

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

---



**FABRICACION DE ACERO AL MANGANESO  
AUSTENITICO EN HORNO ELECTRICO  
DE INDUCCION.**



**DEPTO. DE QUÍMICA  
EXAMENES PROP.  
FAC. DE QUÍMICA**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO**  
**P R E S E N T A**

**ANDRES CRUZ MENDOZA**

**México, D. F.**

**1981**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## I N D I C E

	Pag.
INTRODUCCION .....	1
I) GENERALIDADES .....	3
1.1 ESPECIFICACIONES QUIMICAS .....	3
1.2 PROPIEDADES MECANICAS .....	5
1.3 PROPIEDADES FISICAS .....	6
II) INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION .....	8
2.1 CARBONO .....	8
2.2 MANGANESO .....	9
2.3 SILICIO .....	10
2.4 FOSFORO .....	10
2.5 AZUFRE .....	14
2.6 CROMO .....	14
2.7 NIQUEL .....	14
2.8 MOLIBDENO .....	14
2.9 ALUMINIO .....	15
2.10 VOLFRAMIO .....	15
2.11 VANADIO .....	15
2.12 COBRE .....	15
III) TRANSFORMACIONES Y CARACTERISTICAS METALOGRAFICAS .....	17
IV) TRATAMIENTO TERMICO .....	23
V) PROCESO DE FABRICACION .....	31
5.1 MODELO .....	31
5.2 MOLDEO .....	32
5.3 FUSION .....	35
5.4 CONTROL QUIMICO .....	39
5.5 VACIADO .....	41

5.6 DESMOLDEO .....	43
5.7 TRATAMIENTO TERMICO .....	43
5.8 SOLDADURA .....	47
<b>APENDICE .....</b>	<b>49</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>65</b>

## I N T R O D U C C I O N

La presente tesis, no pretende desarrollar un verdadero tratado sobre el acero al manganeso austenítico ni sobre el horno eléctrico de inducción, sino mas bien el de mostrar sus propiedades y características, describiendolo de un modo práctico, tal como se lleva a cabo en una compañía fundidora.

En Gran Bretaña, en el año de 1883 se le concedió a Robert Hadfield la patente inglesa No. 200 por sus trabajos en metalurgia y desarrollos de una serie de experimentos que culminaron con el descubrimiento del acero al manganeso.

El acero al manganeso austenítico es referido algunas veces como acero al manganeso Hadfield debido a su inventor, y tambien es frecuentemente mencionado como "acero alto manganeso".

Desde ésta fecha hasta nuestros días, se ha seguido investigando tanto en sus propiedades como en su proceso de fabricación. Sin embargo, con ligeras variantes, practicamente no ha sufrido cambios importantes.

La composición nominal básica de éste acero es de 1.20 %C y 12.0 %Mn, acero que por tratamiento térmico queda en condición austenítica estable a la temperatura ambiente.

Estos aceros tienen características de endurecimiento por trabajado en frío. La dureza brinell del acero ya templado es de 180 - 200. Ya en servicio y trabajando en frío, presenta una dureza de la superficie trabajada de 450 - 550 brinell.

Las características y propiedades más importantes que posee este acero después de su temple al agua, son: Su tenacidad y ductilidad, la capacidad de endurecimiento de su superficie por el trabajo en frío y el de mantener un carácter no magnético.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

El término "Acero al Manganeso" significa una aleación de hierro, manganeso y carbono, conteniendo generalmente de 10 - 14 %Mn y de 1.0 - 1.4 %C.

#### 1.1 Especificaciones Químicas.

Las especificaciones químicas requeridas por la A.S.T.M. A - 128 - 64 son las siguientes:

TABLA I

GRADO	%C	%Mn	%Si	%P	%Cr	%Ni	%Mo
A	$\frac{1.05}{1.35}$	$\frac{11.0}{\text{Mín.}}$	$\frac{1.0}{\text{Máx.}}$	$\frac{0.07}{\text{Máx.}}$	-	-	-
B-1	$\frac{0.90}{1.05}$	$\frac{11.5}{14.0}$	$\frac{1.0}{\text{Máx.}}$	$\frac{0.07}{\text{Máx.}}$	-	-	-
B-2	$\frac{1.05}{1.20}$	$\frac{11.5}{14.0}$	$\frac{1.0}{\text{Máx.}}$	$\frac{0.07}{\text{Máx.}}$	-	-	-
B-3	$\frac{1.12}{1.28}$	$\frac{11.5}{14.0}$	$\frac{1.0}{\text{Máx.}}$	$\frac{0.07}{\text{Máx.}}$	-	-	-
B-4	$\frac{1.20}{1.35}$	$\frac{11.5}{14.0}$	$\frac{1.0}{\text{Máx.}}$	$\frac{0.07}{\text{Máx.}}$	-	-	-
C	$\frac{1.05}{1.35}$	$\frac{11.5}{14.0}$	$\frac{1.0}{\text{Máx.}}$	$\frac{0.07}{\text{Máx.}}$	$\frac{1.50}{2.50}$	-	-
D	$\frac{0.70}{1.30}$	$\frac{11.5}{14.0}$	$\frac{1.0}{\text{Máx.}}$	$\frac{0.07}{\text{Máx.}}$	-	$\frac{3.0}{4.0}$	-
E-1	$\frac{0.70}{1.30}$	$\frac{11.5}{14.0}$	$\frac{1.0}{\text{Máx.}}$	$\frac{0.07}{\text{Máx.}}$	-	-	$\frac{0.90}{1.20}$
E-2	$\frac{1.05}{1.45}$	$\frac{11.5}{14.0}$	$\frac{1.0}{\text{Máx.}}$	$\frac{0.07}{\text{Máx.}}$	-	-	$\frac{0.80}{2.10}$

La especificación ASTM A - 128 - 64 contiene nueve gra dos, todos contienen manganeso de 11.0 - 14.0% pero con va riación de contenidos de carbono dependiendo del contenido presente en la aleación. Cualquiera de los elementos Cromo, Niquel y Molibdeno puede ser aleado con el manganeso.

Dentro de estas especificaciones químicas, cada fabricante selecciona la composición que más le conviene de acuerdo a lo que pide el cliente; así, una composición que dá muy buenos resultados para uso general, es la siguiente:

<u>%C</u>	<u>%Mn</u>	<u>%Si</u>	<u>%P</u>	<u>%S</u>
<u>1.10</u>	<u>12.50</u>	<u>0.50</u>	<u>0.06</u>	<u>0.05</u>
<u>1.20</u>	<u>13.50</u>	<u>0.80</u>	<u>Máx.</u>	<u>Máx.</u>

El margen usual de composición para los aceros al mangne so austeníticos no incluye todas las composiciones posibles que se muestran en los diagramas de constitución. Como se ve rá posteriormente.

Los aceros más usuales de éste tipo están reservados a a aquellos que son completamente austeníticos después de templa dos en agua fría desde una temperatura de alrededor de los 1000 °C.

La austenita, se considera como una solución sólida de carbono en hierro  $\gamma$  , cúbico de caras centradas que puede di solver carbono y otros elementos de aleación. En el diagrama Fe - C a 1130 °C la austenita puede disolver un máximo de carbo no del 1.9%. El hierro  $\gamma$  no es magnético y conduce al ca lor y a la electricidad en grado menor que el hierro  $\alpha$  .

La austenita, forma parte de la vida de los aceros, pero no siempre existe en ellos en su forma definitiva, debido en tre otras cosas, a la velocidad de enfriamiento, lo que origini



na que ésta se transforme en sorbita ó martensita para estos aceros. Para evitarlo, es necesario que el acero sea alto en carbono, que el temple del acero sea de 1000 °C ó más de temperatura y que el enfriamiento sea rápido para lograr la mayor cantidad de austenita.

Los aceros austeníticos contienen mayor cantidad de carbono, es decir, se encuentra en la división de aceros hipereutéctoides, este es el carbón necesario para formar  $\text{Fe}_3\text{C}$  y también, probablemente, mezclas isomórficas con el carbono. A elevadas temperaturas esos carbonos se disuelven en hierro  $\delta$  y quedan retenidos en solución, mediante un enfriamiento rápido.

1.2 En las tablas II se muestra algunas propiedades mecánicas.

TABLA II

PROPIEDADES MECANICAS

ESTADO	RESISTENCIA A LA TRACCION Mpa	LIMITE ELASTICO Mpa	ALARG. EN 5cm %	REDUC. DE AREA %	DUREZA BRINELL	IMPACTO IZD CHAP
Bruto de Fundición	Q41 - Q48	-	1.0	-	220	- -
Templado	Q69 - 1.0	Q35 - Q39	30 - 65	30 - 40	170 - 210	100 90

PRUEBA DE DOBLADO:

(Barra Templada de 3/4 x 1/2 x 12") .... 120° sin agrietarse

(Barra forjada de 3/4 x 1/2 x 12") ..... 180°

COMPRESION ..... 5 496.6 Mpa sin ruptura, con una deformación plástica del 50 - 55%.

### 1.3 Propiedades Físicas.

La contracción del acero al manganeso es más grande que la de los aceros al carbón en aproximadamente 1/16" por pie para la misma aplicación, por lo tanto, esto es necesario to marlo en cuenta al construir el diseño para el modelo. Este factor, junto con la combinación de la alta expansión térmica, la baja conductividad térmica y la baja ductilidad en el estado bruto de fundición, hace de éste una designación en la cual, los clientes deben quedar de acuerdo con los productores de acero al manganeso austenítico sobre el diseño propio y cons trucción del modelo.

El endurecimiento por el trabajo es producto de la defor mación durante el trabajo en frío. El endurecimiento por el trabajo de un acero alto manganeso puede ser aplicado antes de ponerlo en servicio. Endurecimientos efectivos son producidos por una ó varias explosiones en la superficie del acero usando una ó varias hojas de explosivo plásticos adheridas a la super ficie del acero con algún cemento. El preendurecimiento es e minentemente útil para fundiciones, las cuales no son fácilmen te endurecidas por impacto durante servicio.

El acero al manganeso austenítico es virtualmente no mag nético, con una permeabilidad alrededor de 1.03 ó menor ( $H=24$ ). Esto permite el uso de un material donde se requiere un metal fuerte, duro y no magnético.

El acero al manganeso austenítico es el material más fuer te y económico para partes no magnéticas. El costo de produc ción y una máxima temperatura de operación de 270 °C debe ser considerada en ésta selección.

Una modificación de la composición nominal de un acero alto manganeso para usos en servicios no magnéticos, donde es deseable maquinabilidad, es tener bajo contenido de carbono y contenidos de níquel y manganeso como en el acero de la siguiente composición: 0.20 %C, 10.0 %Mn y 7.0 %Ni.

En la tabla III se muestran algunas constantes físicas;

### TABLA III

#### CONSTANTES FISICAS

Peso Específico .....	7.9 a 15 °C
Densidad .....	12.82 gr/cm <sup>3</sup>
Temp. Líquidus .....	1 350 °C
Punto Fusión .....	
Temp. Solidus .....	1 400 °C
Calor Específico .....	0.61 Joules
Conductividad Térmica .....	Baja (2.3 veces menor que el Cu a 100 °C) 0.031
Coefficientes de expansión térmica ....	Muy alta
Permeabilidad magnética .....	1.003-1.03 (H=24)
Permeabilidad magnética (Sup. Descarb.)	1.3 ó mayor
Cap. de endurecimiento por el trabajo	170-200 a 450-550 Brinell

## CAPITULO 2

### INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACION

#### 2.1 CARBONO

El contenido de carbono puede variar ampliamente dependiendo del tipo de pieza y trabajo que va a efectuar.

1.0-1.10% : Se utiliza en piezas con secciones gruesas (10-13cm) o de formas complicadas.

1.10-1.20%: Las piezas poseen buena ductilidad y resistencia al desgaste, con poca tendencia a las fracturas durante el tratamiento térmico.

1.20-1.30%: Posee mayor resistencia al desgaste, las secciones de las piezas deben ser uniformes.

El contenido de manganeso debe ser alto y el silicio bajo.

Favorece la precipitación de carburos tanto acjculares como intergranulares.

1.30-1.40%: Mayor resistencia a la abrasión pero a costa de la ductilidad.

Se producen fuertes microsegregaciones, excesivas costras durante el tratamiento térmico.

Es más difícil retener el carbono en solución despúés del temple.

La sobresaturación del carbono hace que el acero sea inestable cuando se le recalienta, por la difusión de carbono.

Se ha encontrado que la relación óptima de manganeso - carbono es igual a 10.

## 2.2 MANGANESO

La influencia del manganeso es de suma importancia para mantener la condición austenítica después del temple. Entre sus efectos se pueden mencionar los siguientes:

- a.- El manganeso aumenta la sensibilidad al sobrecalentamiento y contribuye a la fragilidad de revenido.
- b.- Apenas reduce la solubilidad del carbono.
- c.- Hace más estable a la austenita.
- d.- Hace descender fuertemente la temperatura de transformación de la reacción austenita - ferrita.
- e.- No forma compuestos de bajo punto de fusión ó frágiles.
- f.- No afecta adversamente a la deformación plástica a la temperatura ambiente.
- g.- El alargamiento y la resistencia a la tracción aumentan con el contenido de manganeso. Fig. 1 .
- h.- La dureza brinell (aplicando una carga de 3 000 Kg) decrece cuando el contenido de manganeso aumenta.

Fig. 2 .

El contenido óptimo de manganeso está entre el 12 - 13%. Los contenidos más altos hasta el 20% de Mn, apenas afectan a las propiedades mecánicas y la solubilidad del carbono no aumenta. Contenidos abajo del 11 Mn reducen la ductilidad y la resistencia.

La influencia del contenido en la resistencia a la abrasión del acero al manganeso austenítico con varios contenidos de carbono y otros elementos de aleación son expuestos en la Fig. 3.

El factor de abrasión se toma dando el valor de 100 co

no estandar a un acero Cr - Mo martensítico de la siguiente composición: 1.0 %C, 6.0 %Cr y 1.0 %Mo, y se calcula por el porcentaje de la relación de pérdida en peso del acero al manganeso austenítico en comparación con el acero Cr - Mo martensítico.

En todos los casos, el incremento en el contenido de manganeso y carbono produce mejoramiento en la resistencia a la abrasión.

### 2.3 SILICIO

El contenido de silicio puede variar 0.30% - 1.0% ya que se ha observado que no produce efectos apreciables sobre las propiedades mecánicas.

Normalmente se agrega solo en las cantidades necesarias para obtener una buena desoxidación. Con altos contenidos de silicio, el carbono que está disuelto en la austenita tiende a precipitarse en forma de carburos ó perlita. Hasta un 2% produce un ligero aumento en el límite elástico. Con más del 2% causa fragilidad. Durante la solidificación se segrega fuertemente.

### 2.4 FOSFORO

El contenido de fosforo depende de la pureza del ferro manganeso usado y es generalmente alrededor de 0.07%.

Se admite como máximo un contenido de 0.10%; sin embargo es aconsejable mantenerlo lo más bajo posible, alrededor de 0.05-0.06% para evitar la tendencia a la formación de grietas en caliente, sobre todo en piezas con secciones gruesas.

FIG. 1

RELACION ENTRE LA RESISTENCIA A LA TRACCION Y EL ALARGAMIENTO CON EL CONTENIDO DE MANGANESO.

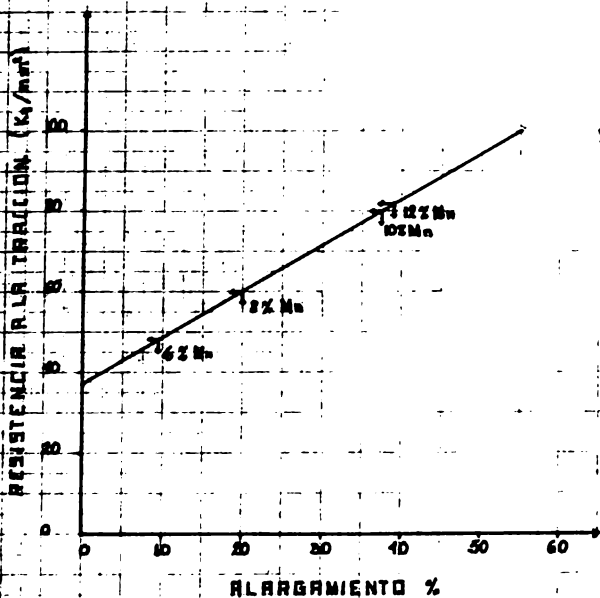


FIG. 2

INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE MANGANESO EN LA  
DUREZA BRINELL CON 1.2 %C.

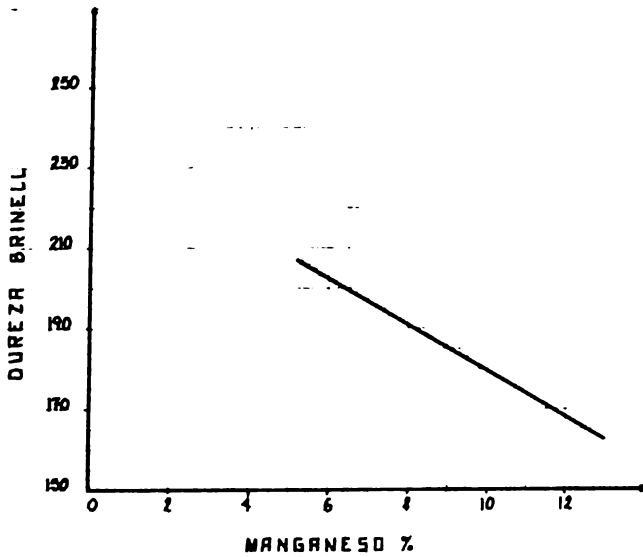
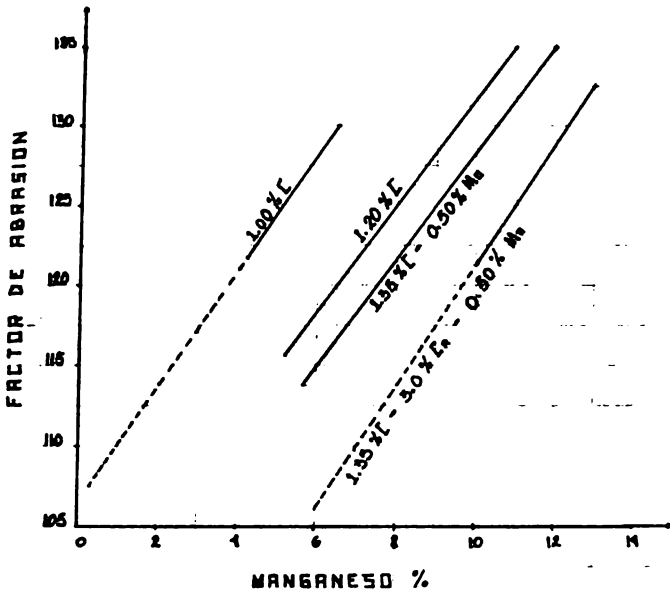




FIG. 3



INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE MANGANESO EN EL FACTOR DE ABRASION  
DE ACEROS AUSTENITICOS CON VARIOS CONTENIDOS DE CARBONO  
Y ALIANTES.

## 2.5 AZUFRE

No causa problemas pues siempre es muy bajo, combinando se con el manganeso para formar sulfuros, los que mayormente pasan a formar parte de la escoria.

Unos ligeros sulfuros residuales en el acero, en forma de inclusiones, no tienen efecto alguno sobre las propiedades del acero.

## 2.6 CROMO

La adición de cromo hasta un 3%, reduce la capacidad necesaria de deformación requerida para aumentar la dureza. Reduce la ductilidad, aumentando la resistencia a la abrasión. Con altos contenidos en carbono, pueden quedar después del temple algunos carburos libres.

## 2.7 NIQUEL

Incrementa la ductilidad pero al mismo tiempo baja la tenacidad. Reduce los puntos críticos de transformación durante el enfriamiento, así como la fragilidad durante el calentamiento por soldadura.

Cuando se emplea el niquel puede reducirse el contenido en carbono hasta un 0.90%.

## 2.8 MOLIBDENO

En cantidades hasta un 2% aumenta la resistencia a la rotura sin perjudicar la ductilidad. Retarda la descomposición de la austenita grandemente durante los enfriamientos continuos ó isotérmicos, lo que facilita el tratamiento térmico de

las piezas con secciones gruesas o con carbonos altos, evitando la fragilidad durante el calentamiento.

En la fig. 4 se muestran los efectos que producen el niquel, romo y molibdeno en las propiedades de tensión de un acero al manganeso austenítico templado en agua desde la temperatura de austenización (1080 °C).

## 2.9 ALUMINIO

Tiene influencia sobre el endurecimiento con pérdida de ductilidad. Con 1-3% se ha encontrado un ligero endurecimiento con pérdida de ductilidad. El empleo de Ni - Al como en los aceros inoxidable para el endurecimiento por envejecimiento no parece ser factible para el acero al manganeso, con la formación de carburos muy frágiles.

## 2.10 VOLFRAMIO

En menor grado que el molibdeno, produce una dispersión de los carburos, mejorando la resistencia a la abrasión, con una temperatura relativamente baja de austenización.

## 2.11 VANADIO

Aumenta rápidamente el límite elástico reduciendo la ductilidad. Produce carburos insolubles cuando se austeniza a 996 °C aumentando la dureza.

## 2.12 COBRE

Es análogo al níquel, pero en cantidades próximas al 1% es perjudicial, produce microsegregaciones que reducen la ductilidad del acero y lo hace más sensible al calor.

**EFECCO DEL NIQUEL, CROMO Y MOLIBDENO EN LAS PROPIEDADES DE TENSIÓN DE UN ACERO AL MANGA FIERO AUTÉNTICO, TRATADO DESDE UNA TEMPERATURA DE 1083°C.**

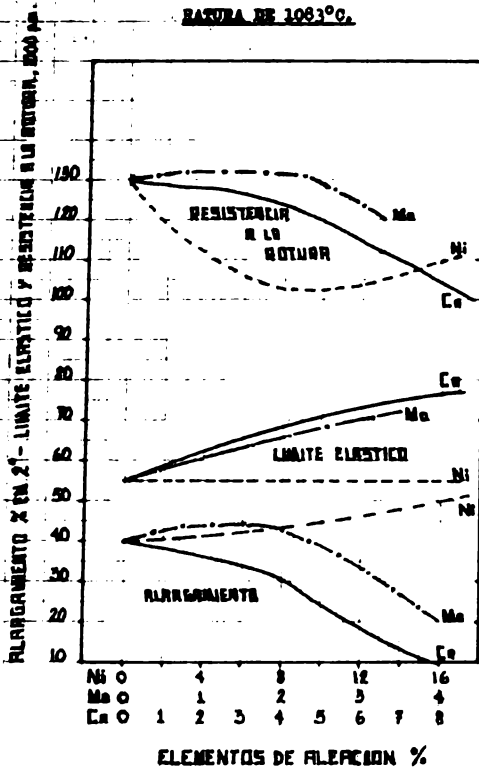


FIG. 4

### CAPITULO 3

#### TRANSFORMACIONES Y CARACTERISTICAS METALOGRAFICAS

El comportamiento del acero al manganeso en cuanto a su tenacidad por un templado desde alta temperatura y la fragilidad provocada por el revenido, es totalmente contraria a lo que ocurre con otros aceros.

En la sección correspondiente al diagrama Fe - Mn - C, con un contenido de 13 %Mn, Fig. 5, se puede ver que el contenido de carbono eutectoide es de 0.3% y que la temperatura correspondiente al punto de transformación Ae es de unos 600 °C, aumentando a 630 °C cuando el contenido de carbono aumenta.

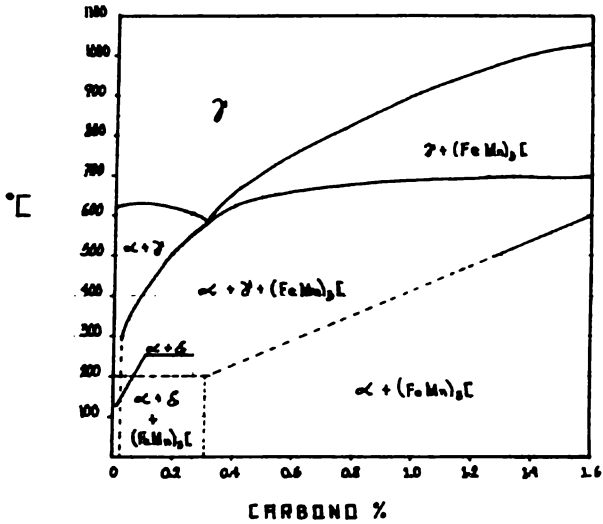
Con un 13 %Mn la temperatura del punto de transformación Acm aumenta con el contenido de carbono, pasando de 600 °C con 0.37% a 1000 °C cuando llega a 1.4 %C.

Con un contenido constante de 1 %C Fig. 6 la temperatura del punto de transformación Ae desciende bruscamente de 725°C sin manganeso a cerca de 450 °C con 20 %Mn, al mismo tiempo, la temperatura del punto de transformación Acm, se mantiene entre 800 - 880 °C arriba de los rangos de manganeso hasta el 20%.

En los aceros al manganeso normales la temperatura eutectoide es de 650 - 670 °C.

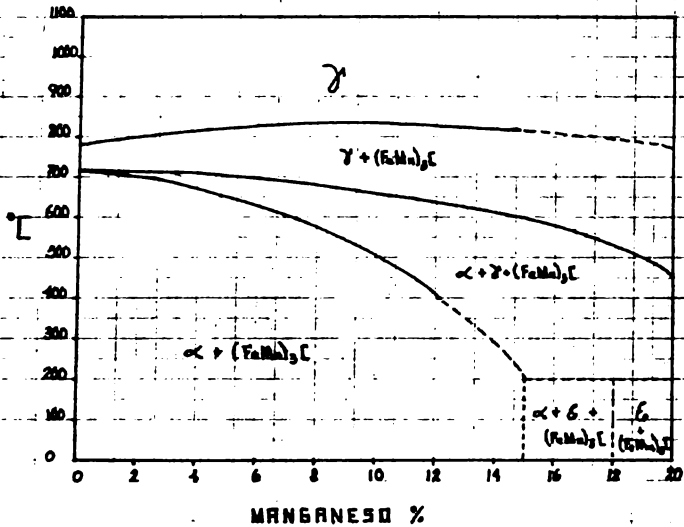
Aunque estos son diagramas de equilibrio, y estos aceros son la excepción para las condiciones de equilibrio, pueden en la practica ayudarnos a interpretar las estructuras de los aceros al manganeso comerciales.

FIG. 5



SECCION DEL DIAGRAMA Fe - Mn - C CON 1.1 %Mn

FIG. 6



SECCION DEL DIAGRAMA Fe - Mn - C CON 1 %C.

La tendencia del manganeso a retardar las transformaciones en los procesos térmicos ya que, disminuye las velocidades críticas de enfriamiento del acero, hace que se obtenga una condición totalmente austenítica.

Como resultado de esto, la estructura normal de los aceros al manganeso a temperatura ambiente, cuando se han templado al agua desde la temperatura de austenización  $\pm 40$  °C está formada por un solo constituyente, la austenita, en la que se encuentra disuelto el exceso de carbono.

Es necesario para ello, que el enfriamiento desde la temperatura de austenización sea rápido para poder mantener el carbono en solución.

La velocidad de enfriamiento desde temperaturas arriba de la temperatura de austenización ( $T_f \pm 40$  °C) debe ser más alta que la velocidad crítica de enfriamiento, para mantener el carbono en solución y retener la condición austenítica.

Así, con velocidades de enfriamiento más bajas que la velocidad crítica para la retención del carbono en solución y más altas que la necesaria para evitar la temperatura de transformación en el punto crítico  $A_r$ , se precipitan carburos en los límites de los granos, provocando con ello la fragilidad, con poco efecto sobre la dureza y pérdida de la condición no magnética.

Con una velocidad de enfriamiento baja, más baja que la velocidad de enfriamiento necesaria para evitar la temperatura de transformación  $A_r$  ( $V_c$ ) a temperaturas entre los puntos críticos de transformación  $A_{cm}$  y  $A_r$ , provocan la precipitación de carburos en los granos y los límites de los mismos, y abajo del punto crítico de transformación  $A_r$  algo de la austenita  $p_2$



sa a perlita. La cantidad de transformación aumenta cuando la velocidad de enfriamiento decrece. En estas condiciones el acero es magnético y bastante más duro que después del temple y muy frágil.

La transformación isotérmica del acero al manganeso austenítico se produce entre  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  y el punto crítico  $A_r$  con la producción de estructuras de carburos aciculares, carburos libres y perlita.

La estructura resultante del enfriamiento en agua, desde la temperatura de austenización, es estable hasta temperaturas abajo de  $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pero en recalentamientos a altas temperaturas, hasta un valor por debajo de la temperatura de transformación eutectoide  $A_e$ , el carbono se precipita de la solución sólida  $\gamma$ , formando perlita, con efectos sobre la tenacidad, dureza y magnetismo.

Recalentando entre  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$  y el punto crítico  $A_r$  se produce una transformación similar como resultado del tratamiento isotérmico a las mismas temperaturas.

La velocidad de enfriamiento de este recalentamiento no es importante, ya que no hay transformación de la austenita en el acero.

Una transformación completa de la austenita, en otros casos puede requerir tiempos muy largos.

El recalentamiento de un acero al manganeso totalmente austenítico a temperaturas entre los puntos críticos  $A_e$  y  $A_{cm}$  hace que se precipiten carburos libres. La cantidad de éstos disminuye cuanto más se acerque la temperatura al punto crítico  $A_{cm}$ . Un enfriamiento suficientemente rápido desde esta temperatura, evita la precipitación de los mismos por la transfor

mación austenítica que es necesaria para mantenerlos en solución a temperatura ambiente.

Los cambios estructurales que ocurren durante este recalentamiento son muy complejos ya que puede producirse la precipitación de carburos y la transformación de la austenita puede ocurrir separadamente.

## CAPITULO 4

### TRATAMIENTO TERMICO

El acero al manganeso austenítico en el estado bruto de colada no es un material duro. Para fortalecerlo se le da un tratamiento térmico, que es en principio muy simple; con siste en calentar las piezas y llevarlas a una condición to talmente austenítica y enfriarlas rápidamente.

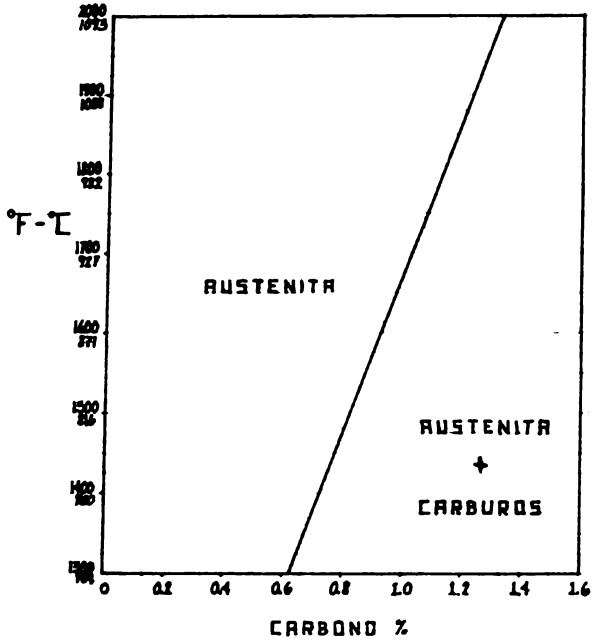
El acero es fortalecido y hecho duro por calentamiento en el rango de temperatura de 990 - 1083 °C seguido de un templeado en agua. El resultado de éste tratamiento térmico ha sido el de retener todos los carburos en solución sólida, cuando la composición del acero está dentro de los límites correctos, produciendo una estructura austenítica uniforme y un alto grado de dureza.

Ahora bien, si la sección de la pieza es demasiado grue sa ó el contenido de carbono es demasiado alto, algunos car buros precipitados puede tomar lugar durante el período de enfriamiento, el cual resultaría en un decrecimiento en los valores de algunas propiedades del acero.

Una adición de 3.0 - 5.0 %Ni a la composición estandar del acero al manganeso austenítico traería consigo, hacer u na reducción en el contenido de carbono inferior a 0.80 %C, siendo posible obtener una estructura austenítica con esas secciones con unicamente un tratamiento de normalizado.

En la fig. 7 se presenta la línea de solubilidad del car bono. En ella se puede observar que con una temperatura de austenización muy alta se puede permitir el empleo de 1.30-1.50 %C, pero hay algunos factores prácticos que indican se

FIG. 7



SOLUBILIDAD DEL CARBONO EN UN ACERO CON 1.3 %

produce fuerte microsegregación si se utilizan éstos contenidos de carbono, provocando una incipiente fusión que limita la habilidad de retener al carbono en solución. Resultado de ésto son las excesivas costras en las piezas de fundición.

El tiempo mínimo requerido en la práctica para alcanzar una completa austenización en las piezas, depende de varios factores:

- a) El tamaño de los carburos en el estado bruto de colada.
- b) La temperatura de austenización ( $T \gamma \pm 50 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).
- c) La uniformidad de la temperatura de austenización en las piezas.
- d) El tiempo de permanencia de las piezas a esa temperatura de austenización.

En la práctica normal, es usual que el tiempo de permanencia del acero a la temperatura de austenización sea de 1 hr/25mm de la sección más gruesa, presumiendo el conocimiento de que las piezas han alcanzado la temperatura prevista.

Cuando se calienta el acero hasta la región austenítica para austenizar el metal, la estructura de baja temperatura que se transforma a la fase gamma es, en general, un agregado de cementita y ferrita (esto es, perlita, o martensita descompuesta). En esta transformación inversa, los granos de austenita se forman por nucleación y desarrollo; los nucleos se forman heterogéneamente en las intercaras cementita-ferrita. Debido a la gran area interfacial disponible para nucleación, el número de granos de austenita que aparecen es usualmente grande. La transformación del acero por calentamiento, por tanto, se caracteriza inicialmente por un tamaño de grano austenítico pequeño. Sin embargo, en la zona austenítica, los

movimientos térmicos de los átomos son lo suficientemente rápidos para causar el desarrollo de los granos, por lo que tiempos prolongados y temperaturas elevadas en la zona austenítica son capaces de aumentar mucho el tamaño de los granos de austenita iniciales.

El tamaño de los granos de austenita que se obtiene antes que se enfríe un metal de nuevo a la temperatura ambiente es importante en la determinación de cierto número de propiedades físicas de la estructura final, incluyendo la respuesta del acero al temple.

El tamaño de grano final de las piezas, normalmente oscila entre 0.003 - 0.005".

La influencia del tamaño de grano en las propiedades mecánicas es como en los aceros ferríticos. Un tamaño de grano fino favorece la ductilidad y la resistencia a la fractura. El tamaño de grano favorece la oxidación intergranular, provoca poca resistencia al calor y reduce la ductilidad.

En la práctica, es necesario introducir lo más rápidamente las piezas en el agua, para evitar la precipitación de los carburos y la formación de perlita.

Todos los carburos indeseables que precipitan durante el enfriamiento abajo del punto de transformación Acm, provocan nucleación y desarrollo de ellos mismos. Esto ha sido demostrado al retardar el grado de enfriamiento abajo de la temperatura de 870 °C antes de templar y se ha visto que no produce efectos perjudiciales sobre la ductilidad.

Esto es debido, indudablemente, al bajo porcentaje de carburos que precipitan en el intervalo de temperaturas del punto de transformación Acm y 870 °C.

Los diagramas tiempo-transformación-temperatura, diagramas TTT, muestran las líneas de comienzo y fin de la transformación de la austenita y son válidos para una sola composición del acero. En ellos se diferencian regiones de austenita estable e inestable, se indica el tipo de estructura en que se transforma la austenita a cada temperatura y se pueden decir los tiempos que debe permanecer a éstas para que la transformación termine.

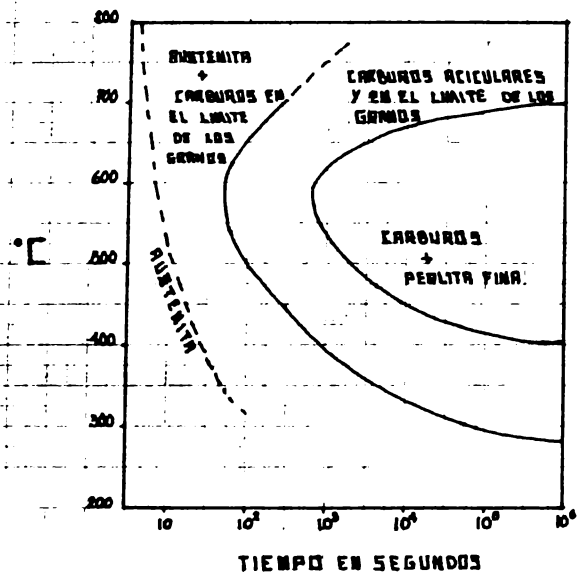
Conociendo el diagrama TTT respectivo al acero de las piezas con una composición específica, se pueden determinar todas las condiciones necesarias para el proceso del tratamiento térmico, tales como las duraciones o las temperaturas, y las propiedades que se conseguirán. Cuando las curvas de comienzo de transformación están próximas al eje de temperaturas será necesaria una alta velocidad de enfriamiento para conseguir una transformación completa y ésta se consigue con un templado en agua. Pero si las curvas de comienzo de transformación están desplazadas muy a la derecha, a tiempos de permanencia muy largos, puede bastar, para conseguir una transformación en toda la sección, el enfriamiento en aceite ó al aire.

Además, los diagramas TTT permiten conocer con claridad el efecto de los elementos de aleación sobre el comportamiento de la austenita frente a la transformación.

Las curvas de transformación-tiempo-temperatura (curvas TTT) para dos aceros al manganeso austeníticos son ilustrados en las figs. 8 y 9. El diagrama de la fig. 8 es de un acero estandar con 12 Mn y el de la fig. 9 es con 14 Mn y 2 Mo.

Se puede observar, que el molibdeno produce un período más largo de incubación antes de la precipitación de indesea

FIG. 8



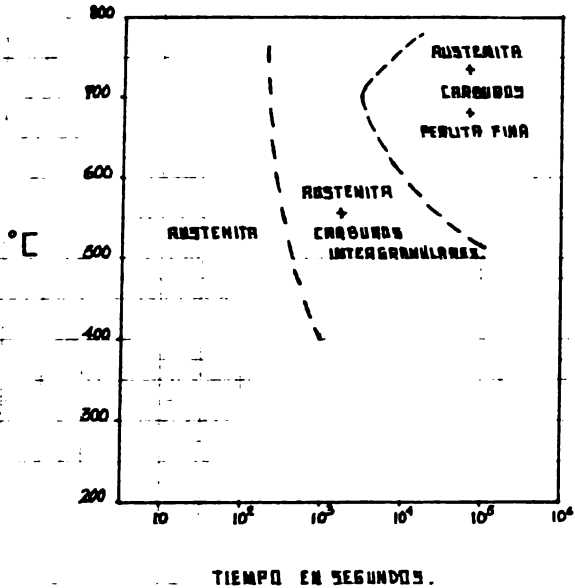
CURVA TTT DE UN ACERO AL MANGANESO CON 1.28 %

12.4 %Ni, 0.28 %Mn Y 0.23 %C CON TAMAÑO DE GRA

NO DE 5 - 6.



FIG. 9



CURVA TTT DE UN ACERO AL MANGANESO CON 1.20 %C,  
14 %Mn Y 2.0 %Si, AUSTENIZADO A 1083°C CON TAMA  
ÑO DE GRANO DE 5 - 6.

bles carburos intergranulares y transformaciones en perlita fija. Por lo tanto, el molibdeno presente en piezas con sec ciones gruesas lo vuelve quebradizo. Otros elementos, como el níquel, incrementa la estabilidad de la austenita y el cro mo no influye en las transformaciones cinéticas pero favorece la formación de martensita a bajos porcentajes de carbono.

Los productos de la descomposición de la austenita son:

- a) Carburos intergranulares (en forma de película)
- b) Perlita
- c) Carburos aciculares dentro de los granos.

Los carburos intergranulares (en forma de película) pro cedan de otros productos que se dan en el intervalo entre la temperatura de transformación Acm a 260 °C.

La perlita es formada por nucleación y crece en los lími tes de los granos, pero después por nucleación de carburos a ciculares se forma dentro de los granos.

Aunque los constituyentes que provocan fragilidad en el acero al manganeso son mejor estudiados por medios isotérmicos, ellos realmente se forman durante enfriamientos lentos o reca lentamientos, por eso, prácticas de recalentamiento para endu recimiento de reparaciones, soldadura y relevo de esfuerzos, deben ser evitados al máximo.

Temperaturas de recalentamiento arriba de los 260 °C pro duce fragilidad, aunque esto puede ser retardado por un bajo contenido de carbono y ciertos aleantes.

La regla principal en los procesos de soldadura es la de utilizar la mínima temperatura.

## CAPITULO 5

### PROCESO DE FABRICACION

A continuación se mostrará como es prácticamente la fabri  
cación de un acero al manganeso austenítico en una pequeña com  
pañía fundidora, de la cual se tratarán los problemas inheren  
tes.

#### 5.1 MODELO

Para la construcción del modelo, se deberá considerar un aumento de 5/16" por pie para la contracción, ya que la con  
tracción del acero al manganeso austenítico es más grande que en los aceros al carbón en aproximadamente 1/16" por pie para la misma aplicación. Este factor, junto con la combinación de la alta expansión térmica, la baja conductividad térmica y la baja ductilidad en el estado bruto de colada, hace de éste un factor determinante. Por lo tanto, esto es necesario tomar  
lo en cuenta al construir el diseño del modelo.

Si el número de piezas que se va a fabricar es alto, es conveniente que el modelo sea metálico, por ejemplo de alumi  
nio; aunque es más caro, se puede considerar más eficiente, ya que el continuo trabajo con un modelo de madera, traerá con  
sigo problemas, como la deformación de medidas, destrucción de esquinas y hay veces que se llega a destruir completamente el modelo por el mal uso del moldeador.

Es necesario evitar los ángulos por medio de radios lo más grandes posibles, para evitar grietas durante la solidi  
ficación.

## 5.2 MOLDEO

De ser posible se utilizarán moldes secos y pintados. Para quitar los restos de humedad que pudieran tener ( cuando se dejan de un día para otro) se pueden espolvorear con cemento y sopleteando con aire para quitar el exceso del mismo.

De los métodos de moldeo utilizados y de la colocación de coladas y respiraderas, es fundamental decir que la experiencia es la más importante en éstos casos, ya que de ella depende el que resulte una buena pieza a expensa de otros factores del metal mismo.

Las cajas para los moldes pueden ser de hierro ó acero, pero los moldes son hechos con arenas silicosas de la mejor calidad, mezcladas con arcillas refractarias y plásticas y líquidos aglutinantes.

Arenas para moldes en verde.

Composición:

Arena nueva .....	120 Kg
Arena negra ó quemada .....	180 Kg
Barro refractario .....	25 Kg
Bentonita .....	10 Kg
Deltabentonita .....	1.5 Kg
Dextrina .....	6 Kg

Se hace la mezcla de los constituyentes en seco y se agrega agua en cantidad suficiente para moldearla.

Pruebas de calidad.

Permeabilidad .....	100 grados
Resistencia a la compresión .....	600 gr/cm <sup>2</sup>
Humedad .....	6% máx.

**Materias primas:**

**Arena nueva. Análisis:**

SiO <sub>2</sub> .....	98%
CaO .....	0.2%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> y FeO .....	1.4%
Punto de reblandecimiento	1650 °C
Indice de finura AFS	40 - 50%

**Barro Refractario. Análisis:**

SiO <sub>2</sub> .....	57.8%
CaO .....	1.1%
FeO .....	1.9%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	30.4%

**ARENA DE AUTOPRAGUADO.**

Son arenas aglomeradas por compuestos químicos orgánicos el cual puede constar de una o más resinas, dependiendo del proceso que se siga, y un catalizador.

El proceso siguiente (Linocure), es el más apropiado para moldear de piezas de acero al manganeso.

Consta de dos partes:

Parte I. Resina "LA"

Parte II. Catalizador "LC"

Como características especiales de ésta resina, podemos citar:

Excenta de agua

Contenido N<sub>2</sub> entre 1.4 y 1.9%

No contiene Fenol

No contiene alcohol furfurílico.

#### Características de Moldeo.

- a) No se pega a las cajas: Esta característica la hace muy aconsejable para modelos difíciles o en mal estado.
- b) Capacidad de aglomerar arenas especiales como olivino, zirconio, etc.
- c) Excelente recuperación por no dejar residuo ácido, por bajo contenido de  $N_2$  y por adaptarse bien a temperaturas altas de la arena.
- d) Aglomera bien arenas con finos e impurezas.
- e) Tiene muy bajo olor, por no ir en su composición ni fenol ni alcohol furfúrico.

#### Composición:

Arena de Sílice	67 AFS
Resina LA	1.5% Base Arena
Catalizador	20% Base Resina

En la tabla IV se muestra una prueba de mezclas, variando el % de la resina "LA".

Las ventajas de éste tipo de moldeo con el moldeo en verde son:

- a) El tiempo empleado en esta operación es mucho menor.
- b) Su resistencia es mejor.
- c) El acabado de las piezas es de superior calidad.

**TABLA IV**

**EFFECTOS POR LA VARIACION DE LA RESINA "LA" CON 20%  
DE CATALIZADOR "LC" Y ARENA DE SILICE 67 APS.**

	<u>Nº 1</u>	<u>Nº 2</u>	<u>Nº 3</u>	<u>Nº 4</u>
Resina "LA"	1.0%	2.0%	1.8%	2.0%
Oxido de hierro	--	--	2.0	2.0
Harina de sílice	--	1.5	3.0	3.0
Acido bórico	--	--	--	2.0
Temperatura de la arena, a la entrada y salida, ( C° )	21°	21°	21°	21°
Tiempo de trabajo en min.	30	25	20	30
Tiempo de desmoldeo en min.	60	50	40	60
Resistencia a la tracción, Kgr./cm <sup>2</sup> . - - 3 horas	3.78	5.67	5.46	4.20
24 horas	13.65	16.66	17.50	18.69
Colapsibilidad (a 1371 °C) en segundos con 11.5 Kg de carga.	25	313	224	107
Resistencia en caliente a 1.371 °C, Kgr./cm <sup>2</sup> .	0.07	3.85	10.01	0.84

### 5.3 FUSION

Se utiliza un horno eléctrico de inducción sin nucleo ó de crisol, con circuito magnético cerrado, básico.

Se supone, se desea obtener un acero de la siguiente composición:

<u>C%</u>	<u>Mn%</u>	<u>Si%</u>	<u>P%</u>	<u>S%</u>
<u>1.10</u>	<u>12.50</u>	<u>0.50</u>	<u>0.06</u>	<u>0.05</u>
1.20	13.50	0.80	Máx.	Máx.

El horno tiene una capacidad de 700 Kg.

En la preparación de la carga se empleará como máximo un 40% de acero al manganeso de retorno (coladas, masarotas, piezas rechazadas y chatarra de acero al manganeso), pues en caso contrario se producen muchos óxidos de manganeso y el acero no sirve. El resto será de acero al carbón con bajo contenido de carbono.

En la tabla V se resume los valores obtenidos al calcular una carga por medio de la siguiente ecuación; tomando en cuenta que no hay aumento ó pérdida por fusión.

$$\% \text{ Elemento} = \frac{\text{Kg elemento en el horno} \times 100}{\text{Capacidad del horno (Kg)}}$$

Para ajustar la carga con las ferroaleaciones de los elementos que no están dentro de la composición requerida se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Kg Ferroaleación} = \frac{\text{Cap. del horno (Kg)} \times \% \text{ elemento faltante}}{\% \text{ Ferroaleación.}}$$

Si el horno ha sido apisonado recientemente o sea, que tiene refractario nuevo, primero hay que sinterizar el refractario (junto con la carga metálica) ya que no puede sufrir grandes esfuerzos a temperaturas menores de 810 °C debido a las transformaciones cristalinas en él.

Si ésto sucediera, resultarán fracturas o agrietamientos en el refractario, penetración del metal y por último, la falla del recubrimiento. Pero si el horno ya ha sido trabajado (como consecuencia, el refractario ya está sinterizado), entonces



TABLA V

MATERIALES CARGADOS	%	Kg	CARBONO		MANGANESEO		SILICIO	
			%	Kg	%	Kg	%	Kg
RETORNO	40	250	1.30	3.25	13.00	32.50	0.60	1.50
Ac. BAJO CARBONO	60	400	0.10	0.40	0.50	2.0	0.35	1.40
TOTALES Kg		650		3.65		34.50		2.90
TOTALES %	100		0.56		5.31		0.45	
FeMn: 6.7% C - 80% Mn		61.0	0.62		7.50			
FeSi: 80%		1.200					0.15	
ANALISIS CARGA			1.18		12.81		0.60	
ANALISIS OBTENIDO (FINAL)			1.20		12.60		0.58	

ces es recomendable dejar metal líquido dentro de él para facilitar la fusión de los materiales de carga, así como ferroaleaciones.

El buen funcionamiento de los hornos y en especial del refractario, depende en gran parte del buen uso que le dé el hornero y del mantenimiento general de todas sus partes, que al fin y al cabo éste reeditará en una mínima pérdida de tiempo, sin tomar en cuenta otros factores independientes del mismo.

La secuencia de las operaciones de fusión es la siguiente:

- a) Junto con la carga metálica se cargarán los kilogramos de ferromanganeso según el cálculo teórico de la tabla V.
- b) Se conecta la corriente y se funde la carga.
- c) Es conveniente revolver bien el baño para evitar que quede algún material sin fundir, escorificando a o da momento que así lo requiera.
- d) Se ajusta la temperatura del acero.
- e) Se toma una muestra para un análisis preliminar.
- f) Ya con el resultado del análisis preliminar y ajusta da la carga, se confirma de nuevo la temperatura del acero. "Esto es muy importante, ya que todos los procesos de fabricación y transformación de metales y aleaciones, es necesario medir y controlar cuidadosamente la temperatura de los hornos y de los materiales si se desea obtener buenos rendimientos y regularidad en la calidad de los productos que se fabrican". Antes de ajustar la temperatura se deberá checar que la cuchara esté lo suficientemente caliente y libre de otros materiales. También debe verificarse que h alla el suficiente moldeo preparado para esa carga.
- g) Antes de vaciar el horno, colocar en la cuchara un poco de aluminio para evitar la formación de microporosidades.

#### 5.4 CONTROL QUIMICO

En aceros automotrices, S.A. el análisis químico que se práctica es por Espectrometría de Emisión.

Se substituyó los métodos tradicionales de análisis químico por uno del tipo de análisis instrumental, el cual le dá una apariencia de actualidad y sofisticidad al proceso tan tremendo, que permite el aumento de pedidos y por consiguiente de producción.

Con el espectrometro de emisión, aparte de un análisis seguro, tenemos también un control de calidad de todas nuestras piezas mucho antes de terminarlas.

Naturalmente, el espectrometro de emisión da una gran confiabilidad de cálculo aunado a una rapidéz tremenda, ya que viene equipado para calcular hasta 20 elementos, y de su rapidéz se derivan las siguientes ventajas:

- a) Más tiempo de vida del refractario del crisol.
- b) Mayor producción.
- c) Mayor control de las ferroaleaciones.
- d) Ahorro de energía eléctrica.

Este análisis espectrométrico, a grandes rasgos, se basa en la excitación de electrones. En el proceso, uno ó varios electrones pasan de una orbita de menor energía a otra de mayor nivel energético. El o los electrones en el estado excitado son inestables y tienden a regresar a su condición original estable, directamente o pasando de unos orbitales a otros emitiendo una serie de radiaciones.

Estas radiaciones son detectadas por el aparato como una intensidad en un número determinado, dependiendo de la concen

tración de electrones excitados para cada elemento seleccionado a analizar.

Esta lectura es pasada automáticamente a un pequeño computador, donde previamente se selecciona el programa para dicho acero.<sup>†</sup>

Lo que hace el computador, es extrapolar el valor de intensidad con la curva de un determinado elemento y registrar la concentración en ‰ del mismo.

Los elementos que analiza el programa para Acero al manganeso (alto manganeso - alto carbono) son: P, S, C, Mo, W, Si, Fe, Mn, Al y Nb.

El análisis de una muestra por éste método es rapidísimo, 3 min, sin tomar en cuenta el tiempo que se tarda, desde sacar la muestra hasta llevarla cortada y pulida al laboratorio.

En general, el análisis se tarda aproximadamente 10 min. para ajustar la carga, sin ningún problema.

El mantenimiento del aparato no es muy costoso si se sabe llevar adecuadamente las recomendaciones de trabajo. Si hay alguna falla técnica en el aparato, el análisis se lleva a cabo por los métodos tradicionales, analizando solamente manganeso y carbono.

En seguida se dá el análisis preliminar y final de ésta carga por medio del Espectrómetro de Emisión.

<sup>†</sup> Tesis: Control de Proceso por Espectrometría de Emisión en una Fundidora. Ing. Félix Joel Rodríguez I.

490 Mn INP	490 Mn INF
%P = 0.03	%P = 0.03
%S = 0.01	%S = 0.01
%C = 1.21	%C = 1.20
%Mn = 0.005	%Mn = 0.005
%W = 0.007	%W = 0.007
%Si = 0.47	%Si = 0.58
%Fe = 85.60	%Fe = 85.56
%Mn = 12.66	%Mn = 12.60
%Al = 0.009	%Al = 0.01
%Nb = 0.003	%Nb = 0.002

Siendo:

490 = Número de carga del horno.

Mn = Nombre del acero.

IN = Primeras dos letras del nombre del horno.

P = Si es preliminar.

F = Si es final.

## 5.5 VACIADO

La temperatura de colada es una de las principales variables a disposición del fundidor. El acero fabricado con la composición especificada se calienta dentro del horno a una temperatura de 1540 °C a 1600 °C antes de proceder a vaciarlo en la tina. El intervalo de solidificación es aproximadamente de 1350 - 1400 °C.

Se requiere después un cuidado especial para colar el metal en los moldes y especial atención al diseño del molde para obtener una buena distribución del metal en el mismo. Para asegurar ésta buena distribución, muchas piezas se cuelean por ambos extremos.

La temperatura del metal se ajusta también al tamaño de las piezas; piezas grandes serán coladas con el metal más frío (1370 - 1425 °C).

Cuando se trata de piezas pequeñas de sección delgadas, se prefiere efectuar la colada a temperatura más elevada, debido a que el acero fluye mejor y se contrarresta el enfriamiento más rápido que sufre el metal en éstas piezas.

Se conoce que el acero está dentro de la tina a la temperatura correcta para ser colada en los moldes, haciendo uso de un pirómetro óptico. En caso de no disponer de un instrumento de ésta clase u cualquier otro, se puede observar la superficie del metal y en el momento que se forma una delgada película, fácilmente conocida por los expertos horneros, es señal que el acero está más o menos a la temperatura correcta para vaciarse en piezas grandes.

Las cajas para los moldes pueden ser de hierro ó acero.

Cuando las piezas son coladas a alta temperatura, se puede tener casi la seguridad de que las piezas presentarán grietas y las propiedades mecánicas serán bastante inferiores a las normales.

Con temperaturas altas de colada, principalmente en piezas con secciones gruesas, la solidificación es retardada, el tamaño de grano se hace grande y se producen microsegregaciones que crean graves problemas.

Enfriamientos muy lentos de las piezas fundidas en los moldes, producen apreciable descomposición de la austenita, principalmente carburos de varios tipos.

En ésta condición las piezas son muy frágiles y requieren

que las tensiones térmicas y mecánicas que sufran sean muy bajas.

En la fig. 10 se indica la influencia de las temperaturas del horno y de colada en el tamaño de grano.

## 5.6 DESMOLDEO

Las piezas pueden desmoldarse tanto en frío como en caliente.

Las piezas de secciones gruesas es aconsejable desmoldarlas en caliente (600 - 800 °C) y seguidamente introducir las al horno de tratamiento térmico.

Las coladas y mazarotas en piezas ligeras pueden ser cortadas con soplete antes del tratamiento térmico; sin embargo, las correspondientes a piezas grandes deben cortarse después del tratamiento térmico, evitando al máximo el calentamiento. No rebasar los 260 °C.

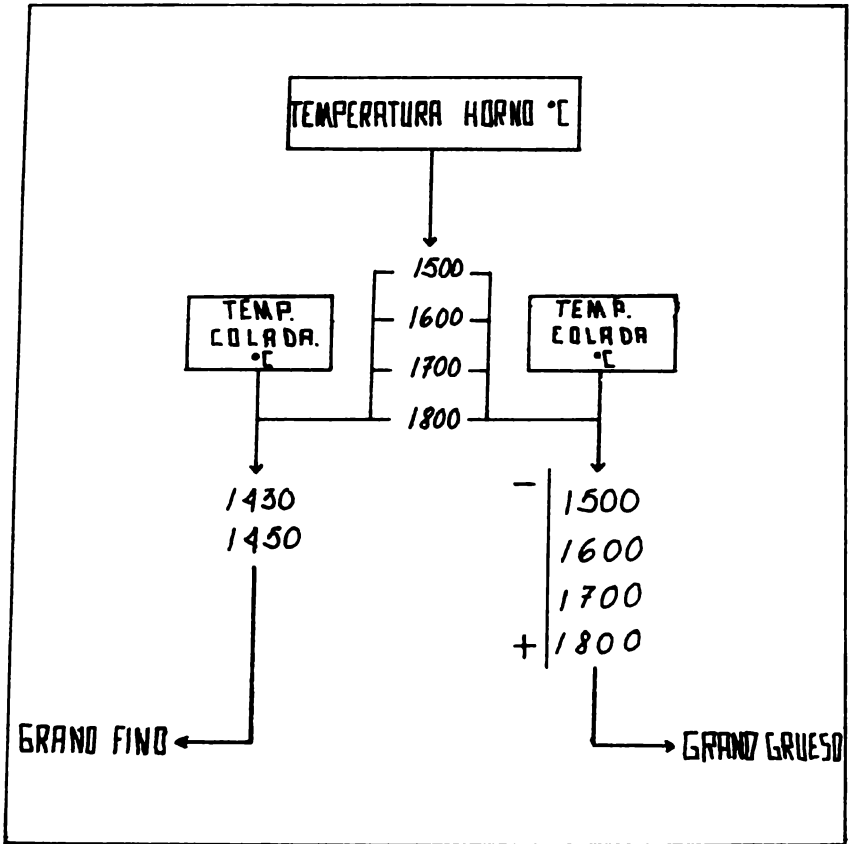
Esto es debido a que en estado bruto de colada son muy frágiles y pueden producirse grietas. La parte que quede se eliminará por esmerilado.

## 5.7 TRATAMIENTO TERMICO

### A) Piezas Frías:

- 1o. Colocarlas en el horno estando éste frío.
- 2o. Subir lenta y uniformemente la temperatura hasta 1100 °C a una velocidad de calentamiento de 150° c/hora.
- 3o. Mantener ésta temperatura 1 hora/25mm de la máxima sección de la pieza.

FIG. 10



INFLUENCIA DE LAS TEMPERATURAS DEL HORNO Y DE COLADA EN EL TAMAÑO DEL GRANO.



40. Sacar la pieza (o piezas) lo más rápidamente posible del horno estando éste con los quemadores encendidos.

Comprobar que:

- a) Que las llamas de los quemadores no toquen las piezas, éste acero se quema con mucha facilidad.
- b) El agua esté fría.
- c) Que la entrada del agua y la circulación de la misma esté correcta.
- d) Que las piezas queden en el agua lo más cerca posible del fondo.
- e) Dejar las piezas en el agua hasta que ellas adquieran la temperatura de ella.
- f) Comprobar que las mazarotas estén completamente frías, caso de no haberlas separado de la pieza con anterioridad.

En la fig. 11 se presenta una gráfica que puede servir como guía para los grados de enfriamiento.

B) Piezas Calientes:

10. El horno deberá estar a una temperatura de 650-800 °C (aproximadamente la misma que tendrá las piezas).
20. Subir lenta y uniformemente la temperatura hasta 1100 °C a una velocidad de 300 °C/hora.
30. Mantener esta temperatura 1 hora/25mm de la sección más gruesa de la pieza.
40. Continuar como en las piezas frías.

CURVAS APROXIMADAS DE ENFRIAMIENTO EN AGUA DE  
PLACAS DE 2, 3 1/2, 5 1/2, 7 1/2" DE ESPESOR.

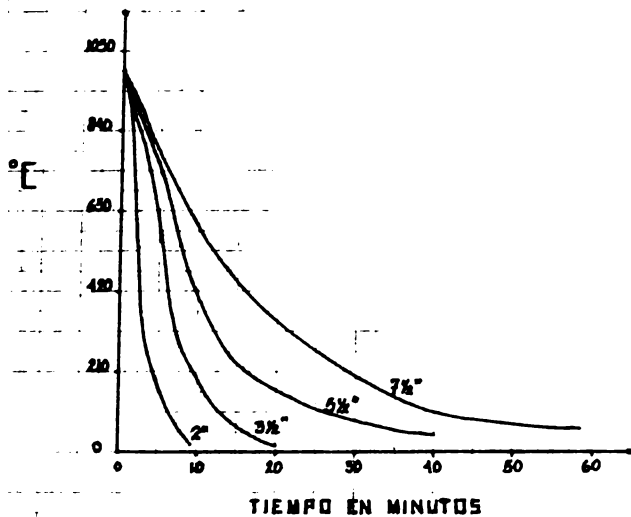


FIG. 11

## 5.8 SOLDADURA

El acero al manganeso puede soldarse para efectuar reparaciones, restaurar dimensiones, para recubrimientos, unión de partes, etc.

Al recalentarse se precipitan carburos tanto granulares como intergranulares. En las partes que se aplica la soldadura disminuye la ductilidad la que no puede ser restaurada por enfriamiento al agua desde ésta temperatura.

Pero si las aplicaciones de la soldadura ocurren en pequeñas zonas, no hay inconveniente en aplicarla; siempre claro está, que se haga con mucho cuidado.

Después de su aplicación no deben sufrir ningún calentamiento para evitar las tensiones, como es común practicar en otros aceros.

Es necesario tener en cuenta lo siguiente:

- a) No precalentar las piezas.
- b) No utilizar electrodos de acero comunes.
- c) La zona en donde se va a aplicar la soldadura debe estar perfectamente limpia, sin grasa, óxidos u otros materiales.
- d) Emplear un arco lo más cerca posible, interrumpiéndolo frecuentemente para evitar el calentamiento.
- e) El diámetro de los electrodos deberá ser lo más delgado posible. ( 1/4" como máximo ).
- f) El electrodo se mantendrá fomando un ángulo de 70-80°, avanzando en forma semicircular.
- g) Después de la aplicación de la soldadura, deberá "martillarse" ésta, antes de continuar la aplicación.

En la tabla VI se indican unos tipos de soldadura adecuados para el acero al manganeso, según especificaciones de la Sociedad Americana de Soldadura y la Sociedad Americana de Ensayos de Materiales.

TABLA VI

	<u>%C</u>	<u>%Mn</u>	<u>%Si</u>	<u>%Cr</u>	<u>%P</u>	<u>%Ni</u>	<u>%Mo</u>
E FeMn - A	<u>0.5</u> <u>0.9</u>	<u>11.0</u> <u>16.0</u>	<u>0.03</u> <u>1.30</u>	<u>0.5</u> <u>Máx.</u>	<u>0.07</u> <u>Máx.</u>	<u>2.75</u> <u>Min.</u>	-
E FeMn - B	<u>0.5</u> <u>0.9</u>	<u>11.0</u> <u>16.0</u>	<u>0.03</u> <u>1.30</u>	<u>0.5</u> <u>Máx.</u>	<u>0.07</u> <u>Máx.</u>	-	<u>0.6</u> <u>1.40</u>

## APENDICEZ

### HORNO DE INDUCCION

#### INTRODUCCION:

Debido a los problemas que se tenían para controlar el carbono en los hornos de arco, Ferranti empezó a experimentar con los hornos de inducción en Inglaterra en el año de 1887. En este horno, el metal estaba contenido con un núcleo de hierro laminado, de tal forma que se comportara como el secundario de un transformador. Ferranti tuvo la patente inglesa No. 700 en 1897 para este invento. En 1900 este principio fue desarrollado además por Hjellin construyendo un horno para aceración en Gysinge, Suecia, el cual tenía una capacidad de 176 lbs y un consumo de energía de 78 Kw.

Además, fueron hechas algunas mejoras por el Röchling steel works en Essen, Alemania, la cual desarrolló un horno en 1906 el cual tenía un suministro de energía de 750 Kw., de un generador especial de 5 ciclos/seg. Esta baja frecuencia fue utilizada para obtener un mejor factor de potencia que el que era posible obtener a frecuencia de la red.

La desventaja de estos hornos fueron la forma voluminosa e inapropiada del núcleo, la baja frecuencia requerida para obtener un buen factor de potencia la cual se conseguía con unos generadores muy caros y un alto mantenimiento.

En el período comprendido entre 1906-1910 cuando se protegió el baño contra la absorción del carbono de los electrodos mediante el uso de una escoria protectora, las ventajas que propiciaron los hornos de arco, hicieron que los hornos de inducción quedaran prácticamente en desuso.

Todos estos trabajos fueron hechos con frecuencia de 5-10 ciclos/seg.

En 1916, el Dr. E.F. Northrup accionista de la Leeds and Northrup Co. y profesor de Física de la Universidad de Princeton, estudió el problema acerca del principio básico para de sarrollar calor por medio de energía eléctrica en este tipo de hornos, encontrando que el único método el cual ofrecía un panorama promisorio era el de calentamiento por corrientes in ducidas de alta frecuencia.

El Dr. Northrup consiguió fundir estaño en un horno de inducción de alta frecuencia utilizando una cantidad relativa mente baja de watts.

En 1946 el primer horno de inducción con frecuencia de la red con crisol, fue instalado en una fundición en Italia para ajustar la temperatura y análisis del hierro fundido en un hor no de cubilote.

Actualmente se tienen en servicio hornos de inducción cu yas capacidades varían desde unos cuantos gramos hasta 60 to neladas.

En la actuali<sup>dad</sup> la necesidad de obtener un buen produc to del modo más eficiente, en el tiempo requerido, en la can tidad correcta, a la temperatura adecuada y dentro de la cali dad requerida a partir de materiales fácilmente disponibles ha originado el uso creciente de estos hornos eléctricos de inducción sin núcleo y de canal. Pero con mayor aceptación el horno de inducción sin núcleo a frecuencia de red y con cri sol, debido a que comparados con otros hornos para fusión de metales se ven favorecidos en el aspecto económico como el me talúrgico, ya que la calidad del metal es mejor, debido a que

la temperatura del baño es uniforme y el movimiento del metal en el crisol asegura una composición homogénea y los problemas de ruido y contaminación atmosférica son mucho menores que las que se tienen en la fusión del metal por otros medios.

## PRINCIPIO DEL HORNO DE INDUCCION

Cuando una corriente pasa a través de un conductor, el conductor es rodeado por un campo magnético orientado en la dirección del flujo de corriente, las líneas magnéticas se mueven en el sentido de las manecillas de un reloj alrededor del conductor.

El campo magnético es proporcional a la cantidad de corriente fluyendo a través del conductor, es decir, que entre mayor sea el flujo de corriente mayor será la intensidad del campo magnético.

La inducción electromagnética solo puede ser creada por un campo magnético, éste efecto se aprovecha cuando se hace pasar una corriente alterna a través de una bobina formada de perfil de cobre, de tal manera que los campos magnéticos de cada vuelta se combinan y formen uno solo alrededor de la bobina.

Este es el principio en que se basa la fusión de los metales en el horno de inducción y consiste en transferir energía de una bobina de inducción a la carga a fundir. Cuando la corriente pasa a través de la bobina, produce un campo magnético alterno, el cual pasa a través de la carga metálica induciendo corrientes en ella, ocasionándose así la fusión de dicha carga. La magnitud de la corriente inducida depende de la resistencia eléctrica de la carga.

Este tipo de fusión, tiene el mismo principio que un transformador ya que la bobina de inducción actúa como el primario de un transformador y la carga metálica a fundir, la cual es colocada en el interior de dicha bobina, equivale al secundario.



La condición ideal, desde el punto de vista eléctrico, sería que la carga llenara completamente el interior de la bobina, de tal forma que no hubiera espacios libres entre la carga y la bobina, con lo cual se evitarían pérdidas de flujo.

Sin embargo, esto es imposible y debe haber un crisol o revestimiento para retener el metal cuando esté fundido, además de un aislamiento térmico para proteger la bobina y disminuir las pérdidas de calor por radiación.

#### GENERALIDADES.

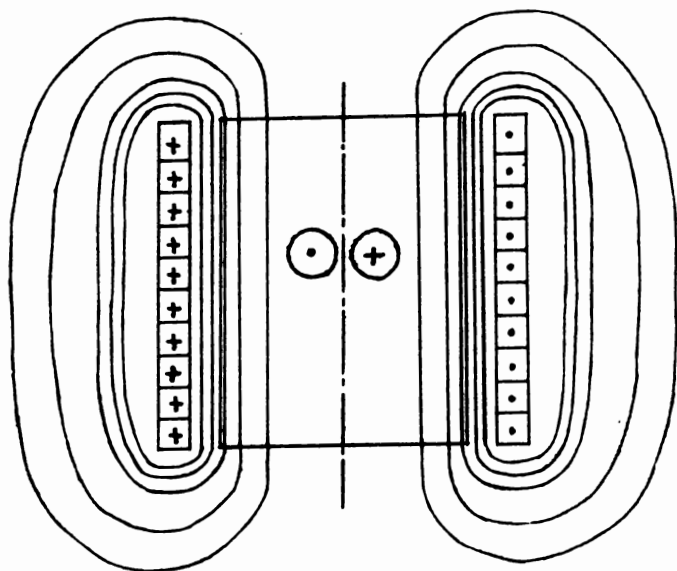
La parte principal del horno es la bobina de inducción, la cual tiene una forma cilíndrica, una fuente de potencia conectada a la bobina crea un campo electromagnético, Fig. 1. Cuando un material conductor de electricidad es introducido en este campo, se genera un potencial eléctrico el cual se transforma en una corriente eléctrica.

El valor de la energía generada depende del voltaje aplicado a la bobina, la potencia nominal y la cantidad de vueltas de la bobina.

La densidad de flujo a lo largo del perfil transversal de la bobina no es constante, ya que es más concentrado cerca de la bobina y decrece hacia el centro de la misma, la corriente inducida en la carga, genera un campo magnético el cual tiene un sentido opuesto al de la bobina del horno. El campo secundario orilla el campo primario cerca de la bobina. A este efecto se le conoce como "Efecto Piel" ó "Skin Effect".

La profundidad de penetración depende de la resistividad eléctrica del baño. A mayor resistividad eléctrica mayor pro

FIG. 2



BOBINA CONECTADA A UNA FUENTE DE C - A

SIN YUGOS MAGNETICOS.

fundidad de penetración. Otro factor importante es la característica magnética o permeabilidad de la carga cuando se funde de hierro. Cuando se empieza la fusión con una carga fría, el hierro es todavía magnético, lo cual repercute en la profundidad de penetración.

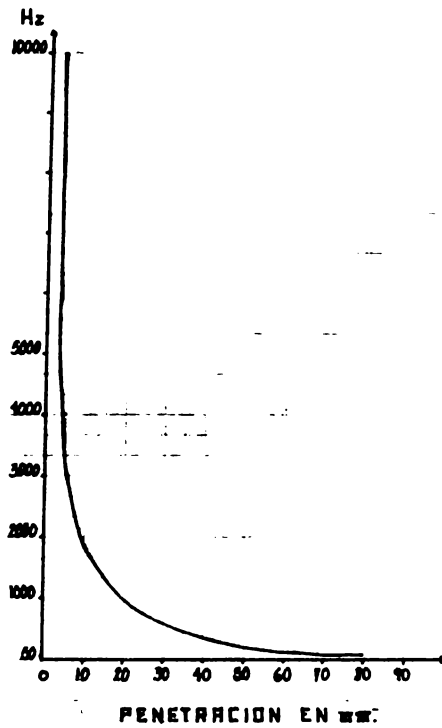
Entre más magnética sea la carga, la potencia absorbida será mayor; cuando la carga alcanza el punto curie ( 723 °C ) la potencia absorbida será menor.

La profundidad de penetración de la corriente varía con la frecuencia, a mayor frecuencia tendremos menos profundidad de penetración. Fig. 2.

Para un horno a frecuencia de la red, el tamaño mínimo de pieza en los materiales de carga debe ser de 200mm., para que la absorción de potencia sea adecuada. Si la carga es suficientemente densa, varias piezas pequeñas se fundirán juntas y forjarán una gran masa, una vez que la carga empieza a fundirse, absorberá la mayoría de la energía y fundirá las piezas pequeñas. Así que si un buen pie de fusión está presente, el tamaño de las piezas que se carguen no es tan importante.

Debido a que el campo magnético en la carga está en dirección opuesta al campo que se forma en la bobina, se establece una repulsión mutua entre los dos campos. Esto como consecuencia produce una fuerza magnética (F), como se ilustra en la Fig. 3, las líneas magnéticas se desplazan paralelas a la bobina solo en la parte central de la pista. En el fondo y en la parte superior de la bobina, éstas líneas se desplazan girando hacia afuera.

FIG. 2



GRAFICA PENETRACION - FRECUENCIA

PARA ACERO 1000 °C

Una fuerza mecánica es siempre perpendicular a la dirección de las líneas magnéticas, por lo tanto, la fuerza mecánica permanece perpendicular a la bobina en el centro de la misma. En ambos extremos de la bobina esta fuerza cambia de dirección. Fig. 3. Esta desigual distribución de la fuerza magnética es el principal motivo del mov. del metal. Fig. 4.

Este movimiento provoca que se forme una elevación convexa llamada "menisco".

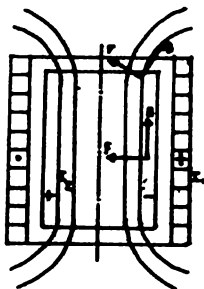
La acción de agitación del baño es directamente proporcional a la potencia inducida, es decir, a mayor potencia inducida, mayor agitación del metal y mayor el menisco que se forma, lo cual es totalmente contraria a la frecuencia, a mayor frecuencia menor agitación.

La eficiencia, es el porcentaje comparado de la potencia suministrada contra la potencia absorbida. Las pérdidas que nos provocan que la potencia absorbida no sea igual a la aplicada se puede dividir en dos grupos: Pérdidas eléctricas y pérdidas térmicas.

**Pérdidas Eléctricas:** El espesor del refractario dicta la distancia entre la bobina y la carga. La pared del crisol, el cual está hecho de un material no conductor almacena líneas magnéticas, sin embargo, éstas líneas no son utilizadas porque no alcanzan el metal, ésta energía es llamada reactiva. Otras líneas magnéticas no atravesarán toda la sección de la bobina y circularán entre las vueltas, éstas líneas tampoco son efectivas en lo que concierne a la transmisión real de energía.

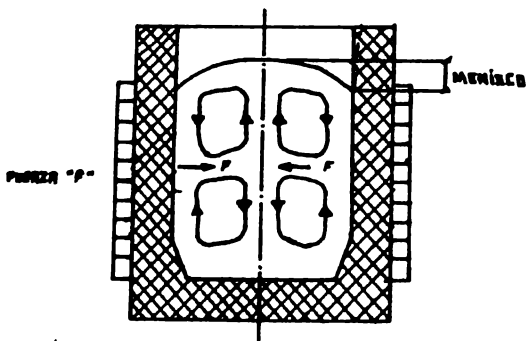
**Pérdidas Térmicas:** Este tipo de pérdidas son por radiación a través de las paredes del crisol, de la tapa y del pico de colada, así como las ocasionadas durante la carga y el vaciado del horno.

FIG. 3



FUERZA MECANICA DE UN CAMPO ELECTROMAGNETICO.

FIG. 4



AGITACION DEL BAÑO Y MENISCO.

La capacidad mínima del horno con la que se puede trabajar con eficiencia a 60 Hz. es de 700 Kg., debido a las limitaciones en el diámetro y a la relación diámetro altura que existe entre el crisol y la bobina, la cual generalmente oscila entre 0.8 y 1.5 .

#### DIFERENTES TIPOS DE HORNOS.

Los hornos de inducción se pueden dividir en dos grupos:

A) Hornos sin núcleo o de "crisol".

B) Hornos con núcleo o de "canal".

A) El horno más comúnmente encontrado en la fundición, es el horno de inducción sin núcleo. Su crisol, de forma muy sencilla permite la simplificación de la aplicación y el mantenimiento de los refractarios.

Este tipo de hornos pueden clasificarse en dos diseños típicos:

1) Con circuito magnético abierto.

2) Con circuito magnético cerrado.

En los hornos del primer tipo, el flujo magnético pasa a través del aire, fuera del crisol. Para evitar calentamiento por inducción de la estructura del horno, deben usarse materiales no magnéticos ó ponerse a tal distancia de la bobina que éste efecto sea reducido. Debido a éstas limitaciones éste diseño es aplicado únicamente en hornos pequeños de alta o media frecuencia.

Los hornos grandes pertenecen al segundo tipo; en éste diseño, el flujo magnético fuera del crisol es guiado por yugos magnéticos hechos de laminación del tipo usado en transformadores. Estos hornos son a frecuencia de red y hornos de media frecuencia de alta potencia son diseñados según éste principio.

B) Numerosas instalaciones requieren recipientes de man  
tenimiento, con suficiente potencia para mantener la tempera  
tura o elevarla para hacer ajustes de temperatura.

Los mejoramientos técnicos en el diseño de hornos de ca  
nal y sus refractarios, así como el crecimiento de la mecani  
zación en la fundición y en el requerimiento de metal de tem  
peratura uniforme son las motivaciones típicas para la cre  
ciente demanda de éste tipo de horno en la fundición.

El horno de canal típico consiste principalmente de los  
siguientes componentes importantes:

- 1) Recipiente
- 2) Inductor
- 3) Equipo de volteo

Los hornos de canal son comúnmente clasificados según sus  
aplicaciones, en dos grupos:

- 1) Hornos de vaciado
- 2) Hornos de mantenimiento

Las principales características de estos hornos son:

- a) La superficie de irradiación de calor se reduce a un  
mínimo, gracias a su forma que casi es la de una es  
fera. Las pérdidas de calor y los refractarios nece  
sarios se mantienen en un mínimo.
- b) El embudo de carga y el pico de colada están coloca  
dos en el eje de volteo del horno, dando así, puntos  
fijos en cualquier posición de volteo, esta caracte  
rística es particularmente apreciada ya que permite  
llenar el horno al mismo tiempo que se vacía.
- c) Este tipo de horno es frecuentemente utilizado como  
antecrisol de un cubilote o de un horno de arco ó



como receptáculo de metal en la línea de moldeo para dar una cierta inercia a la demanda variable de la línea, o al suministro variable del equipo de fusión.

## **REFRACTARIOS**

El cuerpo del horno tiene diferentes refractarios, los cuales se moldean dentro del cuerpo mismo, estos refractarios previenen los sobrecalentamientos en la estructura de acero del cuerpo del horno, aseguran una mejor operación del crisol y disminuyen las pérdidas de calor.

Del estado de los refractarios de un horno, dependen su producción y la seguridad de la instalación.

Hablaremos solamente del refractario del crisol, ya que éste es el refractario más importante en el horno, debido a que es el que contiene el metal fundido y por esto, es al que mayor cuidado debemos prestar, ya que la producción del horno depende en gran parte del estado del crisol.

Las características que debe cubrir un crisol son las siguientes:

- a) Las paredes deben ser lo más delgadas posible, las paredes gruesas impiden que el flujo magnético se cierre en la carga, con lo cual se prolonga el tiempo de colada y se aumenta el consumo de energía eléctrica.
- b) El revestimiento no debe ser conductor, de otra manera se producirían cortos circuitos.
- c) Debe ser suficientemente resistente al calor para que resista la temperatura de fusión de distintos productos.
- d) El revestimiento debe resistir los efectos de la esco

ria durante la fusión, para esto se debe seleccionar el refractario adecuado para un proceso dado, ya que con esto aseguramos una mejor vida útil del refractario y a la vez reducimos el riesgo de tener en un momento dado inclusiones no metálicas.

En base a su composición química se pueden considerar tres tipos de refractarios.

- 1) Ácidos a base de  $\text{SiO}_2$ .
  - 2) Básicos a base de  $\text{MgO}$  ó  $\text{CaO}$ .
  - 3) Anfóteros o neutros a base de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ó  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .
- e) Debe ser mecánicamente resistente, ya que muchas veces durante la fusión es necesario golpear la carga, con el objeto de acelerar la fusión y para evitar que la carga se "puentee" al soldarse entre sí.
- f) Los cambios de volumen del material refractario deben ser mínimos. El revestimiento trabaja en condiciones muy difíciles. Las paredes delgadas están sometidas a grandes esfuerzos por un elevado gradiente de temperatura.

Mientras que la superficie interna del crisol tiene la temperatura del acero fundido, la superficie externa del crisol está en contacto con la bobina enfriada con agua.

Los cambios repentinos de volumen, son las causas principales de las fracturas del revestimiento del horno.

- g) La reparación y cambio del revestimiento debe ser posible sin que se presente ningún obstáculo.

El revestimiento se desgasta durante el trabajo y las paredes se debilitan, con esto se disminuye la distancia entre la bobina y la carga, mejorándose así la unión magnética.

Después de haber colocado el material refractario en el interior de la bobina, se procede al secado y al calcinado del mismo, así como el sinterizado de la cara de trabajo del cri sol.

El crisol debe tener una capa sinterizada, cuyo espesor no debe ser mayor de la mitad del espesor total de la pared, y tampoco debe ser muy delgada.

La capa posterior, no sinterizada tiene las funciones siguientes:

- a) Aislar térmicamente.
- b) Absorber los cambios de volúmen que tienen lugar en el interior de la capa sinterizada.
- c) Amortiguar los golpes que se producen durante la carga de la chatarra y ferroaleaciones.
- d) Limitar la penetración del metal fundido hacia la bobina en el caso de que se produjera alguna grieta en la copa sinterizada.

En México, la mayoría de las fundiciones que usan los hornos de inducción sin nucleo, funden en ellos diferentes tipos de hierro, como consecuencia de ésto, el uso de la sílice en el crisol está muy generalizado.

La fusión en hornos de inducción presenta algunas particularidades como lo son:

- a) La carga calculada es la que se obtiene y casi no hay necesidad de mayores ajustes en la composición, puesto que las pérdidas de elementos son bajas.
- b) Es frecuente la utilización del 100% en la carga del acero que se desea producir.
- c) Es muy poco común la utilización de un período oxidante.

- d) El movimiento constante del baño metálico permite una rápida eliminación de impurezas, así como de gases indeseables ( $H_2$  y  $N_2$ ). Este movimiento permite una mejor absorción de las aleaciones, así como que la temperatura del baño y su composición química sean homogéneas.
- e) El aspecto negativo de este movimiento, es que la parte del baño que se levanta, no queda cubierta por la escoria, por lo que queda expuesta a la acción oxidante de la atmósfera.
- f) Es posible regular la temperatura del baño con bastante precisión.
- g) Permite la fusión al vacío o en alguna atmósfera gaseosa que sea adecuada.
- h) No es posible efectuar la desulfuración debido a que la escoria es fría y poco activa, ya que solo se calienta con el calor del metal fundido. Así que los materiales utilizados deben ser bajos en contenidos de azufre.

## B I B L I O G R A F I A

- 1) METALS HANDBOOK.  
Vol 1 - 2  
8th Edition  
American Society For Metals  
1961.
  
- 2) UNITED STATES STEEL.  
Edit. Harold E. McGannon  
The Making, Shaping and Treating of Steel  
9th Edition  
1971.
  
- 3) ASME HANDBOOK.  
Metals Properties  
First Edition  
McGraw - Hill Book Company Inc.  
1954.
  
- 4) C.W. PARRAR  
Melting Practice, Heat Treatment and  
Properties of Hadfield Mn Steel  
AIME - 1963  
ASM - Metals Handbook
  
- 5) ING. F. JOEL RODRIGUEZ ISLAS  
Fac. de Química  
Tesis: Control de Proceso por Espectrometría  
de Emisión en una Fundidora.  
1980.

6) ING. JOAQUIN ALMEIDA C.

Principios y Operación de Hornos de Inducción  
Sociedad Mexicana de Fundidores, A.C.  
1979.

7) K. WANKE Y K. SCHARANN.

Temple del Acero  
Edit. Aguilar  
1972.

8) STEEL CASTINGS HANDBOOK

Edit. Charles W. Briggs  
Steel Founders' Society of America  
1970.