), hasta espesores mayores a 2 pulgadas, convirtiéndose en productos muy apreciados en la industria.

La estructura obtenida por colada continua ayuda en gran manera a la fabricación de estas chapas.

* MPM. Del inglés Milling Pipe Machine, que en español significa laminador continuo para tubería.

CAPITULO III

NATURALEZA DEL PROBLEMA

III. NATURALEZA DEL PROBLEMA.

Las necesidades tecnológicas a nivel mundial requieren cada vez de aceros de más alta calidad. De aquí que los procesos de manufactura con los que se obtiene a éstos materiales deban ser más versátiles y eficientes para que sus requerimientos mecánicos y químicos, además de su costo de producción sean competitivos en el mercado internacional. Por lo tanto, es necesario llevar a cabo investigaciones a nivel nacional para que se propongan cambios en los procesos convencionales y encuentren alternativas en los procesos para alcanzar la calidad requerida.

La manufactura de los aceros de baja aleación en México es de gran importancia en la actualidad dada su amplia utilidad, ya que la mayoría de estos aceros se caracteriza por la alta resistencia mecánica en campos petroleros cuando se les utiliza en forma de tubería. Existe también una ventaja significativa cuando estos aceros son fabricados y procesados por colada continua, ya que presentan una mejor homogeneidad en la estructura, así como en la composición química.

Pero presentan también desventajas, como la complejidad de colar aceros altamente aleados, o con elementos críticos tales como B, Ti, Mo, Cr, Cu donde su influencia se puede

dejar ver en la calidad superficial del producto de las máquinas de colada continua [60].

Es por ello que se debe tomar muy en cuenta el análisis químico del acero que se va a procesar por colada continua y observar cuál es la influencia de estos elementos críticos en el producto final. Los aceros de baja aleación manufacturados en TAMSA se utilizan en tubería de alta calidad, para uso común en la mayoría de los pozos petroleros del mundo ya sea para tubería de revestimiento o de conducción [2,5].

La tubería para uso petrolero que es la que produce TAMSA se rige por las normas del Instituto Americano del Petróleo (API) y es el órgano oficial mundial de estandarización de normas para tubería de acero en uso de la industria petrolera mundial.

Por lo tanto los aceros de baja aleación producidos en TAMSA se rigen bajo la norma API-SPEC-C-SCT para tubería de revestimientos, este acero tiene buenas propiedades mecánicas, alta maquinabilidad, alta elasticidad y buena colapsabilidad.

En la siguiente tabla se presenta un análisis químico de Norma API-SPEC-C-SCT para tubería de revestimiento K-55.

	MIN	MAX		MIN	MAX
C	0.34	0.38	Nb		
Mn	1.10	1.30	Ni		0.10
Si	0.25	0.35	Cu		0.25
P		0.085	Sn		0.02
S		0.045	Al		0.01
Mo	0.08	0.10	Ti		
Cr	0.10	0.15	B		
V			N ₂		

En la cual se aprecian los principales elementos aleantes destacando el Cu y el Sn como los elementos que no se oxidan ni se carburan es decir quedan embebidos dentro del acero, es por eso que podría llegar a ser en algunos casos perjudiciales o benéficos [20, 21, 24].

Los elementos de aleación que extienden la zona γ de las soluciones sólidas, forman un grupo que posee una solubilidad ilimitada en el hierro (Ni, Mn, Co) [21]. Por otra parte tenemos los elementos de aleación que reducen la zona γ y que forman con el hierro las aleaciones de baja solubilidad (Be, Al, Si, P, Ti, V, Cr, Mo, W), y también elementos que forman las aleaciones con una zona γ reducida (Nb, Ta, Zr, Ce) [21].

Lo principal en este caso es evitar la interacción de los elementos de aleación con el Oxígeno, con el fin de disminuir las pérdidas de éstos y procurar que en el acero haya cantidad mínima de productos de oxidación. Esto disminuye la cantidad de inclusiones no metálicas que ensucian al acero y deterioran su calidad.

Los diferentes elementos aleantes se pueden encontrar para este tipo de aceros, en algunas de las siguientes formas [24]:

- 1^o Disueltos en la ferrita.- Ciertos elementos se disuelven en el hierro alfa o ferrita. Entre estos elementos los más destacados son Ni, Si, Al, Mn, P, Cr.
- 2^o Combinados con el Carbono.- Hay elementos que tienen tendencia a formar con el carbono, carburos simples o complejos, que hacen a los aceros muy resistentes al desgaste o los fragilizan. Los elementos que forman carburos son el Cr, Mo, Mn, W y V, principalmente.
- 3^o Combinados con otros elementos.- Formando inclusiones no metálicas. El Si forma silicatos o silico-aluminatos de

Cal o de hierro, Manganeso, y Cromo. El aluminio forma alúmina y silico-aluminatos. El Titanio puede presentarse en forma de Óxido de Titanio y Nitruros y Cianuros de Titanio. El Manganeso forma Silicatos y Sulfuros.

4º Dispersos.- Formando cuerpos raros, el Cu, Sn y Pb en algunos casos especiales.

Las inclusiones no metálicas son partículas extrañas a la matriz metálica que aparecen en los aceros, siendo muy perjudicial su presencia, ya que reducen sus características y propiedades. Pueden provenir de las escorias, refractarios o de las materias producidas en los procesos de oxidación y desoxidación. Formando sulfuros, óxidos y silicatos.

Sulfuros. El más importante es el sulfuro de manganeso. Es plástico, se deforma y alarga por forja y laminación. Es menos perjudicial que los óxidos y silicatos.

Óxidos. El óxido que con más frecuencia se presenta en los aceros es la alúmina. Es muy dura y frágil. En la forja y laminación se rompe y dispersa apareciendo siempre de pequeño tamaño, en forma de grupos o rosarios, se presenta en los aceros desoxidados con aluminio.

Silicatos. Son inclusiones muy peligrosas porque son las que más reducen las características de los aceros. Suelen presentarse silicatos complejos de manganeso, hierro, cromo, etc., se alargan y rompen en la laminación y forja existiendo dos clases típicas: silicatos que al deformarse presenta estructuras angulares con aristas vivas parecidas a las de los óxidos y silicatos de carácter vítreo que se alargan más fácilmente y se rompen menos que las anteriores (24).

De acuerdo a lo anterior y en base a estudios en planta para estos aceros de baja aleación el Mo y Cr van a formar en algunos casos multicarburos muy frágiles, pudiendo también formar óxidos. El Si formara carburo de silicio, el manganeso formará óxido de manganeso.

De esta manera sabiendo la poca afinidad del Cu por el O_2 en presencia de Fe, este se quedaría embebido en el acero. Por lo tanto, de acuerdo a los resultados se comprobaría una hipótesis surgida de la experiencia alemana en el arranque de la planta de colada continua, sobre la influencia del Cu en los aceros de baja aleación producidos por colada continua.

Al arrancar todo proceso de colada continua, se tiene una infinidad de problemas en sus primeras etapas. Esto es porque no se han tomado en cuenta las fallas comunes, enumeradas anteriormente.

Pero, hay un problema que no es posible dejar pasar por desapercibido y es la calidad de la barra, punto clave en los procesos subsecuentes. Se sabe que si la calidad es buena, el producto final tendrá una calidad excepcional y reflejará el buen manejo del proceso metalúrgico en la empresa. En otras palabras, para nosotros los metalúrgicos el trabajo hecho en una planta para la obtención de acero, es el prestigio de nuestro trabajo y reflejará la dedicación profesional de cada uno de nosotros.

La calidad superficial de las barras puede tener muchas formas de manifestarse, como se mencionó en el Capítulo 2, sección 2, pero hay una que llamó mucho la atención, al arranque de la planta y es la formación de una grieta aparatosa que se obtenía a todo lo largo de la barra de 13 m. Ello obligo a una investigación del posible origen de esta grieta.

Se está hablando de 56 barras de 13 m. cada una con un peso total de 150 ton., que presentan grietas aparatosas. En

otras palabras 56 barras a chatarra. En ese momento la planta se convirtió en la primera productora de chatarra de alta calidad, título no deseado.

Al dar inicio a la investigación se partió de lo siguiente: primero se debe establecer qué es una grieta. Según los diccionarios y el sentido común una grieta es una hendidura o abertura. Ahora bien, la formación de estas grietas es por regla general una consecuencia de un pozo de tensiones, donde un pozo de tensiones es creado a partir de una segregación en los límites de grano al momento de la solidificación [49, 51, 52, 53, 36, 23, 15].

Pero para tratar el problema desde el punto de vista microscópico, es necesario conocer los conceptos fundamentales de las teorías de maclajes, vector de Burgers, lattice, etc. [4] y tener una infraestructura propia que ayude a obtener resultados satisfactorios.

Para un Ingeniero de proceso es complicado ahondar en estas teorías dado que los problemas se tienen que resolver en el menor tiempo posible. Y como todos sabemos en la Industria esta en juego la producción diaria.

Por otra parte en este trabajo solamente se tratará de encontrar una solución práctica a las grietas longitudinales de gran tamaño, en barras de acero manufacturadas por colada continua. Ahora bien como se especificó, este pozo de tensiones acumula energía remanente en un punto. Estas tensiones poco a poco se conjuntan hasta vencer una fuerza de formación (un ΔG° de formación), que va a colapsar esta barra y dependiendo de la estructura que pueda hallar será la dirección y magnitud de la grieta. Realmente éste es un defecto muy dañino para la barra ya que aunque no aparece, esta presente en forma subcutánea y en los procesos posteriores de conformado se presentará el caso extremo de una grieta.

Teóricamente hablando, fisuras pequeñas de 2 a 3 mm no deberían causar problema en el conformado de metales, pero prácticamente en los procesos mecánicos posteriores, fisuras de menor magnitud dan origen a grietas longitudinales aparatosas (95).

Por otro lado conociendo la presencia INEVITABLE del Cu en los aceros y su poca afinidad del O₂ en presencia de Fe, se puede entender lo difícil de eliminar el Cu en la escoria.

Pero la importancia de eliminar al Cu estriba que su presencia en los aceros a niveles mayores a 0.1% causa deficiencias en caliente, en una gran variedad de aceros para forja y laminación. [95]

La mayor parte del Cu que se aporta en los aceros proviene de la chatarra recirculada. En el caso de la colada continua se tienen que disminuir los niveles de Cu en la chatarra que se utiliza en la fusión de los hornos eléctricos.

Numerosos procesos han sido sugeridos para remover el cobre a partir de chatarra fundida o solidificada, como son:

- Separación física improvisada
- Extracción por emplomado
- Fundición preferencial
- Destilación al vacío
- Escoria sulfurada o sulfurada (o tratamiento con una base rica en sulfuro).

Las técnicas de separación física improvisada, han reducido el contenido de cobre típico de la chatarra de 0.3% a 0.2% Cu en toneladas pequeños, sin embargo estas técnicas son laboriosas y muy costosas [95].

La extracción con plomo esta basada de hecho en que el cobre es soluble en plomo liquido y el hierro no. Se sabe que para una tonelada métrica de chatarra se requieren 1000 Kg de plomo, esto reducirá el contenido de cobre de 0.3% a 0.1% [95].

La fundición preferencial consiste en exponer a la chatarra a un baño de plomo entre 800 y 900°C, usando una olla rotatoria bajo una atmosfera reductora u oxidante alrededor de 1150°C. El cobre no es suficientemente separado por este método, este proceso tiene muchas perdidas de metal, alto costo en combustibles y un excesivo gasto de refractario [95].

La destilación en vacío se basa en someter al cobre a una alta presión de vapor mayor que al hierro. Se determina que el Cu y el Sn pueden ser removidos en un 80% de eficiencia a una temperatura arriba de liquidus entre 80 y 100°K durante 30 minutos. La chatarra tratada conteniendo entre 0.27% y 0.44% de Sn y entre 0.05% y 0.39% de Cu en rangos de temperatura de 1600° a 1800°C y una presión de 0.1 mbar. Se obtuvo como resultado contenidos finales de Cu y Sn menores 0.19% y 0.09% respectivamente. Estos procesos no son factibles por los altos intervalos de calor [95].

Escoria sulfatada o sulfidrada. Este proceso esta basado en la sulfidación del cobre y que este es más estable que el sulfuro de hierro a temperaturas mayores a 600°C. El sulfuro de sodio o sulfato es usualmente adicionado para bajar el punto de fusión del material e incrementar la fluidez [95]. La reacción de refinación se puede escribir como sigue:



Estudios recientes en la URSS han logrado ciertos avances a este respecto. Los resultados de estos estudios sólo han logrado bajar centésimos de punto, la concentración del Cu, pero son suficientes para el aprovechamiento del acero en máquinas de colada continua [1].

La reacción general del proceso complejo llevado a cabo en plantas industriales es la siguiente. Cabe recalcar que es una reacción general



En la práctica y aquí en México solo se puede diluir el Cu en la aceración, es decir, aumentando el acero líquido, el porcentaje de Cu deberá disminuir y mejorará la solidificación de las barras.

Por otra parte, estas grietas no son formadas solamente por el alto contenido de Cu, sino que también son efecto de un alto contenido de H₂. Pero el efecto del H₂ es más susceptible en los aceros de carbón medio ó elevado y en especial en los aceros aleados con Ni, Mn, Mo, Cr y W, por lo que se descarta esta posibilidad, al tratarse de aceros de baja aleación y con bajo contenido de H₂.

Por otro lado al cobre no se le puede considerar perjudicial, en algunos casos en ciertos aceros se la puede combinar para lograr mejoras en las propiedades mecánicas.

Adiciones de 1% han probado ser efectivas en las propiedades a través de la precipitación de una fase δ -Cu precipitada en la microestructura, refinando el grano y formando una fina bainita con bajo carbon en procesos de fundición.

Por otra parte se observa un deterioro en el endurecimiento en los aceros al laminarse a 1000°C, más sin embargo a través de un rápido enfriamiento resulta una mejora en las propiedades mecánicas, en un enfriamiento lento alrededor de 5°C/s hubo también mejoras especialmente al endurecimiento [46].

Se puede decir que desde que el Cu esta presente se incrementa el endurecimiento aún a enfriamientos lentos

promoviendo sustancialmente a efectos en la microestructura, especialmente en la recristalización del medio.

Por lo que se sugiere que el retraso en la recristalización es causado por la adición de Cu en los aceros, entonces es posible obtener un gran endurecimiento al incrementar el contenido de Cu en enfriamientos rápidos.

Por otro lado también se tiene que como resultado del aumento de saturación de Cu en la ferrita y si el acero se somete a un enfriamiento rápido, esta saturación se vera favorecida en mayor cantidad de que si se somete a un enfriamiento lento.

Asi el incremento de saturación de Cu causa un incremento de precipitaciones finas, causando un endurecimiento propenso a envejecimiento.

Otro posible efecto en la precipitación de la fase δ -Cu es que sometida a esfuerzo impone una no recristalización en la región intergranular incrementando una densidad de dislocaciones, manifestando cambios en la sub-estructura.

Un análisis metalográfico revela la presencia de matriz PERLITICA FERRITICA con bandas de baunita en la mayoría de los

aceros utilizados en el estudio y en algunos presentó una microgrieta no apreciable a simple vista. Revisando los análisis químicos se reveló un punto de común a las barras de acero con un contenido de Cu mayor a 0.3% presentaba una grieta longitudinal aparatosa en algunos casos y en todas las barras presentaron unas pequeñísimas microgrietas vistas a 400x y 1000x, es ahí de donde se parte para revisar la composición de los aceros.

Ahora bien para responder a la pregunta obligada de ¿Como se forma una grieta?, tenemos que comunmente se acepta en la ingeniería de aleaciones, el modelo común de ruptura de orificios. El cual se conoce como fractura plastica, ductil o fibrosa derivada de una nucleación de micro orificios o huecos y de una coalición de huecos. Esta formación u origen de grieta envuelve la absorción de grandes cantidades de energía, pero también se han dado casos de fracturas que avanzan con pequeñas absorciones de esta energía [91].

El proceso de formación es puramente mecanico y se han encontrado fracturas de este tipo en la superficie que son el resultado de la aplicación de esfuerzos y la cantidad de microaleantes.

Los procesos de fractura ocurren en los materiales dúctiles por la formación de pequeños huecos, los cuales van desarrollando una deformación plástica, eventualmente estos huecos colisionan hasta formar una grieta interna de mínima sección la cual va avanzando hasta florecer a la superficie en formación.

La ruptura o fractura frágil ocurre en tres estados:

- 1) Nucleación interna de cavidades durante un flujo plástico.
- 2) Un incremento de estas cavidades con una deformación continua y finalmente.
- 3) Por una coalición de estos huecos que producen una completa ruptura [97].

En general partículas grandes nuclean huecos a bajos esfuerzos continuando la deformación plástica, y las pequeñas partículas participan en los procesos de fractura.

En algunos casos, estas pequeñas partículas nuclean huecos formando bandas entre los huecos previamente nucleados o entre las fracturas internas y las de la superficie. Por otra parte se ha demostrado [97] que la nucleación de huecos ocurre por rompimiento de cementita esferoidizada en los aceros al carbono bajo cargas de tensión, compresión y torsión. Este rompimiento ocurre perpendicularmente en la

dirección del principal esfuerzo máximo bajo las tres condiciones de carga, el cual va a coincidir con la dirección del esfuerzo de tensión más alto. Por lo que los huecos se van formando en los polos de la partícula a lo largo del eje de aplicación de esfuerzo, y la región donde existe el máximo esfuerzo tensil [97].

Por lo que en la intercara el esfuerzo es compuesto por la aplicación de esfuerzo en forma normal y tangencial, bloqueando un deslizamiento de bandas. Como resultado la nucleación de huecos es independiente de la tensión triaxial y gobernada por el esfuerzo en la intercara.

Ahora bien, el crecimiento de huecos es un proceso de alargamiento de la cavidad localizada en la deformación plástica. Como el crecimiento de huecos ocurre durante la mayoría de los procesos de fractura en muchas aleaciones, no es sorpresivo que la ductibilidad y la tenacidad de estas aleaciones sea fuerte dependiendo de lo extendido de la estabilidad del crecimiento del hueco antes de la coalición de huecos, además se estima que el 87% de la energía gastada durante la ruptura de huecos en los aceros es absorbida durante el crecimiento de huecos [97].

Entonces se puede inferir que el resultado del deslizamiento ondulatorio que ocurre, es favorecido por los planos de orientación. En general, el modelo predice que el crecimiento de huecos es una función del incremento de la relación de esfuerzos con el tamaño de hueco y en varias veces espontáneamente con la tensión triaxial, lo cual está cualitativamente de acuerdo con la observación experimental [97].

Así se observa que la coalescencia de huecos ocurre en el hierro policristalino por la formación y propagación de finas grietas entre los hoyos nucleados por inclusiones.

Por otra parte, la segregación de otros elementos en la frontera de grano permiten la refinación del mismo (como el caso del Al, B, W) pero en ocasiones puede ser dañino, por la formación de carburos que suelen ser demasiado duros y por lo tanto frágiles a tensiones transversales, y esfuerzos transversales. Cabe mencionar que a esfuerzos de torque como los que se presentan en tuberías de acero, estos se desmoronan con gran facilidad en el campo de trabajo.

Luego entonces, estos segregados son pozos de energía, que sumados a las tensiones residuales que se forman al cambio de temperatura durante el proceso de solidificación, tienen una

alta probabilidad de formación de grietas [49]. Si se encuentran en el mismo plano ó misma dirección de una celda cristalina, o familia de celdas, estas tensiones se acumularán liberando a otras familias de celdas en otras direcciones, formando así las grietas. Esto es visto desde el punto de vista atómico y utilizando microscopia electrónica. [54] Por otro lado este tipo de monocristales segregados en la frontera de grano hacen que la estructura cristalina del acero sea más compacta. Si como metalúrgicos controlamos esta cantidad de segregados, controlaremos propiedades mecánicas y las ajustaremos a nuestras necesidades, eso conlleva a la concentración de aleantes del acero.

De esta forma, si se controla la concentración de microaleantes o elementos inherentes como el Cu para nuestro caso, se podrá controlar la formación de grietas en los productos finales del proceso de colada continua.

Una vez que se llegó a determinar que el Cu en exceso (0.26%) causa grieta, se presentó el problema de que hacer con las coladas que presentarían dicho exceso.

Prácticamente como se ha señalado la solución ideal es diluir el Cu en más acero por lo que entonces se procede de la siguiente manera:

Se vacia la mitad del volumen de acero liquido, en una olla cubriendo la superficie con una mezcla de polvo de cobertura y coke, a su vez se sella con tapa de refractario para evitar pérdidas de calor.

Al horno se le adiciona fierro esponja, hasta lograr la disolución del Cu en el acero, entonces se procede al ajuste como si fuera una carga normal, hasta la obtención de las barras sólidas.

Se recupera la olla separada, regresandola al horno y se le adiciona fierro esponja siguiendo el procedimiento anterior.

CAPITULO IV

TECNICAS EXPERIMENTALES

ANTECEDENTES

Una vez que se detectó el problema de la grieta longitudinal aparatosa, se llevaron a cabo diferentes pruebas de laboratorio con la finalidad de evaluar la calidad interna de las barras producidas en la colada continua de la acería.

Se detectaron por medio de la inspección ultrasónica algunas indicaciones en barras, algunas de ellas fueron aceptables y otras presentaron en mayor grado dicho defecto.

Al ser sometidas a tratamiento térmico, el defecto de algunas de ellas, se agrandó y en otras fueron aceptables.

Cuando se inspeccionó nuevamente dichas barras se encontró que los defectos ya no tenían el carácter de indicaciones, sino que efectivamente existían defectos rechazables, a la vez se encontraron tramos de barras con defectos, las cuales ya tenían tratamiento térmico.

DETECCION DE LA FALLA

La detección de la falla (grieta) es a simple vista, puesto que es una grieta longitudinal aparatosa, en algunas coladas varias barras no presentan la grieta a simple vista, sino que aparece unas horas e inclusive días después, por lo que el problema se acentúa más.

4.1 Se realizó el análisis metalográfico en diferentes puntos de las barras, como también en la localización del defecto.

4.2 Se realizó el análisis de las inclusiones detectadas. Para este análisis se tomaron muestras de barras correspondientes a las seis coladas, que se fabricaron bajo los términos de "aceptación provisional".

Por otra parte también se procedió a un macroataque, en algunos casos. Normalmente se requiere efectuarlo, cuando han ocurrido variaciones considerables durante el vaciado del acero en la máquina de colada continua y que se sospecha que se han originado defectos internos en las barras.

El macroataque se lleva a cabo para detectar grietas internas, revelar la estructura de solidificación o determinar segregaciones en la línea central, pero en el caso de las barras redondas sólo se hace en condiciones especiales.

Por último se realiza una evaluación práctica de inclusiones, normalmente las inclusiones que aparecen en las barras de colada continua son alúmina, escoria, polvo de molde y en algunos casos aparecen sulfuro de manganeso.

Cualquier tipo de inclusiones, en la mayoría de los casos, tiene un efecto detrimente en la calidad de los productos o semiproductos, por lo cual siempre debe mantenerlas en un nivel bajo.

En el caso de barras de colada continua las inclusiones de Al_2O_3 suelen encontrarse en forma globular o en racimos dependiendo si el acero fue tratado con Ca-Si o no.

Para la evaluación práctica de las inclusiones la muestra se desbasta en lijas y se pule en los paños hasta un acabado de espejo, después se observa en el microscopio.

La observación que se efectúa en el microscopio se compara con las láminas que aparecen en norma, pudiendo ser utilizadas las normas de metal HandBook Vol. II o las de la norma SAE J 422 Jun 89 ya que son las más comunes para identificar el tipo de inclusiones y cantidad presente.

En ocasiones en el microscopio óptico es difícil diferenciar inclusiones de polvo del molde e inclusiones de escoria de la olla, en esta caso se puede recurrir al microscopio electrónico y en éste se hace un análisis químico cualitativo o cuantitativo. Las inclusiones de escoria presentaran un mayor contenido de azufre.

4.5 También se realizaron pruebas de ensayo Baumman, de este ensayo se obtiene una impresión de azufre que permite observar la distribución de este elemento en el acero. (Ver Figura No. 13)

El ensayo Baumman permite observar macroinclusiones, rechufe al centro de la barra, poros de escoria, grietas al centro en la zona intermedia y subsuperficiales [14].

Los criterios de aceptación o rechazo de un material se establecen dependiendo del material de que se trate, así como de las condiciones de su fabricación.

Debido a que los criterios de evaluación mediante este ensayo no se encuentran estandarizados en ninguna norma internacional, cada planta que lo realiza tiene la necesidad de establecer sus propios criterios internos en base a la experiencia y al proceso subsecuente que utilizará el material.

Para llevar a cabo el ensayo Baumman se procede de la siguiente manera: Un papel para fotografía es bañado en una solución de 3 a 5% de ácido sulfúrico (una parte de H_2SO_4 por 20 partes de H_2O), este baño debe tener una bomba de recirculación. Después de un periodo de 5 minutos se toma el

papel fotográfico, se remueve el exceso de ácido, y se coloca en la cara limpia de polvo y protuberancias de la barra. Este se extiende del centro hacia los extremos y se retira después de 3 minutos. La fotografía depende de la concentración del ácido. Después de éste ensayo la muestra se introduce al ácido para el macroataque.

La solución para macroataque se compone de HCl concentrado 31-33%.

Una vez que la muestra se ha introducido a la solución de macroataque, ésta se deja allí por un tiempo aproximado de 30 minutos. El tiempo requerido está en función de la composición del acero. Los aceros aleados requieren más tiempo dentro de la solución.

Después de éste tiempo la muestra se retira de la solución, se enjuaga inmediatamente con agua y se le pone alcohol en la superficie para después hacer el secado con aire caliente.

En caso de que el material presente grietas, éstas pueden observarse a simple vista o con ayuda de una lupa.

El revelado de la estructura de solidificación de un material colado se procede de la siguiente manera:

La muestra se calienta a una temperatura de 950°C por espacio de 30 minutos y luego se templea en agua, a la muestra ya templada se le eliminan 5 mm de la superficie y en caso de que aparezcan grietas, ésta se prepara de la misma manera que para ensayo Baumman o macroataque. Una vez la muestra rectificada y sin grietas, se introduce a un recipiente con HCl concentrado y se mantiene allí hasta que se revele la estructura.

Otra prueba a la que se se sometieron las muestras fue la prueba de segregación de la línea central. Este procedimiento generalmente se aplica para los planchones, pero también puede efectuarse en barras . La muestra rectificada y esmerilada se introduce en una solución de HNO_3 con una concentración de 20% (1 lt HNO_3 y 5 lt de H_2O), la muestra se mantiene dentro del ácido por espacio de 2 a 5 minutos máximo, se saca y se enjuaga con agua, después se le pone alcohol en la superficie y se seca con aire caliente.

4.4 Se tomaron a su vez análisis de dureza en las barras agrietadas coladas 41069 barra 2 y 3, y de la colada 41082 barra 4, así mismo durezas en el interior de la barra sin tratamiento térmico.

4.5 ANALISIS QUIMICO DE LAS MUESTRAS.

Este analisis quimico se tomo a todas las coladas en produccion de la colada continua tanto de coladas con grieta en la superficie o sin ella, este registro se analizara en los resultados obtenidos.

La tecnica de analisis empleado fue instrumental, para aprovechar la rapidez de los resultados, resaltando los analisis especiales de C, O₂, H₂ y N₂.

Para el analisis de C se empleo el determinador automatico de Carbono WR-12 marca leco, para el O₂ y el N₂ se empleo otro microprocesador controlado TC-136 tambien de leco, para el H₂ se uso otro determinador de fusion de gas inerte RH-2 de leco y por ultimo para el analisis completo de la aleacion se empleo un analizador Kevex 6700 que es un espectrometro de absorcion atomica y de rapida respuesta.

CAPITULO V
RESULTADOS

A continuación se reportan los resultados encontrados durante el estudio metalúrgico, realizado en la planta (TAMSA). Cabe hacer una aclaración con respecto al número total de las muestras analizadas, dado que en este estudio se utilizarán alrededor de 100 muestras, y en este trabajo no se hace el reporte correspondiente, por el motivo que se tendría que anexar una hoja por cada resultado y la lectura de este trabajo se haría tedioso.

Las tablas y las fotografías son lo más representativo al número total de las muestras y fueron elegidas tomando en consideración que la mayoría de las muestras presentaban resultados parecidos.

COLADA (41069)
BARRA 2

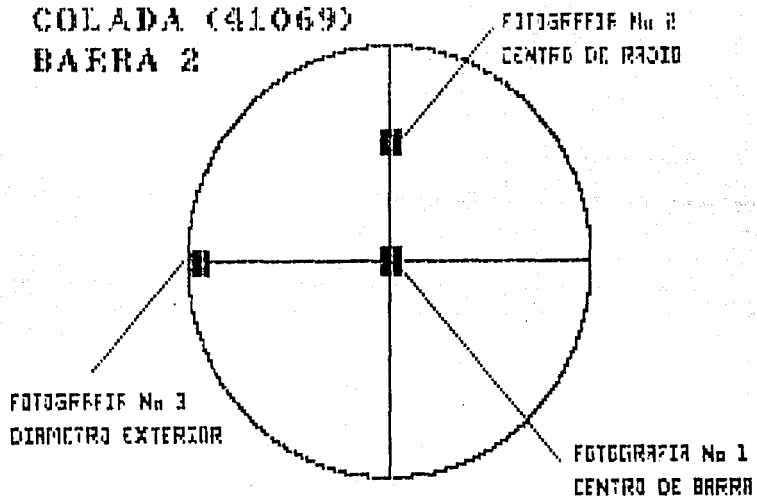


Fig. 12

Localización de fotografías.

5.1 ANALISIS METALOGRAFICO.

El análisis metalográfico se realizó a una barra representativa, de todas las coladas que habían presentado grietas longitudinales. La razón fundamental para la elección fue que, la colada 41069 (8"φ) presentó en su totalidad grietas longitudinales de gran tamaño. Las metalografías tomadas, fueron realizadas en tres puntos diferentes, como lo muestra la Figura 12.

Fotografía No. 1 400 X

Centro de barra

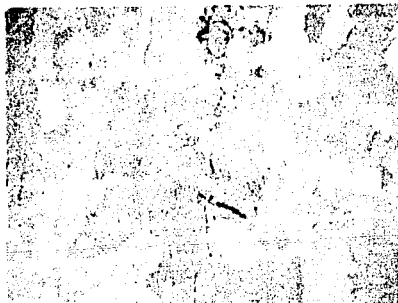
Microestructura: Matriz

Perlita Ferrita con

Bandas de Bainita,

Obsérvese fractura

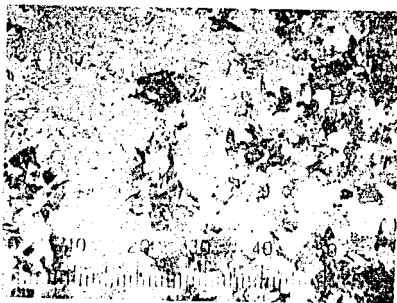
intergranular (Microgrieta no apreciable a simple vista)





Fotografía No. 2 400 X
Centro del Radio
Microestructura: Banda-
da Perlita - Ferrita
con bandas de Bainita

Fotografía No. 3 400 X
Diámetro exterior
Microestructura: Perli-
ta-ferrita. Tomada cer-
ca de la superficie.
Obsérvese la banda exte-
rior descarbonada.



De los resultados encontrados durante el ensayo metalográfico se menciona lo siguiente: La microestructura muestra la segregación intergranular que existe durante la solidificación de este acero. Esta evidencia proporciona información del origen de las microgrietas. Como la dirección de las microgrietas están orientadas longitudinalmente han adquirido grandes esfuerzos de torsión y por lo tanto se favorece la formación de macrogrietas.

5.2 ANALISIS DE INCLUSIONES.

Para este análisis se tomaron muestras en barras correspondientes a 6 coladas, que se fabricaron bajo los términos de "aceptación provisional". En estas coladas apreciaron barras que presentaban grietas longitudinales de gran tamaño.

De los resultados obtenidos se puede mencionar lo siguiente:

- (i) Las inclusiones encontradas son del tipo globular (SiO_2 , CaO), dado que se utiliza adición de Calcio-Silicio en una forma sistemática durante la afinación.
- (ii) El contenido de inclusiones es pequeño y corresponde a la alúmina en un 80%.

El tamaño varía de 1 a 3 micrómetros y también se encuentra una pequeña cantidad de sulfuros. Estos análisis se realizaron de acuerdo a los patrones proporcionados por Mannesmann*.

5.3 ENSAYO BAUMANN

Durante el ensayo se observaron barras que presentaban una ligera porosidad (310 mm ϕ y 270 mm ϕ) y pequeños rechupes en la parte central (215 mm ϕ).

El total de impresiones Baumann fue de 363 y se realizó a 3 diámetros diferentes, distribuidos de la siguiente manera:

Barra	310 mm ϕ	39 impresiones
Barra	270 mm ϕ	311 impresiones
Barra	215 mm ϕ	13 impresiones

Dentro de estas barras se contemplaban algunas con alto contenido de Cu. De este ensayo se desprenden los siguientes resultados:

(i) Las barras de 310 mm ϕ presentaron mayor calidad interna y el espesor de la primera capa solidificada (capa globulítica) fue de 13 a 15 mm aproximadamente. La

* Compañía Alemana Constructora de la planta de Colada Continua de TAMSA, Veracruz.

distribución de azufre en la sección transversal de la barra fue normal y no se encontraron defectos.

(ii) En el caso de barras que contenían alto índice de Cu se encontraron fisuras de 3-6 mm de longitud, en el centro de la barra. En casos extremos de contenidos de Cu (0.30-0.38% Cu) se localizaron grietas longitudinales de gran tamaño.

(iii) En barras de 270 mm ϕ , algunas mostraron pequeñas fisuras en la interfase de la primera capa solidificada (capa globulítica y al inicio de la solidificación dendrítica. Estas fisuras se presentaron en las últimas barras de la colada y como eran tan pequeñas (1-2 mm) estaban en el nivel de aceptación. La distribución de azufre en estas barras fue normal y el espesor de la primera capa solidificada fue de 12 a 15 mm.

iv) En la colada 25873 (48 barras) se obtuvieron barras de 270 mm ϕ , las cuales se clasificaron como "aceptación provisional", debido a que una de ellas presentó grietas longitudinales de gran tamaño. A esta barra se le realizó el ensayo Baumann (Ver figura 13) y a las restantes fueron almacenadas. Después de tres días de almacenamiento se inspeccionaron y resultó que 28 barras más, presentaban



Fig. 13 Impresión de Ensayo baumann

- A.- Fisuras al centro de la barra.
- B.- Fisuras en la periferia de la barra de pequeño tamaño en la intercara de la capa globulitica y de solidificación dendrítica.

grietas longitudinales de gran tamaño; por lo tanto tuvo que mandarse a chatarra toda la colada.

v) Las barras de 215 mm ϕ , son las que presentaron mayor incidencia a la presencia de pequeñas fisuras en la interfase de la capa globulítica y al inicio de la solidificación dendrítica. También se observó una pequeña porosidad central y pequeños rechupes al centro de la barra. Aunque estos pequeños defectos se encuentran dentro del límite aceptable, la tendencia fue mayor en este diámetro de barra, comparado con los diámetros de 310 mm ϕ y 270 mm ϕ .

vi) Las barras cuyo contenido de cobre máximo era 0.25% no presentaron grietas de gran tamaño, en algunas sólo se presentaron pequeñas fisuras que caían en el nivel de aceptación.

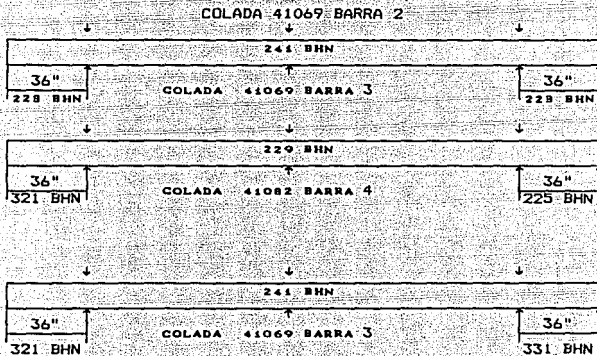
5.4 ENSAYO DE DUREZA.

El ensayo de dureza aplicado a barras sin tratamiento térmico y que habían presentado grietas longitudinales, mostraron los siguientes resultados:

i) Las grietas que en un principio se pensó que eran resultado de un subenfriamiento, durante la solidificación fue falso.

Esta aseveración se obtuvo del análisis de los resultados de dureza, como se observa en la tabla (14), el valor de la dureza es bajo y por lo tanto, el proceso de enfriamiento por los Jacks de agua no tuvo efecto durante la solidificación.

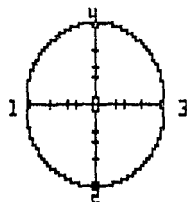
11) A continuación se esquematiza como fue obtenido el ensayo de dureza y los valores correspondientes.



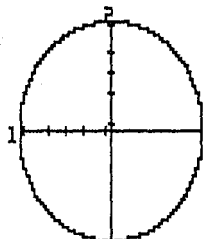
La dureza en el interior de las barras sin tratamiento termico fue la siguiente:

LAS DUREZAS FUERON TOMADAS A: 1/4", 1", 1 1/2", 2", Y 3"
DIAMETRO EXTERIOR.

COLADA 41082 BARRA 4 165.1 mm DIAMETRO



	1/4"	1"	1 1/2"	2"	3"
1.	341 BHN	341 BHN	341 BHN	341 BHN	341 BHN
2.	341 BHN	341 BHN	341 BHN	341 BHN	341 BHN
3.	341 BHN	341 BHN	341 BHN	341 BHN	341 BHN
4.	341 BHN	341 BHN	341 BHN	341 BHN	341 BHN



COLADA 41069 BARRA 2 203.2 mm DIAMETRO

	1/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
1.	341 BHN	341 BHN	321 BHN	331 BHN	331 BHN	331 BHN
2.	341 BHN	341 BHN	352 BHN	352 BHN	341 BHN	331 BHN

TABLA 14

DISTRIBUCION DE DUREZAS

5.5 ANALISIS QUIMICO.

Los resultados de los análisis químicos aplicados a las muestras para el estudio se reportan en la tabla (15). De estos se obtiene lo siguiente:

i) La colada 37442 (ϕ) muestra que cuando el contenido de Cu es de 0.25%, la barra no presenta agrietamiento.

ii) Las coladas en cuya composición mantiene un contenido de Cu $<$ 0.25% no presentaron agrietamiento en las barras.

iii) Las barras de las coladas que en su composición reportaba un contenido de Cu $>$ 0.25%, presentaron agrietamiento longitudinal.

iv) La causa principal para que el contenido de Cu se incrementara durante la manufactura de las barras, fue que durante la fusión se utilizó chatarra de barco en una proporción mayor que la cantidad de pellet.

T A B L A 1 5

LEASE COMO PUNTO Y CIFRA PRESENTADA A EXCEPCION DEL No. YA QUE SE DEBE LEER 1. Y FRACCION, PARA LEER PORCENTAJES EN LA TABLA.

No. DE COLADA	CLASE ACERO	COMPOSICION QUIMICA											MFE	Gr	OTROS
		C	Mn	Si	P	S	Mo	Cr	Ni	Cu	Al				
35857	074	26	149	33	008	011	12	14	09	12	001	18	SI	S/ORIETA	
36993	074	30	140	28	007	009	09	13	05	09	003	41	SI	S/ORIETA	
25873	074	26	146	25	016	015	11	13	06	26			SI	C/ORIETA	
41069	074	29	139	31	011	011	10	10	05	32			SI	C/ORIETA	
35911	351	20	119	35	012	009	07	07	05	35	028	46	SI	C/ORIETA	
37046	072	29	120	25	010	010	09	07	05	12	028	22	SI	S/ORIETA	
37066	064	21	74	23	009	015	07	06	04	33		34	SI	C/ORIETA	
25938	064	22	72	25	019	014	06	09	05	09		32	SI	S/ORIETA	
41082	074	27	143	32	004	013	14	14	05	30		24	SI	C/ORIETA	
42621	336	25	137	36	020	010	27	48	04	38	013	49	SI	C/ORIETA	
37124	336	23	137	19	019	011	26	46	05	31		26	SI	C/ORIETA	
42633	074	21	122	27	015	006	05	05	06	26	028	31	SI	C/ORIETA	
37207	074	26	147	28	023	013	10	15	05	18		25	SI	S/ORIETA	
42705	072	30	127	27	014	010	06	08	04	39	015		SI	C/ORIETA	
37317	074	28	145	29	019	009	10	10	04	20			SI	S/ORIETA	
37442	074	27	137	35	014	015	10	13	12	25		62	SI	S/ORIETA	
37883	072	28	130	25	011	011	07	09	06	26	012	16	SI	C/ORIETA	
39099	072	29	119	30	012	011	08	10	05	32		30	SI	C/ORIETA	
25978	074	30	130	27	007	012	12	13	06	34	011	25	SI	C/ORIETA	

DONDE:

TIPO DE ACERO

EQUIVALENCIA

NORMA

064

06: X-42

API-SPEC-5L

072

J-55, H-40

API-SPEC-5CT

074

H-55

API-SPEC-5CT

336

TAC-95, TAC-110, P-110

API-SPEC-5CT

351

C-75, N-80, L-80, C-95

API-SPEC-5CT

T A B L A 1 5

LEERSE COMO PUNTO Y CIFRA PRESENTADA A EXCEPCION DEL No. YA QUE SE DEBE LEER 1. Y FRACCION, PARA LEER PORCENTAJES EN LA TABLA.

No. DE COLADA	CLAVE ACERO	COMPOSICION QUIMICA											S	C	S
		C	Mn	Si	P	S	Mo	Cr	Ni	Cu	Al	NFE			
25100	336	23	140	28	028	011	25	30	06	15		50	SI	S/ORIETA	
42448	074	29	145	33	015	016	11	16	06	12	005	26	SI	S/ORIETA	
42451	336	20	70	29	012	012	25	87	06	11	007	22	SI	S/ORIETA	
25754	336	23	128	22	026	015	25	47	05	11		30	SI	S/ORIETA	
25795	336	25	130	30	014	012	25	50	06	12		25	SI	S/ORIETA	
36947	074	29	153	29	010	013	13	14	07	20	008		SI	C/ORIETA	
25859	074	28	144	30	010	012	11	13	05	33	007		SI	C/ORIETA	
36993	074	29	146	29	012	011	11	15	05	34	012	36	SI	C/ORIETA	
37002	074	29	148	28	007	012	11	13	06	31		16	SI	C/ORIETA	
42508	074	30	139	33	018	015	11	13	06	26			SI	C/ORIETA	
25875	074	28	140	29	008	017	12	16	05	34	014		SI	C/ORIETA	
25880	074	30	144	37	025	014	11	12	07	28		22	SI	C/ORIETA	
42522	074	29	140	28	015	010	12	12	06	32	022	18	SI	C/ORIETA	
42534	074	25	144	27	011	011	11	14	06	31	019	28	SI	C/ORIETA	
37021	074	27	141	31	011	012	11	14	06	30	015	56	SI	C/ORIETA	
25921	064	18	64	31	011	012	09	04	06	31	005	27	SI	C/ORIETA	
43543	072	30	116	29	013	007	06	03	05	08		40	SI	S/ORIETA	
42553	064	23	63	28	008	012	04	03	05	20	019	27	SI	C/ORIETA	
37049	064	19	76	30	010	015	08	05	06	14	021	38	SI	S/ORIETA	
42571	074	27	139	27	011	010	11	11	07	35	018	30	SI	C/ORIETA	
25962	072	29	111	29	017	023	03	09	06	29	005	40	SI	C/ORIETA	

DONDE:

TIPO DE ACERO

EQUIVALENCIA

HORNA

064

OB, X-42

API-SPEC-5L

072

J-55, H-40

API-SPEC-5CT

074

K-55

API-SPEC-5CT

336

TAC-95, TAC-110, P-110

API-SPEC-5CT

351

C-75, N-80, L-80, C-95

API-SPEC-5CT

CAPITULO VI
CONCLUSIONES

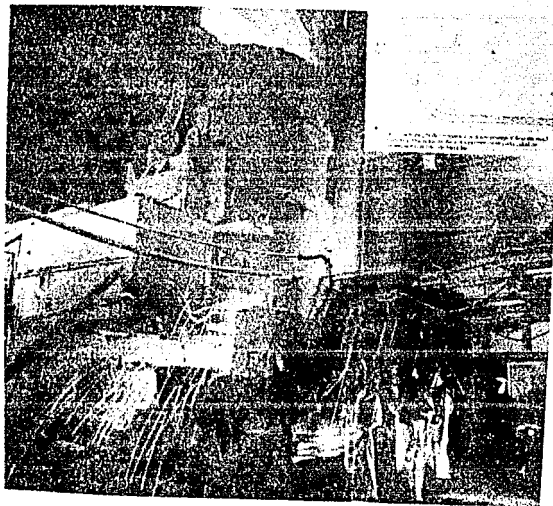
- 1) El desgarramiento del material sin una causa aparente, durante la laminación es influenciado por pequeñísimas fisuras, las cuales pueden ser ocasionadas por el segregamiento de elementos de aleación en la intercara granular del acero. Hay poca o nula probabilidad de que el contenido de hidrógeno cause el mismo efecto, ya que en este tipo de aceros (baja aleación) presentan un muy bajo contenido de H_2 , y por lo tanto disminuyen las tensiones residuales.
- 2) El Cu fragiliza el retículo cristalino debido a la segregación intergranular forman grietas cuando el contenido del elemento sobrepasa de un valor crítico, 0.25% Cu.
- 3) El enfriamiento de las barras no influye en la formación de grietas, a menos que este sea muy rápido caso inusual en las acerías.
- 4) Los defectos físicamente visuales en las barras son:
 - Grietas longitudinales aparatosas
 - Fisuras pequeñísimas en radio medio y cerca de la primer capa globulítica (15 mm.)
 - Microgrietas en la intercara granular del acero.
 - Segregaciones de Cu en la intercara granular, formando pozos de tensiones.

5) De acuerdo con lo anterior y en base a los resultados obtenidos se puede plantear la siguiente hipótesis:

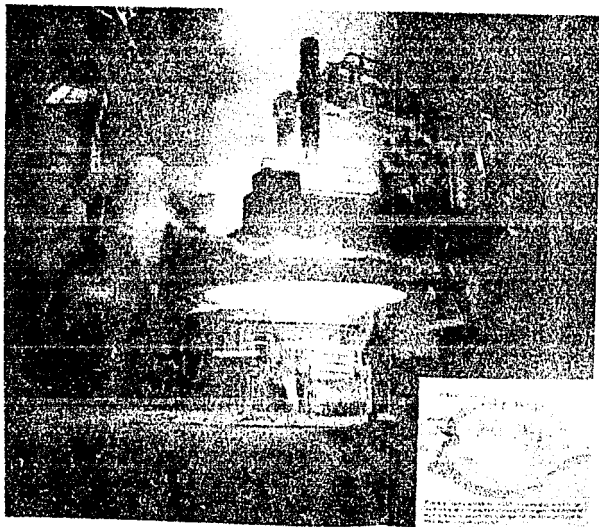
Las grietas encontradas en las barras de acero de baja aleación manufacturadas por colada continua en TAMSA son influenciadas por el contenido de Cu cuando este sobrepase el valor crítico de 0.25%. Teniendo poca probabilidad que estas fisuras se provoquen por el contenido de H₂, ya que en estos aceros su valor es despreciable.

6) En base a la hipótesis anterior y disminuyendo el contenido de Cobre a valores menores de 0.25% durante la aceración, en TAMSA se ha logrado disminuir el rechazo de barras por la formación de grietas aparatosas en aceros de baja aleación, esto se realiza actualmente.

7) Se sugiere que se realice un estudio más teórico con respecto a la formación de grietas en este tipo de proceso y observar cuál es el efecto neto que tiene el cobre sobre la red cristalina de los aceros de baja aleación. Esta sugerencia proviene del hecho que el estudio realizado hasta ahora fue en forma práctica y en la planta, en la cual se tiene la responsabilidad de cumplir con la producción.

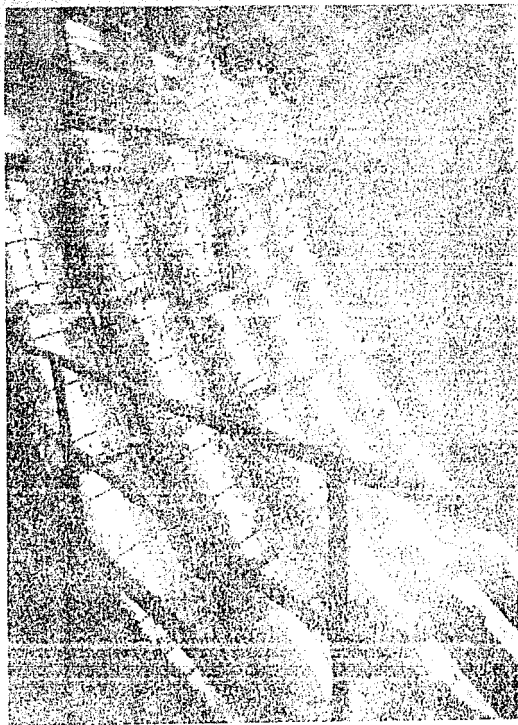


MAQUINA DE COLADA CONTINUA
Cinco hilos, Distribuidor 37 Ton. acero liquido.



HORNO DE FUSION EBT

Capacidad 150 Ton. acero liquido.



CAMARA DE ENFRIAMIENTO

Cinco hilos, 56 Barras por 150 Ton. de acero liquido.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Efecto del Cu y Cr en la frontera de grano para aceros austeníticos.
M. W. Grabski.
Acta Metalúrgica 1986, Vol. 34, No. 6.
- 2.- Manual de Información General de Tubos de Acero de México, S.A.
por TAMSA, Veracruz, 1987.
- 3.- Manual de Información General de Aga de México
por Aga de México, 1989.
- 4.- Manual de Inspección de lingotes de acero
por Tubos de Acero de México, 1984.
- 5.- Manual Fábrica de tubos No.2
por Tubos de Acero de México, 1987.
- 6.- Manual de Colada Continua
por Tubos de Acero de México, 1984.
- 7.- Manual Hornos Electricos (EAF) (LF)
por Tubos de Aceros de México, 1984.
- 8.- Manual Acería No. 2
por Tubos de Acero de México, 1986.
- 9.- Manual Acería No. 1
por Tubos de Acero de México, 1986.
10. Manual de Refractarios en la industria Acerera
por Refractarios Green, 1987.
11. Reportes de Análisis Químicos de colados Acerías 1-2
por Tubos de Acero de México, 1989.
12. Especificación de Aceros para Tubería
por Tubos de Acero de México, 1986.

13. Manual de Calidad de las barras de Colada Continua por Tubos de Acero de México, 1987.
14. Manual de Colada Continua en Mannesmann por Mannesmann Duisburg, Alemania 1986.
15. Introducción a la Metalurgia Física.
Sidney H. Avner
Ed. Mac. Graw Hill, 1981.
16. Análisis Químico Cuantitativo
Fernando Orozco D.
Ed. Porrúa, 1964.
17. Tecnología del proceso de fundición
N.D. Titov y Yua. Stepanov.
Ed. Mir, 1984.
18. Análisis Cualitativo y Química Inorgánica
Joseph Nordmann
Ed. CECSA, 1982.
19. Semimicroanálisis Químico Cualitativo
V. N. Alexeiev
Ed. Mir, 1981.
20. Metalurgia.
E.L. Rhead
Ed. Labor, 1947
21. Metalurgia General
V.G. Voskoboinikov, V.A. Kudrin, A.M. Yákushev
Ed. Mir, 1983.
22. Metodos Químicos para el análisis de minerales
Comisión de Fomento Minero, Boletín No.7, 1968

23. The Principles of Metallographic laboratory Practice.
George L. Kehl
Ed. Mc Graw-Hill, 1949
24. Tratamientos Termicos de los Aceros
José Apraiz Barreiro
Ed. Dossat, 1984
25. Fundiciones
José Apraiz Barreiro
Ed. Dossat, 1981
26. Transferencia de Calor
José A. Manrique
Ed. HARLA, 1985.
27. Metodos Standarizados de Análisis Químicos
Wilfred W. Scott y N. Howell Furnan Vol I y II
Ed. D. Van Nostrand, 1986.
28. Libro Anual de Standares ASTM
ASTM 1989, Sección I, Hierro y Acero
29. Manual de Los Hornos Eléctricos de Aceración y la
Tecnología del Proceso.
Instituto Latinoamericano del Hierro y el Acero, 1975
30. Equipo para Medición
Cole-Parmer, 1986
31. Inspección Ultrasonica,
Instituto Mexicano del Petróleo, 1988
32. Album de Defectos en Tubos de Acero sin Costura
Por Tubos de Acero de México, 1981
33. Manual SAE
Sociedad Americana de Ingenieros, 1982 parte 1 y 2

34. Manual de Muestreo de Temperatura
Omega Engineering, Inc. 1983
35. Pruebas Mecánicas y Propiedades de los Metales
V. Zolotarevski
Ed. MIR, 1981.
36. La Introducción Siderurgica
R.W. Lidsay
Ed. UNAM, 1984.
36. Conformado de Metales
Geoffrey W. Rowe
Ed. URMO, 1980.
38. Corrosión
José R. Galvele
Ed. DEA, 1978.
39. Principios y Procesos de la Metalurgia
Leco Corporation, 1986
40. Carburos Cementados
Schwarzkoﬀ Paul y Kleffer Richard
Ed. McMillen Co. 1947.
41. Captación de Polvos y Purificación de Gases en la
Metalurgia Ferrosa
G. M. Gordón, I.L. Peisájev
Ed. MIR, 1983.
42. Catalogo de Instrumentación
Leeds and Northrup, 1987
43. Basic Metalurgy
American Society for Metals.
ASM 1987.

44. Engineering Metalurgy
L.F. Mondolfo & O.Zmaskai
Mc. Graw-Hill USA. 1955.
45. Fisicoquímica de la Metalurgia Extractiva
V. Kudryk and Y.K. Kao
Sociedad Metalúrgica de AIME 1985
46. Aceros de Colada Continua
R.D. Pehlke
Ed. Ann Arbor, 1985.
47. Reporte de Técnicas de Nippon Steel
T. Haribuchi, 1978
48. Efectos del Hierro Activo y Presión de Oxígeno en la
Transferencia de Cu y Fe en escorias de Fayalita a 1200°C
T. Nakamura, B. Chon, J.M. Toguri
Universidad de Toronto Canada, 1990.
49. Analisis de Efecto Bauschinger
P.S. Bafe and D.V. Wilson
Acta Metalúrgica Vol. 43, No. 6, 1986
50. Reversibilidad en el Trabajo de Esfuerzo en Aceros
Esferoidizados
D.V. Wilson and P.S. Bafe
Acta Metalúrgica Vol. 34 No. 6, 1986
51. Efectos de la Microestructura en Fracturas por Hendidura
en Aceros Vessel
P. Bowen, S.G. Druce and J.F. Knott
Acta Metalúrgica, Vol. 34 No. 6, 1986
52. El Rol del Esfuerzo en Fracturas
R. Thompson, M.T.J. Chuang and I.H. Lin
Acta Metalúrgica, Vol. 34, No. 6, 1986
53. Transporte de Dislocaciones de Hidrógeno en Monocristales
de Hierro
C. Hwang and I.M. Bernstein
Acta Metalúrgica, Vol. 34, No. 6, 1986

54. El Efecto del Esfuerzo en Dislocaciones de Hidrógeno Inducidos en Monocristales de Hierro
C. Hwang and I.M. Bernstein
Acta Metalúrgica, Vol. 34, No. 6, 1986
55. Manual Colada Continua Danieli
Por Danieli Italiana, 1982.
56. Influencia de la Colada Continua en el Proceso de Acería Eléctrica y en otros Procesos de Aceración
J.E. Medley and E. Butler
ILAF 1975
57. Uso del Fierro Esponja en H y L en Acería Eléctrica y su Ventajas en la Colada Continua
David Yañes
ILAF 1975
58. La Metalúrgia del Vacío como Ayuda y Complemento de los Hornos Eléctricos
José María Palacios
59. Manual de Producción de Fierro Esponja H y L
Por tubos de Acero de México 1987
60. Manual de Tecnología Alpine para Colada Continua
Poe Alpine American Corp. 1987
61. Manual Fabricación de Plantas de Colada Continua
Por Amoco Fabrics Company USA 1988
62. Construcción de la Planta más Moderna del mundo en Colada Continua TAMSA-veracruz, México
Por Highway and Heavy Constructions 1981
63. Catalogo de estructuras Metálicas 88
Por Struers Inc. Suecia 1988

64. Respuestas a preguntas Sobre la Medición de Espesores en Tubería por Métodos no destructivos
Por Unit Process Assembles Inc. 1985
65. Manual Análisis Químico No Destructivo
Por KeveX Co. USA 1987
66. Manual Comparador de Medición Di-Metric Plus
Por optical Gaging Products Inc. 1989
67. Manual Metalografía Óptica
por Buehler LTD USA 1989
68. Manual Durometros Wilson
Por Measurements Systems Inc. 1990
69. Un Tren Laminador es como un Tampano de Hielo
Henri Chatron
Por Oilways International, Vol. II, Núm. 2, 1985
70. Comportamiento de Tubería Drill pipe en Campo
Por Drilling Research Laboratory 1990
71. Colapsabilidad en Tubería de Acero en Campos Petroleros y Mineros
Marcel F. Deguire
Por World Mining 1988
72. Ferroaleaciones en el Acero
Por Minera Autlan 1985
CAMIMEX Minería, Vol. V, Núm. 4
73. La Prensa de Formar más Grande del Mundo
Michael Page
The International Metals and Metalworking Magazine 3/1988
74. Clasificación de Aceros Fortuna
Por Aceros Fortuna 1987

75. Automatización de Pesado en Hornos de Acería
Por Sartorius Alemania 1989
76. Betascope Instrument
Por ICI Twin City International inc. 1989
77. Kevex Analist 6700
Por Kevex Inc. USA 1988
78. Creep/Stress Rupture Testing Systems
Por Applied Test Systems Inc. 1987
79. Cohercitividad en Aceros
Por Intitut Dr. Föster Alemania 1987
80. Survey of Shimadzu Material Testing and Inspection
Machines
Por Shimadzu Co. Kyoto Japon 1990
81. Análisis Instrumental y Petrolero
Por Leco Co. USA 1990
82. Kennametal Milling 87
Por Kennametal USA 1987
83. Advanced Cutting Tool Materials
Por Kennametal USA 1988
84. Kennametal/85 Metal Cutting Tool for Greater Productivity
Kennametal USA 1985
85. Defectos Superficiales en Colada Semicontinua de Barras
de Aluminio de Sección Pequeña
Uribe Hernandez D.
México 1984

86. Fundamentos y Codiciones para una Miniplanta Siderurgica
L.L. Albert Batista
México 1980
87. Colada Continua Avances
For The Metallurgical Society of AIME
Journal of Metals 1983, Enero
88. Metallurgical Slago and Fluxes
J.F. Elliot
Journal of Metals 1985, Marzo
89. Fundamentos de la Metalúrgia de la Olla
R.J. Jruehan
Journal of metals 1985, Marzo
90. Una Perspectiva de los Microaleantes en Aceros
Harry Stuart and Brian L. Jones
Journal of Metals 1983, Abril
91. Aceros de Colada Continua
Por Lukens Steel 1984
92. Barras de Colada Continua
Por Bethlehen Steel USA 1988
93. Tuberia de Acero para Petroleo
Por Carpenter Technology USA 1987
94. Colada Continua es un Prospecto o Problema
Harry E. Chandler
Metal Progress 1983, Octubre
95. Efectos de las propiedades mecánicas de los aceros por el oxígeno residual.
H. Oikawa
ISM Vol. 12, Dic. 83.

96. The refining of Copper from ferrous scrap
I. Jimbo M.S. Sulsky & R.J. Fruehan
ISM august 1988.
97. Effect of Thermo-Mechanical Processing on Mechanical
Properties of Copper Beryllium Age Hardenable Steel Plates.
ABE, KURIHARRA, TAGAWA and TSUKADA.
Transactions ISIJ, Vol 27, 1987.
98. Microstructural aspects of fracture by dimpled rupture.
R.H. Vanstone, T.B. Cox, J.R. Low, Jr. and J.A. Psiuda.
International Metals Reviews 1985. Vol. 30 No. 4.