

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

**FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA,
MINERA Y METALURGICA**



**FABRICACION DE ACEROS AUSTENITICOS
EN HORNOS BASICOS.**

INFORME DE INGENIERIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO METALURGISTA

OVER AVELINO ALIAGA INGARUCA

LIMA - PERU

1997

DEDICATORIA: A mi querida y abnegada Madre Eulogia
Ingaruca Lopez y hermanos Leonardo,
Juliana y Luis.

FABRICACIÓN EN HORNOS BÁSICOS DE ACEROS AUSTENITICOS AL MANGANESO

ÍNDICE

	pag:
CAPITULO I INTRODUCCIÓN.....	6.
CAPITULO II: DIAGRAMA DE EQUILIBRIO, SISTEMA BINARIO Y SISTEMA TERNARIO.....	7
1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. SISTEMA BINARIO HIERRO-MANGANESO.....	7
2.1 Aleaciones Ricas en Hierro (Fe).....	7
2.2 Aleaciones Ricas en Manganeso (Mn).....	8
2.3 Aleaciones Fe - Mn - C : Fases que comprende.....	9
a. Hierro Alfa (α).....	9
b. Hierro Gamma (γ).....	9
c. Manganeso Alfa (α_{Mn}).....	10
d. Manganeso Beta (β_{Mn}).....	10
e. Manganeso Gamma (γ_{Mn}).....	10
f. La Región Delta (δ).....	10
g. La fase Epsilon (ϵ).....	11
3. SISTEMA TERNARIO HIERRO-CARBONO - MANGANESO.....	12
3.1 Obtención del Diagrama Hierro - Carbono - Manganeso.....	12
CAPITULO III : PROPIEDADES DE LOS ACEROS AUSTENITICOS AL MANGANESO.....	17
1. PROPIEDADES A LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL RANGO ESTABLECIDO.....	17

1.1 Carbono y Manganeso.....	17
a) Carbono.....	18
b) Manganeso.....	18
c) Sílice.....	19
d) Azufre.....	19
e) Fósforo.....	19
2. INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN.....	20
2.1 Adición del Cromo (Cr).....	20
2.2 Ensayo de Chancado.....	22
2.3 Adición del Molibdeno (Mo).....	22
2.4 Adición del Nickel (Ni).....	23
2.5 Adición del Aluminio (Al).....	23
2.6 Adición del Cobre (Cu)	24
3. PROPIEDADES MECANICAS.....	24
4. PROPIEDADES FISICAS.	24
CAPITULO IV : HORNO ELÉCTRICO DE ARCO VOLTAICO	29
1. INTRODUCCIÓN.....	29
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL HORNO ELÉCTRICO.....	30
2.1 El Cilindro del Horno.....	30
2.2 Mecanismos de Elevación de la tapa.....	30
2.3 Las Mordazas de los Portaelectrodos.....	31
2.4 Sistema Hidráulico.....	32
2.5 Sistema de Agua Enfriadora.....	32
3. PARTES ELÉCTRICAS DEL HORNO	32
3.1 El transformador del horno y la bobina de reactancia.....	32
3.2 Las instalaciones de conexión.....	33
3.3 La caja de distribución.....	34
3.4 El regulador regula hacia el valor constante de la impedancia del arco...	34
3.5 Interruptor o Disyuntor.....	35

4.	FACTORES DE POTENCIA Y SU CONTROL EN UN HORNO DE ARCO VOLTAICO.....	35
4.1	El arco eléctrico como fuente de calor.....	35
4.2	Potencia del Arco del horno electrico.....	36
4.3	Posición del Arco y Electrodo.....	37
4.4	Conicidad del Electrodo	38
4.5	Pérdidas Térmicas y Rendimiento Total.....	40
4.6	Circuito General de un Horno Eléctrico de Arco y sus efectos en la utilización de la Potencia.....	41
4.7	Características técnicas del Horno Eléctrico de Arco y del Reactor "GANZ ELÉCTRICA BUDAPEST"	42
5.	REVESTIMIENTO EN EL HORNO ELÉCTRICO.....	43
5.1	Composición y Punto de Fusión de los Refractarios.....	44
5.2	Ubicación de los Refractarios en el Horno Eléctrico Básico.....	44
	a) Fondo del Horno.....	44
	b) Piso del Horno.....	45
	c) Línea de Escoria.....	45
	d) Paredes Superiores.....	46
	e) Hilados Superiores.....	46
	f) Tapa del Horno Eléctrico.....	46
5.3	Propiedades físicas y químicas de los refractarios.....	47

CAPITULO V : FABRICACIÓN DEL ACERO AUSTENITICO AL MANGANESO EN HORNO BÁSICO.....53

1.	INTRODUCCIÓN.....	53
2.	MATERIA PRIMA.....	53

3. MATERIALES ESCORIFICANTES Y FUNDENTES.....	54
3.1 Caliza.....	54
3.2 Espato fluor.....	55
4. MATERIALES DE ALEACIÓN Y DESOXIDANTES.....	55
4.1 Ferro - Manganese (Fe - Mn).....	55
4.2 Ferro - Silicio (Fe - Si).....	56
4.3 Ferro - Cromo (Fe - Cr).....	56
4.4 Ferro - Molibdeno (Fe - Mo).....	57
4.5 Aluminio (Al).....	57
5. MARCHA DE FUSIÓN EN UN HORNO ELÉCTRICO.....	58
5.1 Balance de carga.....	60
6. FORMACIÓN DE ESCORIAS REDUCTORAS EN HORNO ELÉCTRICO...	62
6.1 Razones de uso del Horno.....	63
6.2 Preparación de la Escoria Carburica en el Horno Eléctrico.....	65
7. ELIMINACIÓN DE INCLUSIONES NO METÁLICAS EN LA SUPERFICIE DE DE LA INTERFASE ACERO - ESCORIA.....	66
 CAPITULO VI : ARENAS DE MOLDEO Y PROCESO CO₂ PARA ALMAS... 	72
1. INTRODUCCIÓN.....	72
2. ARENAS DE SÍLICE.....	73
2.1 Características de las Arenas.....	74
3. ARENAS ESPECIALES DE MOLDEO.....	74
3.1 Cromita.....	75
3.2 Zirconeo.....	75
3.3 Olivino.....	75
4. SILICATO DE SODIO.....	75

5. MECANISMO DE ENDURECIMIENTO EN EL PROCESO CO ₂	76
5.1 Proceso CO ₂ para Moldes y Almas.....	77
5.2 Naturaleza del Enlace del Silicato de Sodio.....	78
5.3 Efecto del Agua sobre la Resistencia del Alma.....	79
5.4 Características de las almas.....	79

**CAPITULO VII : TRATAMIENTO TÉRMICO DE LOS ACEROS AUSTENITICOS
AL MANGANESO.....80**

1. INTRODUCCIÓN.....	80
2. DETALLES TÉCNICOS DEL EQUIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO.....	81
3. PROCEDIMIENTO DEL AUSTENIZADO.....	82
3.1 Ejemplo de una pieza austenizada.....	83
3.2 Cuadro en el cual se indica el proceso y el tiempo empleado en el tratamiento de austenizado de diversas piezas.	84
4. PREPARACIÓN DE UNA MUESTRA PARA SER ANALIZADA EN EL MICROSCOPIO.....	85
4.1 Desbaste.....	85
4.2 Pulido.....	85
4.3 Ataque.....	86
5. METALOGRAFÍA DE LA MUESTRA AUSTENIZADA Y PREPARADA.....	87
5.1 Metalografía del Acero no tratado térmicamente.....	87
5.2 Metalografía del Acero tratado térmicamente.....	90

CAPITULO VIII : OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES	91
BIBLIOGRAFIA	94

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

El acero es una de las aleaciones que más ha contribuido en el desarrollo de la industria. En este caso, si hablamos de la minería diremos que el acero austenítico al Manganeso conocido también como Hadfield, es una de las aleaciones de gran demanda en el sector minero, fabricado ya sea como forros para molino o como chancadoras llamados Bow liner y Mantles.

El motivo por el cual me ha llevado a ejecutar este trabajo sobre fabricación en horno básico de aceros austeníticos al manganeso, es conocer, el porque es tan importante este tipo de acero en la industria minera. Empiezo describiendo el diagrama de equilibrio ternario Fe- C-Mn, que nos indica las aleaciones que pueden ser utilizadas en la obtención del acero austenítico, en el caso particular de las aleaciones que se conservan verdaderamente austeníticos después de un enfriamiento violento en agua desde una temperatura de 1130°C. Luego debido a que el horno eléctrico de arco figura en la actual situación, como único equipo de fusión y afino, con éxito en la competencia con otras acerías de la siderurgia clásica. Indicamos la gran ventaja que existe de fabricar estos tipos de acero en hornos eléctricos con refractario básico. Proseguimos, describiendo el proceso de fabricación de este tipo de acero, detallando, mediante una tabla un balance de carga basado en la composición de cada elemento que participa. Continuamos con un estudio metalográfico de probetas extraídas de las mismas piezas de fundición que han sido, no tratadas y tratadas térmicamente.

CAPITULO II

DIAGRAMA DE EQUILIBRIO, SISTEMA BINARIO Y SISTEMA TERNARIO

1. INTRODUCCION

La transformación en estas aleaciones han sido objeto de muchas investigaciones. Una de ellas por el Instituto Tecnológico de Cornegie (Brasil). Por ejemplo el diagrama Hierro - Manganeso fue obtenido del siguiente modo:

La constitución en el rango de 0 a 5% de Manganeso se estudió basado en observaciones dilatométricas. De 50 a 100% se estudio basado en exámenes microscópicos de Rayos X de aleaciones templadas.

Para preparar las aleaciones binarias de Fe-Mn y ternarias de Fe-C-Mn se tomaron cuidados especiales por lo tanto, para el estudio de las aleaciones binarias se utilizó elementos puros con un manganeso puro y el fierro electrolíticamente fundido con suficiente carbono para reducir el oxígeno a su mínimo valor. Para introducir el carbono necesario y formar las aleaciones ternarias es utilizado el coque.

2. SISTEMA BINARIO HIERRO-MANGANESO.

2.1. Aleaciones Ricas en Hierro (Fe).

Bajo condiciones normales de enfriamiento y calentamiento dentro de la región de la temperatura de transformación, las aleaciones permanecen en un estado metaestable ya que las transformaciones $\gamma \leftrightarrow \alpha'$ y $\gamma \leftrightarrow \epsilon$ (Fig.1). tienen las características de las transformaciones martensíticas.

La transformación de γ en el enfriamiento, en aleaciones con más del 3.2% Mn resulta en la formación de dos productos martensíticos,

según la composición.

- A) Una solución α' FCC supersaturada y
- B) Una solución sólida ϵ HCP supersaturada, teniendo ambas la misma composición como la solución sólida γ del cual se forman. La temperatura a la cual estas estructuras comienzan a formarse térmicamente (temperatura M_s) es independiente de la velocidad de enfriamiento, al menos dentro de un amplio rango de velocidades de enfriamiento.

En el calentamiento el cambio es reversible, aunque la temperatura a la cual ocurre esto es considerablemente mayor que la temperatura M_s , con la histéresis de temperatura del cambio $\gamma \leftrightarrow \alpha'$ en aumento, aumenta el contenido de Mn.

La histéresis de la transformación $\gamma \leftrightarrow \epsilon$ es mucho menor.

Se ha encontrado las temperaturas de transformación $\gamma \leftrightarrow \alpha$ en aleaciones hasta aproximadamente 13% Mn, las aleaciones con 7.5-13% Mn puede consistir de ($\alpha' + \epsilon$) durante el enfriamiento a temperatura ambiente, α' podría detectarse en aleaciones hasta de 20% Mn. La presencia de ϵ se observó en las aleaciones hasta aproximadamente 32% Mn. Algo de γ puede ser retenido en las aleaciones con mas del 10% de Mn. Los trabajos y resultados reportados no son consistentes ya que el trabajo en frío hace que aumente la formación de ϵ y cause su rápida destrucción durante el templado.

2.2. Aleaciones Ricas en Manganeso(Mn):

La constitución en el rango de 50 a 100% de Mn se estudió usando principalmente micrografía, rayos X y análisis térmico.

Los diagramas de fases están de acuerdo en muchos aspectos, especialmente en aquellos que indican amplias regiones de soluciones sólidas primarias de β -Mn y α -Mn. Aunque las posiciones del límite de fase difieren considerablemente, especialmente a

temperaturas superiores a 800°C. La razón principal de las discrepancias parece ser debido al hecho de que la solución γ_{Mn} no podría ser retenido siempre por enfriamiento. Los datos mas conflictivos consideran γ_{Mn} y γ_{Fe} , ya sea que formen o no series continuas de soluciones sólidas. Las mediciones de los parámetros de la rejilla de las aleaciones enfriadas desde el campo γ , ha considerado que hay una transición continua entre las dos modificaciones γ , esto parece posible ya que se ha establecido recientemente que γ_{Mn} y γ_{Fe} son FCC de otro modo, las estructuras de dos fases se considerarían que existen en el rango de 65 – 70% Mn en temperaturas entre 1100 y 1200 °C, además de las tres fases en equilibrio a 1030 o a 1060°C. La posición de dos límites de fase han sido afectados con la suposición de que β Mn es estable hasta temperaturas de 1180 a 1190 °C en vez de 1100°C .

2.3 Aleaciones de Fe-Mn: Fases que comprende

a) Hierro Alfa (α):

Sus cristales tienen disposición atómica de cuerpo centrado (bcc), están conformadas de 9 átomos, 8 fracciones de 1/8 en los vértices (o sea un entero) y uno en el centro, en realidad tiene dos átomos enteros en cada cristal, la longitud de las aristas del cubo elemental, varían de 2.85 – 2.90 Å°.

La disposición del hierro alfa hace que sea más resistente a la tracción.

b) Hierro Gamma (γ):

Su estructura atómica es de caras centradas (fcc), consta de 14 átomos, 4 átomos enteros por cada cristal, perteneciendo las demás fracciones a cristales adyacentes, la longitud de sus aristas es de 3.65 a 3.70 Å°.

La disposición del hierro gamma es más compacta, lo que representa mayor facilidad de deformación.

c) Manganeso alfa (α_{Mn}):

Es un cubo con 58 átomos y celda unitaria de 8.903 Å de lado.

d) Manganeso beta (β_{Mn}).

Es un cubo complejo con 20 átomos y celda unitaria de 6.29 Å de lado.

e) Manganeso gamma (γ_{Mn}).

Tetragonal de cara centrada y estructura cristalina bastante semejante a la austenita.

f) La región delta (δ)

Es una región "Sólido - Líquido". Se observa que hay una diferencia muy grande entre una región en que predomina el Hierro y una en que predomina el Manganeso (Mn).

Solamente una región del diagrama, de alto Manganeso, es que puede ser considerado un diagrama de equilibrio. La otra parte no lo es.

Las fases Manganeso Gamma (γ_{Mn}) y Manganeso Beta (β_{Mn}) puede ser retenidas a una temperatura ambiente por templado. El alto grado de segregación dendrítica y una pequeña velocidad de difusión del Manganeso en Hierro en estado sólido fase que será necesario calentar las aleaciones por un largo tiempo (de 8 a 24 hrs.) a temperaturas por debajo de los sólidos con el objeto de asegurar una homogeneidad.

Los contornos de las regiones de transformación : $\alpha - \gamma$, $\epsilon - \gamma$
 $\gamma - \alpha$, $\gamma - \epsilon$;

están determinados por observaciones dilatométricas de aleaciones homogeneizadas. En esta parte del diagrama fueron empleadas velocidades de calentamiento o de enfriamiento de 16 a 12 grados por minutos, velocidades

menores de enfriamiento no afectan el intervalo de temperaturas de transformación $\gamma \rightarrow \alpha$; por lo tanto, menores velocidades de calentamiento resultan en una transformación $\alpha \rightarrow \gamma$, comenzando a una temperatura mas baja y terminando a una temperatura más alta.

Las pruebas fueron verificadas utilizando rayos X, que una transformación $\gamma \rightarrow \epsilon$, es acompañada por una disminución en volumen y la transformación $\gamma \rightarrow \alpha$, por un aumento. Fue positivo, no solamente identificar esas transformaciones sino mostrar, en el caso de aleaciones de 13% de Manganeso, que ambas transformaciones ocurren, parte de la fase γ se transforma en ϵ , parte en α y parte siendo retenida a temperatura ambiente, en estado γ .

g) La Fase Epsilon (ϵ)

Mehl admite que Epsilon es una fase intermedia resultante de una reacción peritectoide. Como fue dicho anteriormente una descomposición $\gamma \rightarrow \epsilon$ se realiza con disminución de volumen. Verificándose para aleaciones con 16 a 20% de Mn, que comprimiéndose la aleación un poco encima del límite elástico, una transformación $\gamma \rightarrow \epsilon$ se da casi completamente, en cuanto que no es comprimido el cuerpo de probeta cerca del 70% de fase γ se mantiene sin transformación. Epsilon es esencialmente una fase de bajo carbono; no es observada en las aleaciones ternarias de no ser en condiciones muy especiales.

Análisis termomagnéticas mostraron que las aleaciones binarias Fe-Mn son magnéticas en el estado α y debajo del punto Curie del Fe.

El magnetismo de la fase α disminuye con un aumento de la cantidad de Mn. Cuando las aleaciones binarias, conteniendo 9 a 30% de Mn son enfriadas mas o menos lentamente parte

de la austenita se transforma a 170°C en la fase ϵ , del sistema hexagonal denso. Calentando la fase ϵ se transforma en γ a una temperatura cerca de 200°C esta transformación también es irreversible.

Estos 2 modos de descomposición de la austenita son puestos en evidencia por el dilatómetro; la descomposición $\gamma \rightarrow \alpha$ se da con expansión, en cuanto que una descomposición $\gamma \rightarrow \epsilon$ se da con contracción. Aleaciones con 9 a 15% de Mn pueden mostrar las 2 transformaciones $\gamma \leftrightarrow \alpha$ y $\gamma \leftrightarrow \epsilon$; aleaciones con mas de 15% de Mn presentan únicamente la transformación $\gamma \leftrightarrow \epsilon$.

La microestructura de las aleaciones que presentan únicamente la transformación $\gamma \leftrightarrow \epsilon$ es nítidamente una textura de Windmanstatten; y la textura de las aleaciones que contienen ferrita puede ser descrita como Martensita.

3. SISTEMAS TERNARIOS HIERRO - CARBONO - MANGANESO

(Fe-C-Mn):

3.1. Obtención del Diagrama Hierro - Carbono - Manganeso:

La constitución de las aleaciones ternarias (con 0.02 - 1.4%C y 0- 14% Mn) fue determinado por un examen microscópico de probetas templadas, después de ser elevadas a temperaturas de equilibrio convenientes.

La Fig. N° 2 nos da una idea del diagrama ternario Fe - C - Mn, de las aleaciones mas usadas. El espacio indicado por ϵ es un significado dudoso, porque no se sabe si es una fase estable o de transición.

En la parte superior solamente la fase γ es estable.

Fueron trazados varios diagramas Fe - C- Mn para diversos % de Mn, mantenidos constantes, variando los porcentajes de Carbono de 0 - 1.6%. Estos corresponden a fases cortos no al diagrama general, según planos paralelos a YZ. Los resultados de estos ensayos

pueden ser vistos en los gráficos de las figuras 3, 4.

Por un simple examen de estos diagramas se concluye que, a medida que aumenta el % Mn disminuye la temperatura del punto Eutéctico. Por otro lado para estos puntos eutécticos corresponden % C cada vez menores.

La adición de Mn a las aleaciones Fe-C torna positivo la coexistencia de 3 fases: α , γ , y C (carburos), en equilibrio (entre DE y FG).

Los carburos presente en el caso de las aleaciones ternarias Fe - C - Mn fueron investigadas, por rayos X, siendo Westgran y Ohman, quienes mostraron que los carburos de Mn son de formas: $Mn_{23}C_6$ y Mn_7C_3 que son isomorfos los carburos de Cr son de la misma composición. El carburo de composición Mn_3 no fue hallado.

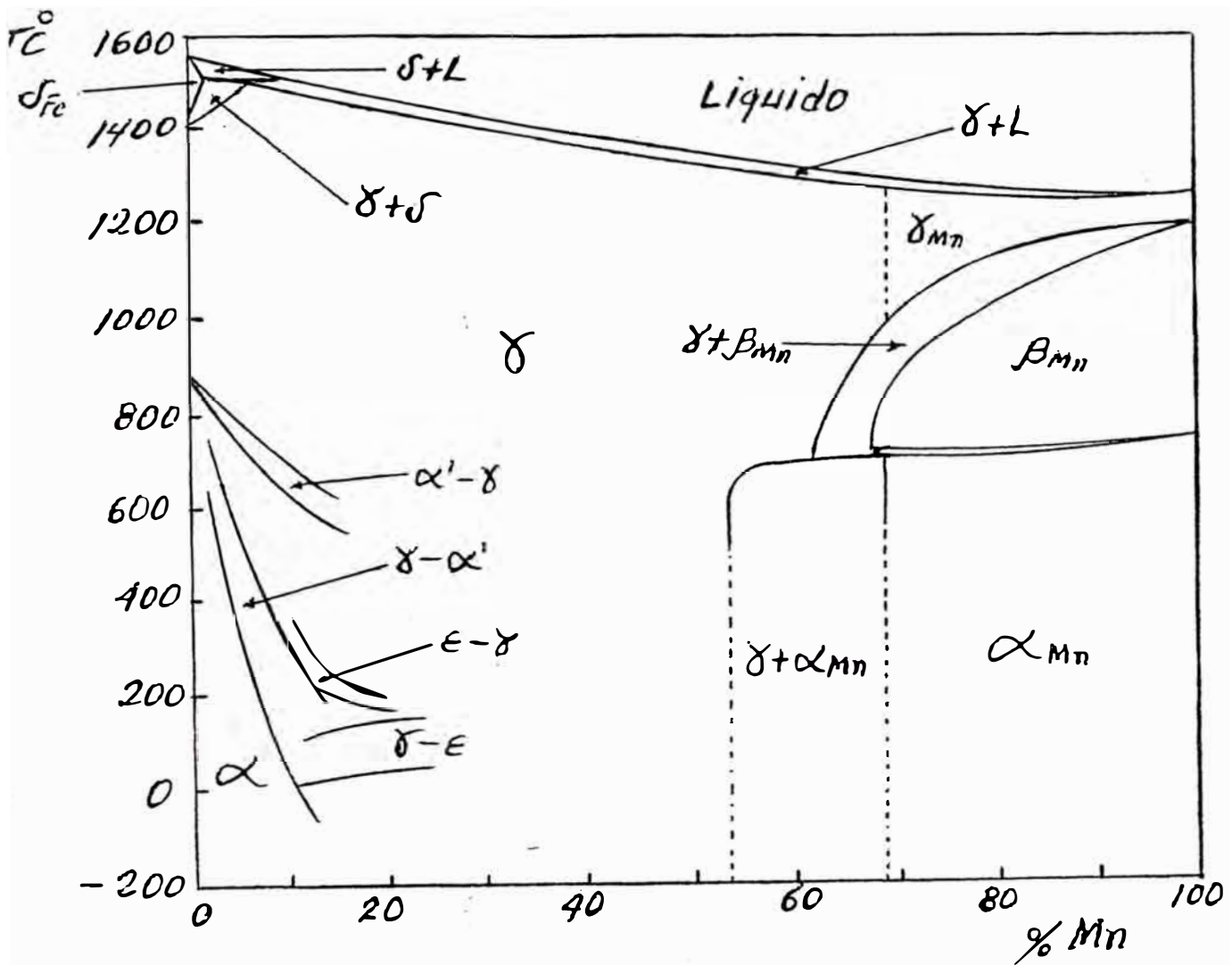
Normalmente el campo de aplicación de aleaciones Fe - C - Mn es aquel representado en la Fig. N° 2, en que el %C es menor que 1.4% y el % Mn varia entre 14%.

Además de los aceros comunes que tiene menos del 1% de Mn, se distingue 2 categorías de acero al Mn:

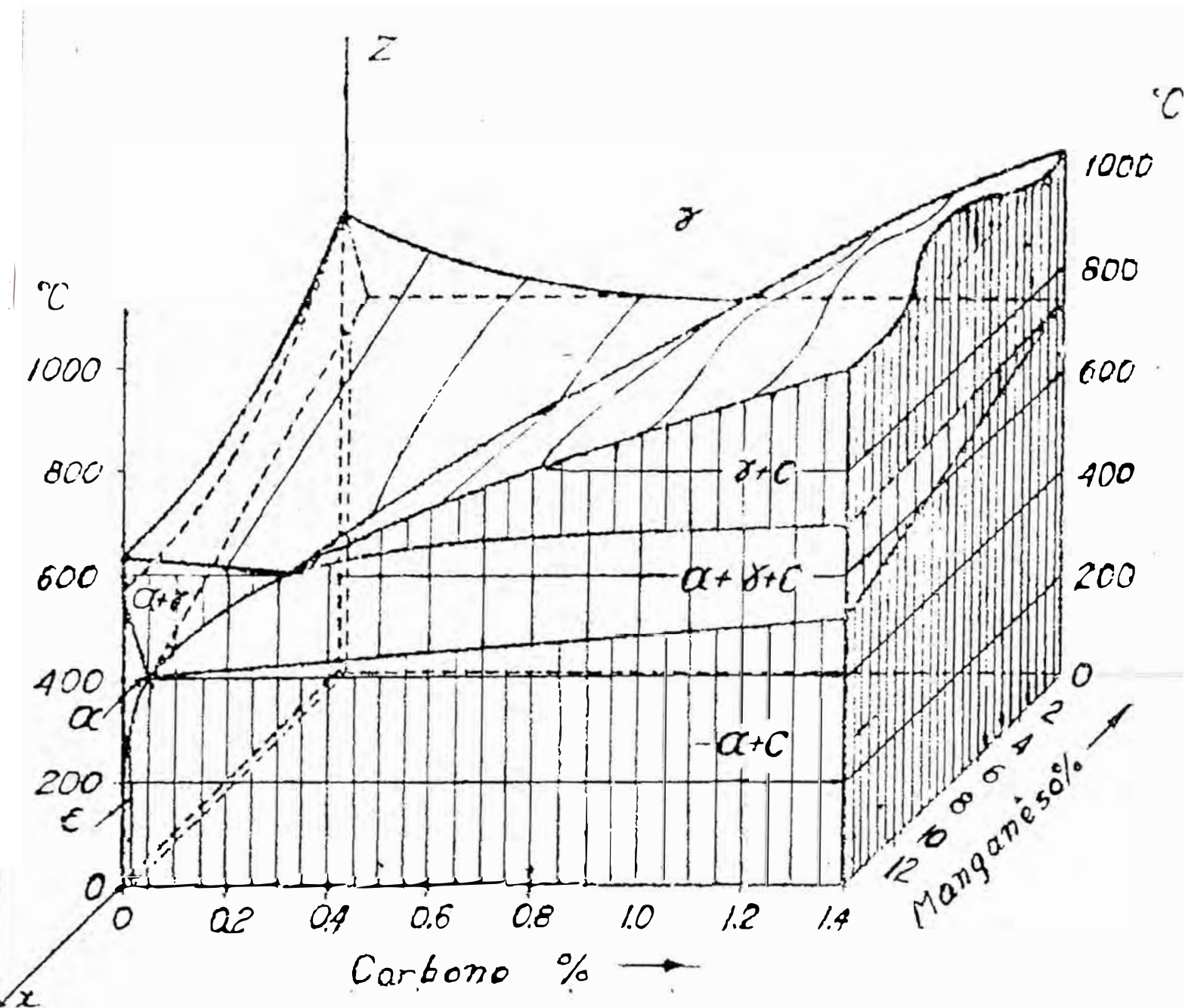
Los primeros son los que contienen de 1 a 3% de Mn; son aceros perlíticos (Fig. 3)

Los segundos, aceros de alto Mn son aceros austeníticos, conteniendo de 10 - 14% Mn (Fig. 4).

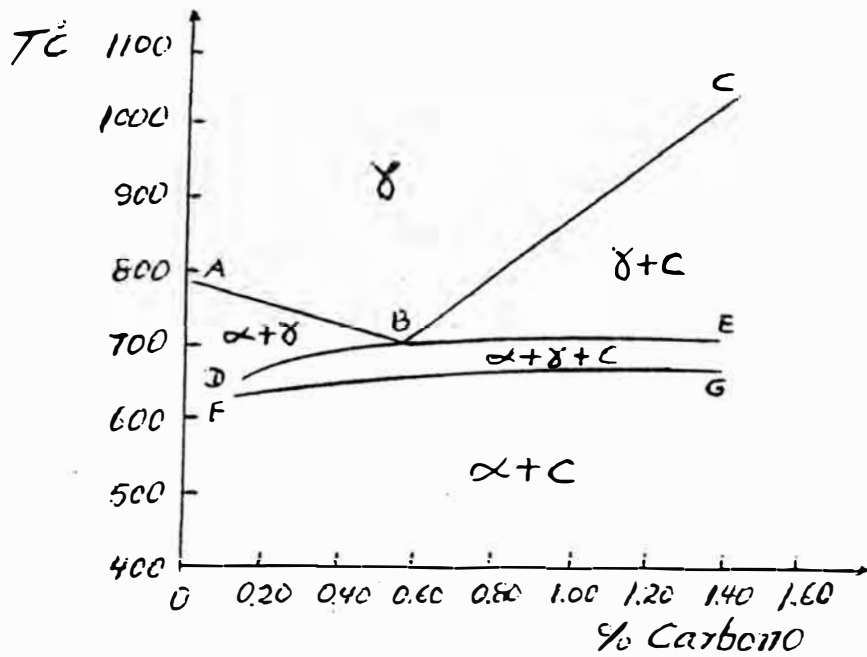
1. Diagrama Fe-C



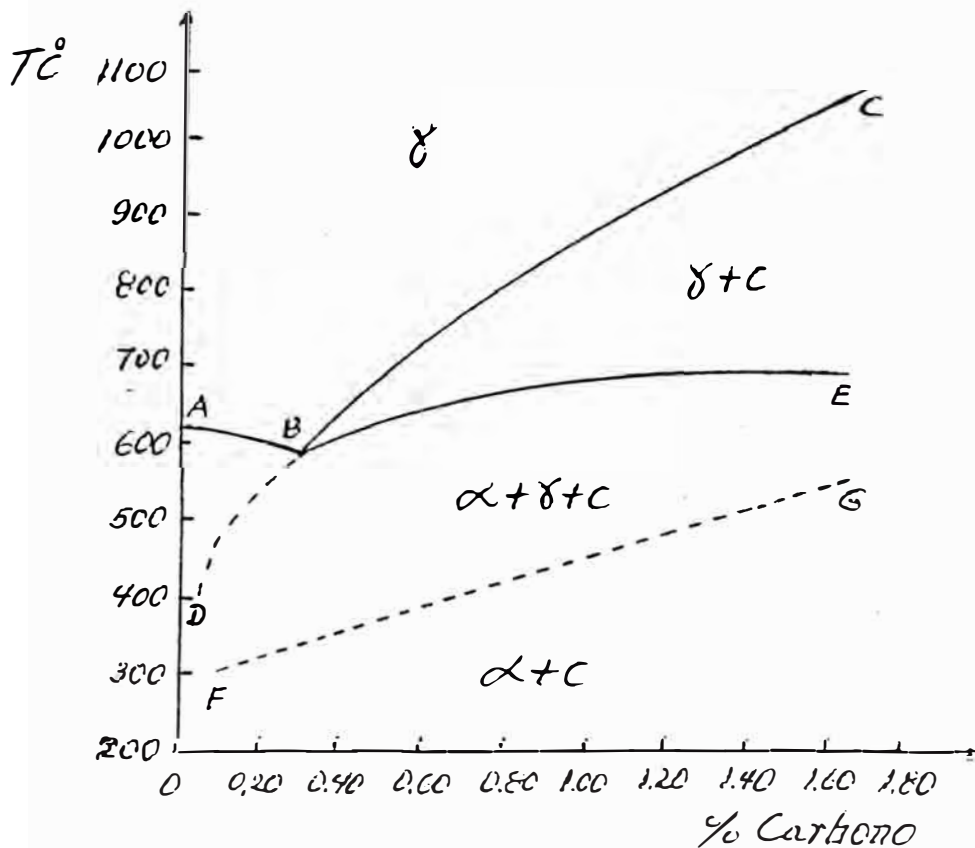
2. Diagrama Ternario Fe-C-Mn
de las aleaciones más usadas



3. Diagrama Fe-C-Mn con 2.5% Mn



4. Diagrama Fe-C-Mn con 13% Mn



CAPITULO III

PROPIEDADES DE LOS ACEROS AUSTENITICOS AL MANGANESO

1. MODIFICACIONES A LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL RANGO ESTABLECIDO

Tabla N° 1

SEGÚN LA NORMA ASTM A128 ENUMERA LOS GRADOS DE ACERO AUSTENITICO AL MANGANESO									
N°	Grado	COMPOSICIÓN QUÍMICA							
		% C	% Mn	% Si	% Al	% Cr	% Mo	Otros	Fe
1	ASTM A128	1.11	12.8	0.20	0.025	-	0.54	0.05 P	rem.
2	A	1.25	12.9	0.66	0.06	0.05	-	-	rem.
3	C	1.35	12.98	0.28	0.025	2.06	-	-	rem. rem.
4	D	0.88	12.86	0.83	0.026	0.82	-	3.77 Ni 0.026 P	
5	E2	1.09	13.9	0.67	0.055	-	2.00	0.032 P	rem.
6	Aleación Experi.	1.76	10.5	0.55	2.5	0.70	-	0.016 P	rem.
7	Si=1.0%								

1.1 Carbono y Manganeso :

La Influencia de la variación en Carbono y Manganeso sobre las propiedades se indican en las figuras 5 y 6. Dentro del rango normal de los aceros al manganeso austenítico, hay solo pequeñas variaciones en sus propiedades. Estos elementos normalmente varían en la misma dirección, asumiendo que el tratamiento para mejorar la resistencia apropiada es aplicado.

Alto carbono tiende a elevar el punto de influencia y ligeramente la ductibilidad. La tendencia a precipitar carburo en el recalentamiento con la consecuente fragilización es minimizado con bajo carbono. Comparativamente bajo carbono, con alto manganeso, proporciona una resistencia tal que resulta con alta tenacidad.

a. Carbono.

Para el acero al Mn convencional, el rango usual del Carbono es de 1.10-1.25%, contenidos de Carbono mas alto que 1.25% generalmente tienden a fragilizar el acero mediante la formación de carburos del tipo $(Fe, Mn)_3C$ en los bordes de los granos o formando carburos laminares que se precipitan a lo largo de los granos cristalográficos.

b. Manganeso.

El contenido de Mn de un acero de alto Carbono, austenizado y templado deberá estar por encima de ciertos niveles mínimos, para mantener completamente la estructura austenítica. La figura 7, indica estos niveles para aceros con variaciones de Mn y Carbono, que han sido determinados por varios investigadores. Los datos de la figura indican que un acero templado conteniendo 1.20% C será completamente austenítico cuando contiene de 5 a 6% Mn.

El desarrollo de alta ductilidad y resistencia al impacto en la austenita generalmente requiere un contenido de Mn mayor que 10%. Esto se indica en la figura 8, donde se muestran los resultados de la prueba de tracción en los aceros de 1.2% C, con contenidos de Mn, que varían del 5.5% al 13% Mn. Comercialmente, el acero austenítico al Mn se produce con contenidos de Mn del 11% al 14% y con radio de $Mn/C = 10/1$.

Esto no significa que debe cumplirse estrictamente, sino que puede variar de acuerdo a las propiedades específicas requeridas.

c. Sílice.

Hasta 1.0%, que es el contenido frecuentemente hallado en el acero al Mn, no ejerce ninguna influencia sobre las propiedades mecánicas.

Por encima del 1.0% tiende a disminuir ligeramente la ductilidad, pero si el Carbono es razonablemente bajo no es desventajoso. Avery demostró que aproximadamente a 2.2% Silicio si se produce una rápida reducción de la resistencia y de la ductilidad ver figura 9. Pero con adiciones de Silicio hasta un 2% puede mejorar el límite elástico. El Silicio es normalmente añadido solo en cantidades requeridas para la buena desoxidación durante el proceso del acero austenítico al Mn.

d. Azufre.

El contenido de Azufre es siempre bajo ya que fácilmente se combina con el Mn dando Sulfuro de Manganeso que se va en la escoria. Cualquier residual de MnS en el acero en forma de inclusión raramente afecta las propiedades, y este elemento puede ignorarse.

e. Fósforo.

Por encima de 0.12%P la resistencia a la tensión y, mas particularmente la ductibilidad del acero al Mn se reduce con el incremento de fósforo.

Según Avery figura 10, los ensayos de tensión en caliente muestran que la ductibilidad declina rápidamente por encima de 0.06% P, con una menos rápida caída en la resistencia a la tensión, una tendencia relacionada a la formación de grietas en caliente en la pieza colada. Se infiere que las condiciones de

moldeo puede minimizar bastante las tensiones presentes en el enfriamiento de las coladas.

TABLA N°2

EFECTO DEL FÓSFORO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN ACERO AUSTENITICO AL Mn		
COMPOSICIÓN	I	II
% C	1.22	1.22
% Mn	11.90	10.9
% Si	0.51	0.60
% Mo	2.00	2.00
% P	0.019	0.77
Propiedades Físicas		
Limite elástico P.S.I	65.000	64.000
Esfuerzo de tracción P.S.I	117.500	95.600
% Elongación	29.2	18.0
% Reducción del área	28.0	22.0
Dureza Brinnell	217.0	228.0

Pieza Austenizada a 1030°C.

2. INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN.

2.1 Adición del Cromo. (Cr).

La comparación de las propiedades de Tracción o Tensión obtenidas de 2 aceros austeníticos de alto carbono se indica en la Tabla N°3, que confirma una vez mas el efecto de fragilidad ocasionada por el contenido de 3% Cr en secciones delgadas. Si embargo se ve una mejora del limite de elástico y posiblemente también en la resistencia al desgaste.

Una adición de 2% de Cr es usado con frecuencia para mejorar la resistencia a la abrasión durante el servicio, pero

un efecto similar se obtiene sin añadir el Cr, sino disminuyendo el contenido del Mn.

TABLA N°3

EFECTO DEL CROMO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN ACERO AUSTENITICO AL C		
COMPOSICION	I	II
% C	1.33%	1.34%
% Mn	12.00	12.00
% Mo	0.50	3.00
% Cr	-	3.00
Propiedades Físicas		
Limite elástico P.S.I	59.900	68.400
Esfuerzo de tracción P.S.I	105.400	106.900
% Elongación	26.00	18.00
% Reducción del área	31.50	16.00
Dureza Brinnell	207	228

Actualmente los fabricantes están utilizando acero al Manganeso, con una adición de 1.0% - 1.5% Cr para la fabricación de Trituradoras y Molinos para materiales de pequeña granulometria, como cascajo y arena, donde la abrasión es predominante y donde los pequeños choques no son suficientes para devolver la dureza superficial necesaria. En estas condiciones, el Cr adicionado aumenta la dureza superficial y a la vez aumenta la vida de la pieza.

En la producción de piezas con este material se debe tomar cuidados especiales si el % C es mayor que 1.3% el acero se torna quebradizo, particularmente si la relación Mn/C o 10/1 no es mantenido.

Adiciones de Cr inferiores a 0.75% no produce efecto apreciable de la resistencia al desgaste y parece que 1.5%. Es el máximo que se le debe adicionar. Se admite que el Cr aumenta la dureza del acero de 2 modos :

Aumenta levemente la dureza del material antes de ser sometido a cualquier trabajo mecánico.

Favorece el endurecimiento superficial, característico de los aceros, al Mn, con trabajo al frío menos intenso.

2.2 Ensayo de Chancado.

Para verificar el comportamiento del acero al Mn conteniendo Cr, en aplicaciones de trituración, un par de mandíbulas longitudinalmente inclinadas, con las mitades opuestas de Mn y de acero al Mn-Cr, se fijaron dentro de un triturador de mandíbulas extra pesado de doble quijada.

Después de 2 años de arduo trabajo, chancando dolomita, ferro-manganeso, ferro-silicio mineral de Cr y mineral de Fe; el desgaste en los 2 aceros fue determinado en base a la pérdida de peso, la tabla N°4 indica que no hay mucha diferencia para escoger entre los 2 tipos. El examen visual de las mandíbulas indican que no hay diferencias entre los dos.

TABLA N°4

TIPO	COMPOSICIÓN				% DESGASTE RELATIVO		DUREZA BRINELL	
	%C	%Si	%Mn	%Cr	Mandíbula Oscilante	Mandíbula Fired	No gastado	Gastado
Mn	1.28	0.52	13.2	-	100	100	217	316
Mn+Cr	1.20	0.46	12.8	3.21	96.8	100.5	100.5	352

2.3 Adición de Molibdemo. (Mo)

Para piezas gruesas conteniendo un elevado %C, se le agrega encima o alrededor de 1.5%Mo produciendo carburos de tipo globular, que durante el enfriamiento se forman en los puntos interdentríticos, que son los últimos en solidificarse y de este

modo minimizan el desarrollo de los carburos del tipo $Fe_{23}C$ de otros carburos complejos alrededor de los granos. En la tabla N°5 , se ve la influencia del Mo hasta un 2%. aumenta el límite elástico sin disminuir sus otras propiedades mecánicas.

TABLA N°5

Propiedades	Limite elástico PSI	Esfuerzo de tensión PSI	% Elongación	% Reducción de área	Dureza Brinell
Acero al Manganeso sin 2% Molibdemo templado en agua 1037°C	55,000	115,000	40%	30%	175
Acero al manganeso con 2% molibdemo templado en agua 1037°C.	64,000	130,000	42%	-	-

2.4 La adición de Nickel. (Ni)

La adición de Ni en los aceros austeníticos al Mn promueve la estabilización de la austenita, lo que se incrementa la ductilidad, al mismo tiempo reduce la tenacidad.

El Ni en algunos casos, va actuar como retardar de la descomposición de la austenita. Gracias a este el tratamiento de austenizado y enfriamiento brusco en agua, a veces es fatal para la pieza, luego tiene que ser sustituido por un tratamiento como el normalizado para obtener la estructura austenítica.

2.5 La adición de Aluminio.

La adición de aluminio hasta 0.75% da mayor tenacidad, resistencia en la condición de no tratado, sin ninguna ventaja en la condición de endurecido en agua. Para propósitos de fundición,

adiciones de hasta 3 lbs/Tn eliminan la tendencia a la formación de “Pinholes” en secciones delgadas, y mejora la solidez en piezas coladas en arena en seco, en verde.

2.6 La adición de Cobre.

La adición de cobre da un material consistentemente tenaz hasta 2 ¾ %Cu pero es pequeña la diferencia en las propiedades mecánicas con las del acero al Mn ordinario. Con 5% Cu el acero es inforjable y la tenacidad, resistencia no cambia.

3. Propiedades Mecánicas.

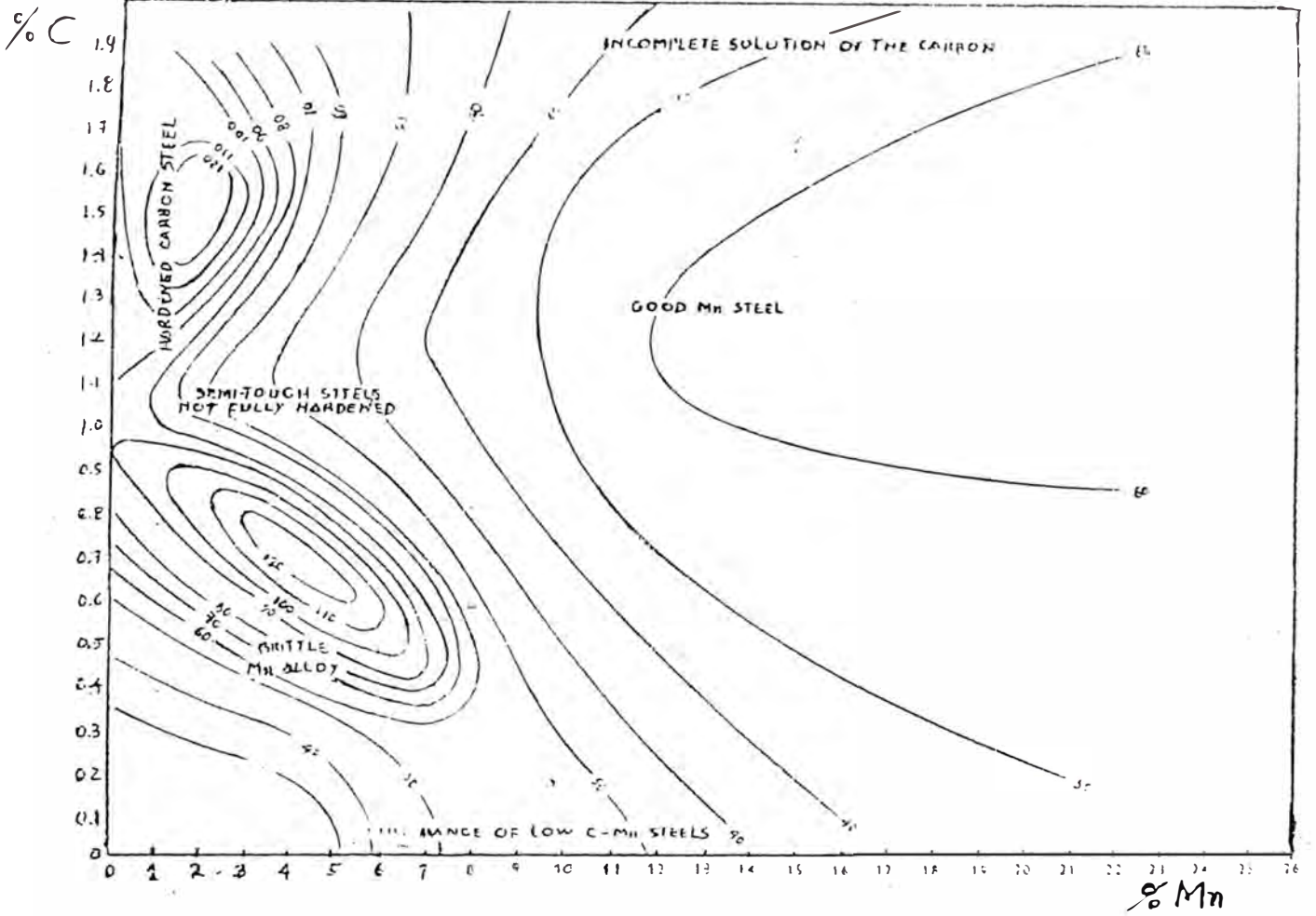
Dureza	: 185 - 220 Brinell
Alargamiento	: 15% - 40%
Reducción de Area	: 15% - 40%
Tensión Máxima	: 40 - 65 Tn/pul ²
Punto de Fluencia	: 22 - 27 Tn/pul ²
Ensayo de Doblado	: 120°
Endurecimiento por trabajado	: Dureza Inicial 185 - 220 Brinell Dureza Final 500 - 550 Brinell

4. Propiedades Físicas.

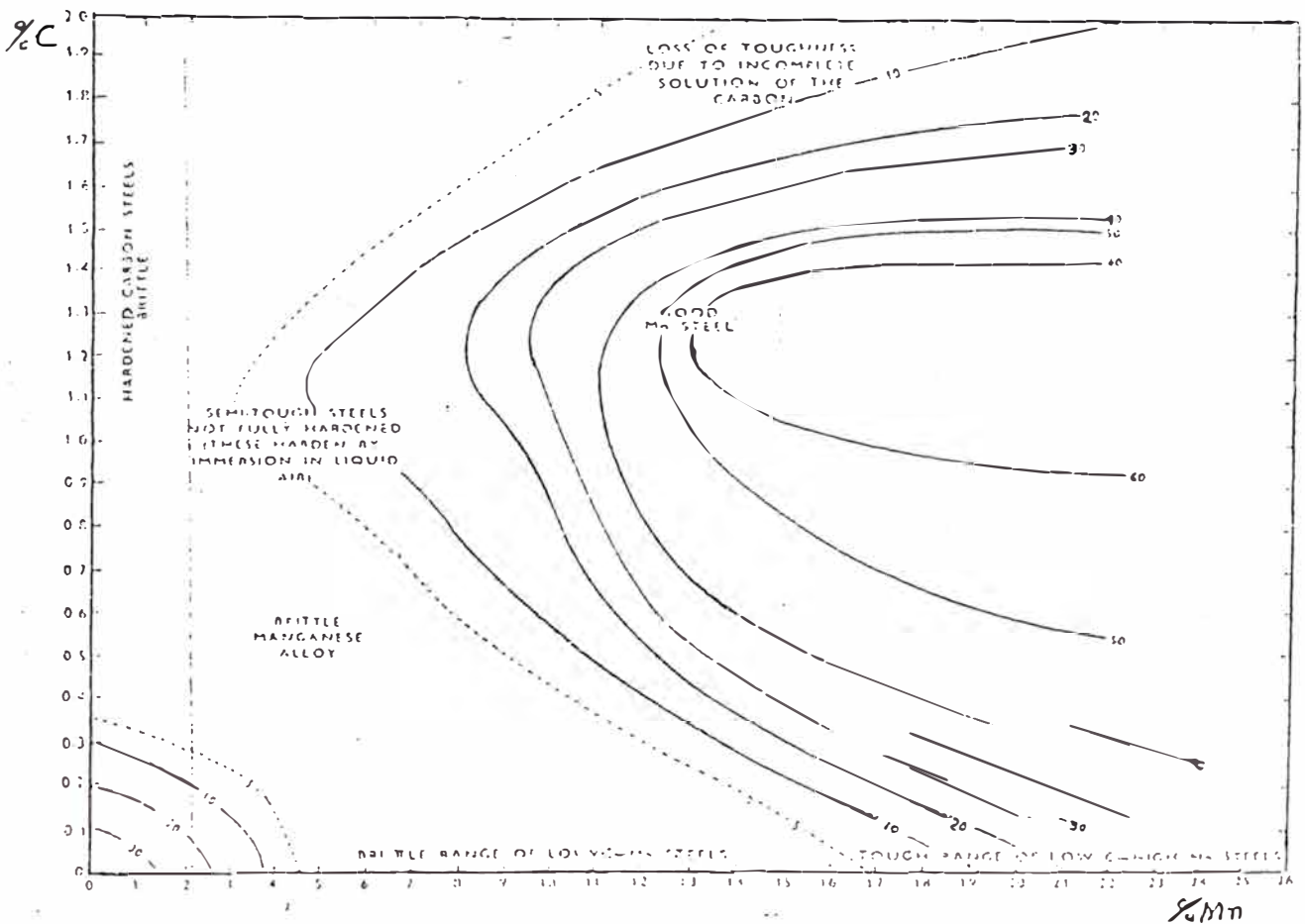
Punto de Fusión	: 1332°C - 1350°C
Gravedad Específica	: 7.87 a 15°C
Densidad	: 0.285 lb/pulg ³
Calor Específico	: 0.147 cal/gr.
Conductividad Térmica	: Baja 2.31
Permeabilidad Magnética	: 1.003 - 1.03

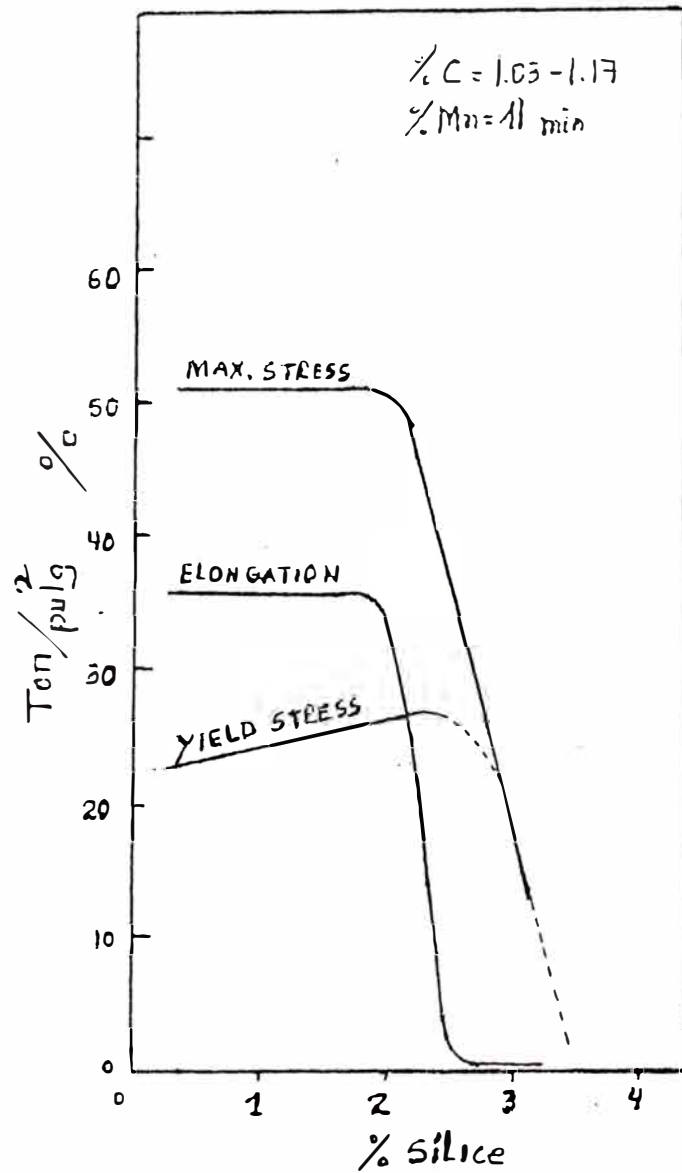
Las propiedades mencionadas arriba se refieren al acero austenítico, standard, y adecuado para ser empleado en la industria.

5. Resistencia a la Tensión del Acero al C-Mn

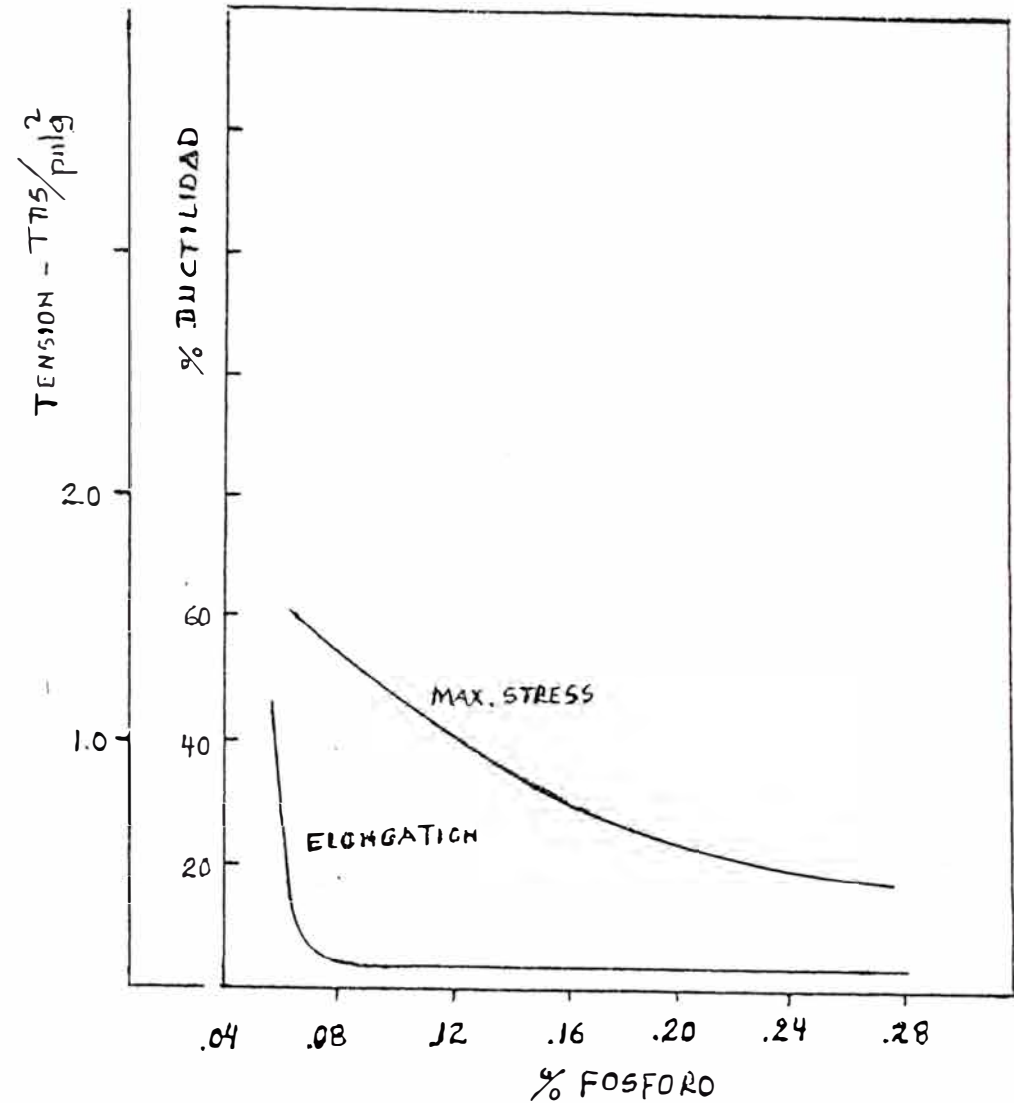


6. Resistencia al alargamiento del Acero al C-Mn



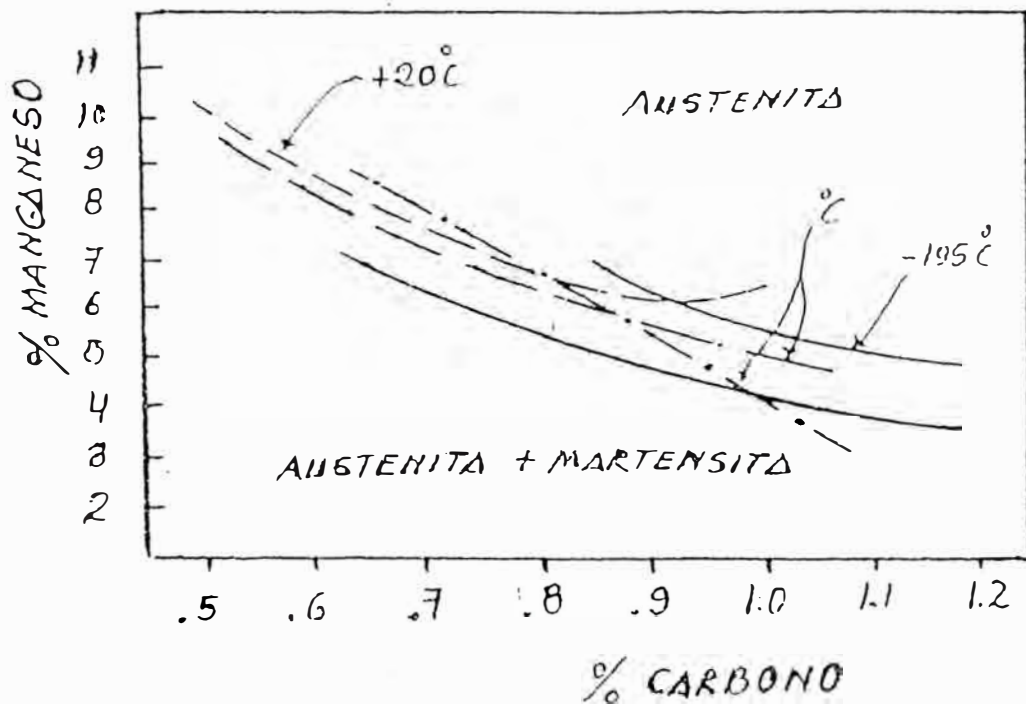


7. Efecto de la sílice en las propiedades mecánicas del Acero al Mn

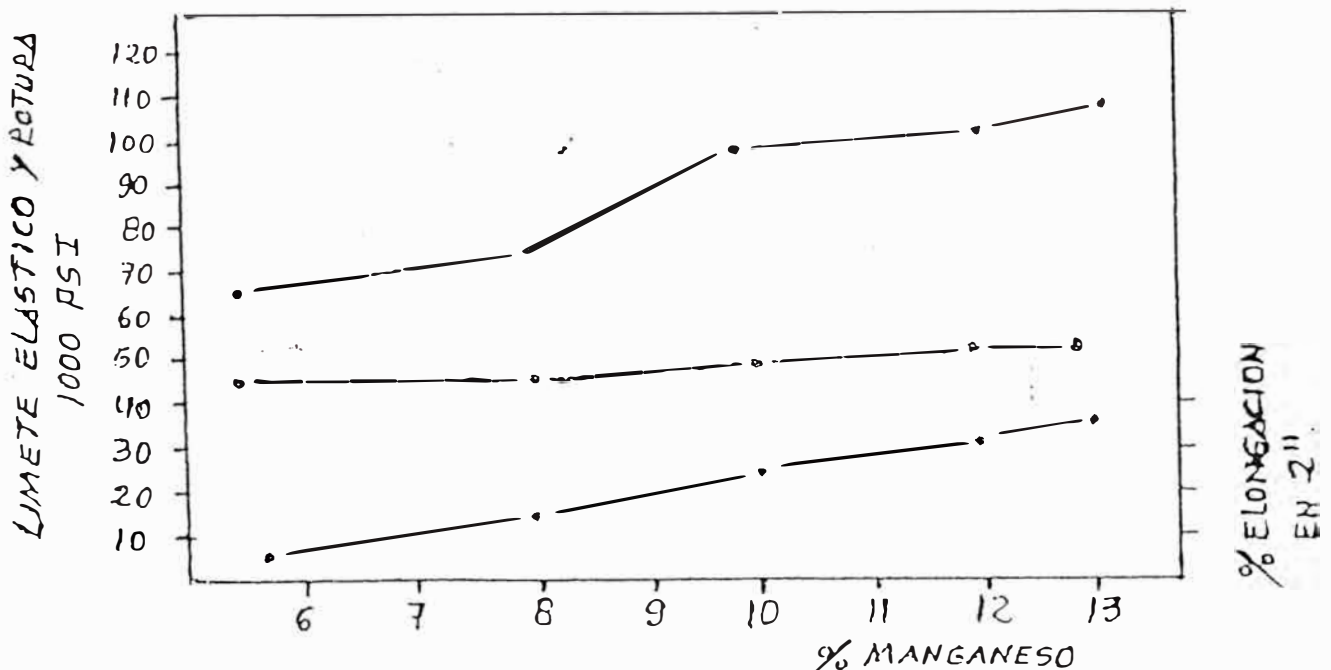


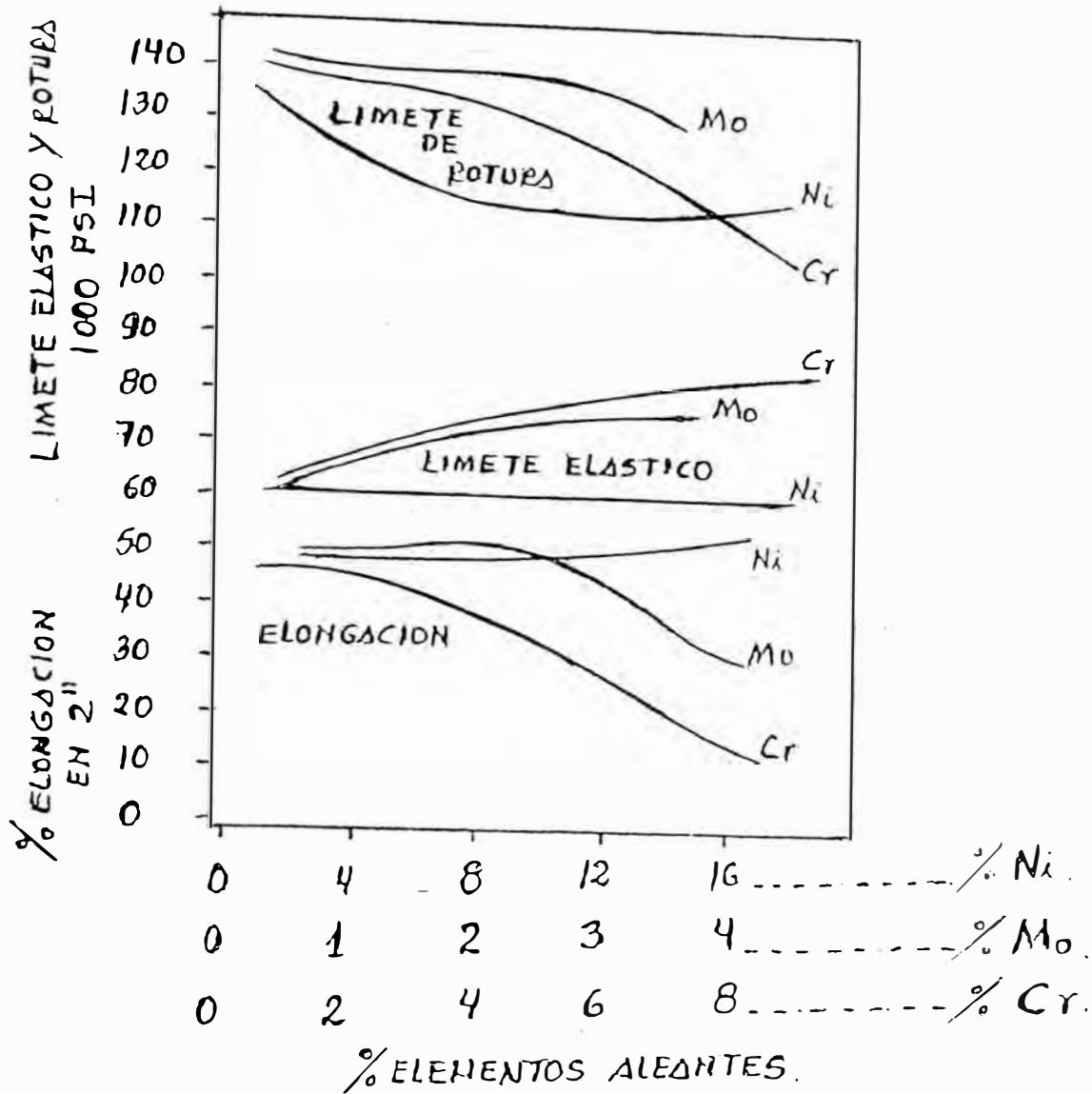
8. Efecto del fósforo en la resistencia en caliente del Acero al Mn

9. Comparación de las temperaturas M_s



10. Efecto del contenido de Mn en las propiedades de tracción de los aceros austeníticos y templados desde 990°C - 1046°C.





11. Efecto del Ni, Mo, Cr en las propiedades mecánicas de un acero austenítico al Mn, fundido en una barra de 1"φ, luego recalentado y templado en agua desde 1102°C.

% C = 1.10 - 1.25

% Mn = 14.5 - 15.5

% Si = 0.40 - 0.55

CAPITULO IV

HORNO ELÉCTRICO DE ARCO VOLTAICO

1. INTRODUCCIÓN

El Horno Eléctrico de Arco, esta diseñado para soportar grandes esfuerzos mecánicos y térmicos, su uso se halla bien difundido debido a las siguientes razones

Las instalaciones no son complejas y ocupan un espacio reducido
Se puede trabajar ventajosamente con una variedad de materia prima.

Se puede obtener económicamente aceros inoxidables, austeníticos de alto manganeso, aceros de construcción, aceros con diferentes porcentaje de carbono, aceros rápidos, etc.

Se reduce considerablemente la quema del metal y los elementos que se adicionan.

Preparado la carga se puede fundir y afinar en buenas condiciones, obteniéndose un metal calmado de calidad y con la composición requerida.

El comportamiento del H.E. se puede llegar a conocer y analizar usando una serie de fórmulas de electricidad básica, conceptos que son importantes en la fabricación de aceros, fierros fundidos, bronces, etc.

Consta de una coraza de acero recubierto internamente con material refractario, tienen un mecanismo de volteo, la tapa del horno es arqueada con tres orificios para permitir el paso de las columnas de electrodos una para cada fase. Los electrodos están acoplados a los brazos porta corriente por una mordaza y mediante un control automático

se ajusta la posición de cada columna de electrodo para mantener una impedancia constante en el circuito, y así, mantener una corriente constante. Ver figura 12.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL HORNO ELÉCTRICO

2.1 El Cilindro del Horno.

El cilindro del horno es de construcción soldada, con costillas y perfiles, hecho satisfacer los requerimientos térmicos y mecánicos. Su parte inferior esta cerrado por un fondo bombeado.

En los dos lados opuestos están colocados el pico de salida y la puerta de manejo. El pico de salida de sección cuadrada puede ser desmontada. El marco de guía de la puerta del horno viene enfriado por agua. La parte frontal y los dos lados de la camisa de la puerta del horno son enfriados por agua. El funcionamiento de la puerta del horno es hidráulico.

La tapa del horno es cambiabile, el aro de la tapa es de enfriamiento por agua, el giro de la tapa es lateral. En este caso la carga se efectúa por grúa con canasta de carga.

2.2 Mecanismo de elevación de la Tapa.

Este mecanismo se encuentra en el bastidor del cuerpo del horno. El cilindro de elevación se coloca en la estructura de soporte de las columnas de elevación de electrodos y eleva la camisa de la tapa enmarcada en el aro de la tapa mediante y elevadores de cigüeñales y cadenas. El cerrojo de la elevación y del giro de la tapa esta solucionado de tal modo, que el giro es posible solamente cuando la tapa permanezca elevada. En posición girada un dispositivo mecánico acerroja la tapa.

Los soportes de los electrodos son de tubos de pared gruesa, en el interior de los mismos se encuentra el dispositivo apretador de los electrodos. El sostenimiento de los electrodos en los hornos se efectúan mediante fuerzas de resorte. Para aflojar la fuerza del resorte sirve los cilindros hidráulicos que se encuentran montadas en los extremos de los brazos de sostén.

2.3 Las Mordazas de los Portaelectrodos.

Son fabricados de metal pesado y son enfriados por agua. El agua que sirve como enfriador circula en tubos de acero fundidos dentro de los portaelectrodos. Cada cabeza de portaelectrodo tiene varios miembros de los cuales la parte trasera es movable, mientras que los delanteros están instalados en forma elástica. De modo que el sujetado firme de los electrodos esta asegurado de todos modos. La corriente será conducida a los portaelectrodos a través de tubos de cobres de pared gruesa. Los tubos sirven al mismo tiempo para conducir y desaguar el agua de enfriamiento.

En las aberturas que están en la bóveda del horno sirven para el traspaso de los electrodos se encuentran aros de enfriamiento.

Los brazos portaelectrodos se hallan cubiertos con aislantes y están montados sobre las columnas de elevación de los electrodos.

Las columnas de elevación de electrodos están montadas junto con los cilindros de elevación. Las columnas están guiadas por rodillos ajustables provistos de cojinetes de rodillos.

El sistema hidráulico esta controlado por válvulas magnéticas, montadas sobre el bastidor de las columnas de elevación de los electrodos. De este modo las columnas de elevación de electrodos se conectan a las válvulas magnéticas por una tubería rígida que hace imposible los balanceos que son inevitables en el caso de

una tubería flexible. Al volcarse el cuerpo de horno rueda en dos rieles empotrados en la base.

2.4 Sistema Hidráulico.

El agua a presión (16-20 atm) necesaria para los movimientos hidráulicos es producida por una bomba centrífuga de varias graduaciones. El equipo del horno tiene dos bombas, una para el trabajo y otra para la reserva. Hay un tanque de hidróforo instalado en el sistema de agua a presión que asegura la uniformidad de la presión de agua y la reserva adecuada de presión.

La inclinación del horno hacia adelante y hacia atrás, el funcionamiento de la puerta, la elevación y giro de tapa se efectúan mediante válvulas de mano colocadas en los puntos adecuados del equipo. También con válvulas de mano pueden elevarse o bajarse los electrodos.

2.5 Sistema de agua Enfriadora.

El control del aro de la tapa; de la abertura de la puerta y del enfriamiento por agua de los aros enfriadores es posible gracias al embudo colocado en el cuerpo del horno, a través del cual sale el agua que viene de las partes refrigeradas. El distribuidor o tanque de agua que pertenece al sistema enfriador de los portaelectrodos esta montado en la pared que se encuentra al lado del horno.

3. PARTES ELÉCTRICAS DEL HORNO

3.1 El Transformador del Horno y la Bobina de Reactancia.

Son entregados según la variante requerida por la planta que hace funcionar el horno de arco. La tensión secundaria, según el requerimiento de la planta de fundición, puede ser ajustada en varias graduaciones por el interruptor escalonado instalado en el

lado primario del transformador. Los transformadores tienen interruptores escalonados conectables bajo tensión. La bobina de reactancia tiene su interruptor escalonado.

Las potencias de los transformadores que se ajustan a las capacidades de los hornos han sido elegidos de tal modo que aseguren las fundiciones de las cargas rápidas y eficazmente. Tanto el transformador como la bobina de reactancia son de aislamiento de aceite y de enfriamiento con aire natural. Los interruptores de escalonamiento son provistas de telecontrol mecánico.

Dicho de otro modo el transformador es un aparato que permite la elevación o reducción de un voltaje de alimentación con el consecuente efecto inverso en la conducción de corriente, es decir, altos voltajes con bajas corrientes y bajos voltajes con altas corrientes.

El voltaje del secundario del transformador varía entre 100 y 600 voltios, dependiendo del tamaño del horno y el tap de operación seleccionado.

El cambio de voltajes se efectúa con un transformador o regulador cambiador de derivaciones bajo carga en el circuito primario o con derivaciones sin carga en el primario del transformador del horno.

3.2 Las Instalaciones de Conexión

La instalación de conexión para alta tensión contiene todos los dispositivos necesarios para la conexión del transformador :

El interruptor de fase, los interruptores de corriente y de tensión, el interruptor especial de alta tensión, etc. La instalación de conexión para alta tensión esta montada en celdas de alta tensión ubicadas en el lugar del funcionamiento.

3.3 La caja de distribución

Contiene todos los dispositivos de control y de señales, interruptores magnéticos, señales luminosas, etc; que hacen funcionar las partes eléctricas del equipo del horno de arco y además finalizan la regulación automática de los electrodos.

Regulación del horno de arco :

Es de sistema electrónico-hidráulico y fuera de la válvula magnética de acabado robusto no incluye ninguna parte movible. La electrónica se compone de elementos semiconductores de silicio, que son montados sobre paneles cambiables aun bajo funcionamiento.

3.4 El regulador regula hacia el valor constante de la impedancia del arco.

Si la impedancia en el arco varia y la longitud del arco difiere de la magnitud determinada por la impedancia mediante la elevación o bajada del electrodo puede restablecerse el nuevo valor del equilibrio.

Los valores de la corriente de arco (I) que viene de los electrodos y de la tensión de electrodo (U_f) son comparados por el regulador y la señal originada por la diferencia será amplificada por los amplificadores E_1 o E_2 . Los interruptores G_1 o G_2 controlan el amplificador terminal del tiristor del regulador y este genera en la válvula magnética MV la bobina inductora de dirección arriba o abajo.

El funcionamiento del regulador es extraordinariamente rápido y prácticamente sin demora. Durante 2-3 periodos contando desde la variación de la impedancia la bobina magnetizadora ya estará en estado de excitación, la válvula se mueve y comienza la regulación de la nueva posición. La velocidad de los electrodos

puede ser ajustada entre límites amplios mediante la válvula de aguja colocada en la válvula magnética.

3.5 Interruptor o Disyuntor

Es un aparato que está del lado de alta tensión o de su llegada. Su función es conectar o desconectar el transformador de la línea de alta tensión y protegerlo de sobrecarga o de fallas por ejemplo altas temperaturas. La sobrecarga se produce cuando por algún motivo los electrodos se quedan tocando la chatarra (corto circuito) en este momento de intensidad de corriente sube por encima de lo permisible y el transformador corre grave riesgo. El interruptor entonces, luego de unos segundos, corta la corriente.

Durante la operación y estando los electrodos haciendo arco, no es recomendable cortar la corriente, es decir, abrir el disyuntor, pues esto le causa daño, lo que se debe de hacer es levantar los electrodos hasta que el arco se anule, ya sin carga el transformador, abrir el disyuntor. De igual manera para el arranque, 1ro. cerrar el disyuntor y luego bajar los electrodos para que haga arco. Ver figura 13

4. FACTORES DE POTENCIA Y SU CONTROL EN UN HORNO DE ARCO VOLTAICO

Las interpretaciones que se hacen, son recogidos de la experiencia en hornos de producción sobre el comportamiento del circuito de potencia, el arco del horno eléctrico. Dicho análisis de los fundamentos en el aprovechamiento de potencia y economía de calor, se debe, a que ellos afectan la eficiencia en potencia y la productividad de los hornos eléctricos de arco.

4.1 El arco eléctrico como fuente de calor.

El arco del horno eléctrico es una fuente extremadamente potente de calor. Su concentración de potencia varia desde 30 a 60

kilowatios por cm^3 , excediendo considerablemente los valores de la densidad de todas las otras fuentes de calor convencionales. El arco es una columna de energía radiante, la cual, por su naturaleza de columna caliente de gases y vapor, tiene cierta flexibilidad física.

El arco eléctrico es la descarga entre un punto en la extremidad del electrodo y otro en la superficie de la chatarra o del caldo. Cierta voltaje existe entre estos dos puntos conocidos como puntos calientes o pies de arco, con una distribución peculiar a lo largo de la línea central del arco.

En contraste con la radiación de calor de una resistencia, en la cual el gradiente de voltaje de cada incremento de longitud es constante, el arco eléctrico presenta una acumulación de tensión cerca de los dos puntos calientes. El voltaje y, consecuentemente, la concentración de potencia cerca de los pies del arco, son necesarias para mantener el arco a través del gas ionizado y emisión electrónica entre los dos pies de arco.

Los hornos eléctricos funcionan con corriente alterna, la polaridad de estos dos puntos cambia 100 veces por cada segundo, cuando la frecuencia de la potencia es 50 ciclos por segundo. Además, la columna del arco entre estos dos puntos calientes radia calor sobre el metal en fusión y sobre la chatarra de los alrededores. Por último, cuando las paredes del horno se encuentran despejadas de chatarra, el calor es absorbido por el refractario de las paredes de la bóveda.

4.2 Potencia del Arco del Horno Eléctrico.

La potencia del arco es el producto del voltaje por el amperaje del mismo, luego es posible controlar y gobernar la potencia de un arco mediante estos dos parámetros.

El voltaje del arco determina la longitud del mismo, mientras que la Corriente del Arco determina su sección transversal, dentro de ciertos límites. En su íntima naturaleza, el arco necesita de un elemento estabilizador en el circuito.

Este elemento estabilizador, también llamado amortiguador, esta representado por la reactancia y las resistencias de los conductores, transformador, reactancia, línea de alta tensión y otros elementos del circuito.

La función del estabilizador es limitar la corriente del arco y, por tanto, fijar sus dimensiones geométricas.

En la práctica, la potencia del arco se controla regulando el voltaje suministrado por el transformador del horno, y situado la punta del electrodo a distintas alturas sobre la superficie del baño o de la chatarra.

Los voltajes de trabajo se seleccionan por cambiador de tensiones del transformador, mientras que las corrientes son ajustados por medio de reguladores automáticos de los electrodos. Una de las características principales de este circuito es que para un voltaje dado en los bornes, la corriente del arco y el voltaje del mismo dependen de la posición del electrodo respecto a la superficie del material a fundir.

4.3 Posición del Arco y Electrodo

Una de las principales características de este circuito es que para un voltaje dado en los bordes, la corriente del arco y el voltaje del mismo dependen de la posición del electrodo respecto de la superficie del material a fundir. En otras palabras si la punta del electrodo esta muy próxima al baño, la corriente del arco crece, disminuyendo la tensión del arco. Elevando el electrodo

ligeramente y con el mismo voltaje entre la punta del electrodo y la superficie de fusión.

- Arco Corto : Resistencia de arco baja, alto amperaje, bajo voltaje del arco.
- Arco Medio : Resistencia media de arco, amperaje medio, arco voltaje.
- Arco Largo : Alta resistencia de arco, bajo amperaje, alto voltaje de arco.

Además de los efectos de la tensión y de los amperios, hay también otras diferencias en la posición del arco.

Los arcos cortos muestran un grado mas elevado de llamarada del arco que en los arcos largos, pues las fuerzas magnéticas están en razón del cuadrado de las corrientes del arco.

Un arco corto, con gran corriente concentra mas el calor bajo la extremidad del electrodo, mientras que un arco largo muestra una mayor radiación horizontal, estando el arco de longitud media entre estas dos condiciones extremas.

Un hecho importante es que la longitud del arco y la distancia entre el electrodo y el baño son dos cosas diferentes. La longitud efectiva del arco es, generalmente, mayor que la distancia vertical entre la punta del electrodo y el baño. Ver figura 14

4.4 Conicidad del Electrodo

La conicidad del electrodo eleva la temperatura de la punta, proporcionando una mejor estabilidad del arco y una mejor constancia de generación de calor en el arco. La figura 15 muestra esquemáticamente las formas geométricas de los electrodos en el horno eléctrico.

La de la izquierda es una columna de electrodo de 500 mm de diámetro, con conicidad de aproximadamente de 350 mm de la punta. También se muestra el ángulo de inclinación de la extremidad del electrodo, causa por la llama, forzando el pie del

arco hacia el exterior. La forma de lápiz del electrodo se debe a la oxidación y a la interacción química entre la atmósfera del horno y el electrodo.

Factores del desgaste de electrodos

La mecánica del desgaste de electrodo es extremadamente compleja, tal es que algunos factores no se conozcan o no se comprendan totalmente.

- a) Consumo longitudinal en la punta, consistente en la vaporización del arco, oxidación y erosión mecánica entre el caldo y electrodo.
- b) Oxidación lateral, la cual depende esencialmente de la composición, temperatura y velocidad de los gases del horno barriendo longitudinalmente la superficie del electrodo.

La temperatura de la columna del electrodo proviene del I^2R , que es el calor generado en el electrodo y aumentado por transmisión de calor del baño o de la reflexión del refractario hacia el electrodo. Ya que todos estos factores dependen de la geometría del electrodo, el diámetro del electrodo es un factor importante para el establecimiento de las condiciones óptimas de funcionamiento y para estabilizar el calor producido por el arco en un horno eléctrico.

La relación de consumos lateral y longitudinal se expresa matemáticamente en la figura 15. Debido a que el calor generado por I^2R en la mitad inferior del electrodo contribuye al calor útil del horno, lo mismo que una porción del calor de combustión del grafito, se ha encontrado que el rendimiento total en un electrodo es aproximadamente el 98%. Ello lo coloca en la categoría de equipos eléctricos de gran rendimiento similar a los transformadores.

4.5 Pérdidas Térmicas y Rendimientos Total

El rendimiento en los hornos eléctricos es del orden del 60 al 75%. Esto es notable comparándolo con los hornos de combustión, en los cuales el porcentaje de calor útil transferido a la carga es considerablemente mas baja.

las pérdidas térmicas en un horno eléctrico es de un 15 a 20% de la potencia total aplicada a dicho horno, las pérdidas de calor se realiza a través de la pared, bóveda, solera y el escape de gases. El otro 10% se debe a las pérdidas eléctricas en los transformadores, barras ómnibus, flexibles, resistencias de contacto y en los electrodos.

El estudio del tiempo y el control del mismo, tanto para el suministro de potencia como para el flujo de materiales, chatarra, escoria y baño, es de extrema importancia para utilizar eficientemente la capacidad del horno.

Teóricamente, se necesitan, aproximadamente, 330 kilowatios/hr para fundir una Tn de chatarra fría, y una adición de 30 a 60 kilowatios/hr para calentar la chatarra encima del punto de fusión.

El calor exotérmico producido por ingredientes combustibles de la carga, quemadores de oxígeno o introducción de oxígeno, puede subir la velocidad de fusión hasta un cierto límite. No obstante son necesarias precauciones en la elección de las cantidades, así como el emplazamiento de las fuentes de calor auxiliar.

Un factor muy esencial es la apropiada programación de la potencia aplicada durante la colada. Como conclusión general, al

principio de una colada con chatarra fría, los electrodos deben abrirse un paso a través de la chatarra, y los arcos, durante este periodo pueden ser relativamente largos. La radiación predominantemente horizontal de la columna del arco puede ser fácilmente absorbida por la chatarra, garantizando, así una fusión muy eficiente. A medida que la chatarra comienza a deslizarse, despejándose por ello las paredes, puede todavía seguir empleándose la máxima potencia, pero algo disminuidas las longitudes de los arcos. Así pues, desde el comienzo hasta el final de la fusión hay que ir subiendo paulatinamente la intensidad, desde un valor ligeramente inferior al de la corriente óptima, hasta que, finalmente, se alcance este valor. El acortamiento del arco logrado por este método al final de la fusión produce una mejor transferencia de calor a la carga y también protege mejor al refractario que con arco largo.

4.6 Circuito General de un Horno Eléctrico de Arco y sus efectos en la utilización de la Potencia.

Habiendo comentado la fuente de calor, veamos ahora el circuito general de un horno eléctrico de arco. La figura N° 16 muestra un diagrama de circuito simplificado, de la instalación de un horno.

Se encuentra la estación generadora, la línea de alta tensión, el transformador del horno, los conductores flexibles, los conductores tubulares encima del horno, el electrodo y el arco. Además hay instrumentos tales como medidores de kilowatios, kilowatio/hr, voltímetros, amperímetros y reostatos para la regulación de los electrodos. La parte inferior de la figura muestra los equivalentes eléctricos de los diversos elementos del circuito.

Estos consisten en elementos Reactivos (L) y elementos Resistivos (R). Para una tensión determinada, aplicada en bornes, estos valores son constantes en la practica. La única variable en el circuito, es la resistencia del arco R , expresada con una flecha inclinada. Todos los incrementos de L y R están

comprendidos en el cuadro de la parte inferior de la figura y la resistencia R variable del arco aparece a la derecha.

Una de las características más importantes de este circuito es: Que la máxima producción de calor del arco ocurre cuando la resistencia del arco es igual a la impedancia total del circuito, exceptuando el arco.

La corriente que fluye bajo estas condiciones, se denomina corriente eléctrica óptima. Si el electrodo se encuentra en posición demasiado baja, la corriente que resulta es mayor que la corriente óptima, produciéndose pérdidas de calor innecesarios en la parte resistiva del circuito eléctrico.

Si la corriente es demasiado baja, solo se utiliza parcialmente la capacidad eléctrica del sistema. Se ha comprobado que la corriente eléctrica óptima se establece cuando los hornos están funcionando con un factor de potencia entre 72 y 78%.

4.7 Características Técnicas del Horno Eléctrico de Arco y del Reactor " GANZ ELECTRICA BUDAPEST "

- Potencia Nominal del Transformador : 2000 KVA
- Perdida en Vacío : 5.53 KW
- Perdida en Corto Circuito : 6.4 %
- Peso Total : 11.2 Tns.
- Corriente Secundaria : 5770 Amp.
- Tensión Primaria : 10000 V.
- Corriente Primaria : 115.5 Amp.
- Diámetro de los Electrodo : 300 mm.
- Longitud de los Electrodo : 1800 mm.
- Regulación : Electrónica - Hidráulica
- Capacidad del Horno Eléctrico : 5 Tns.
- Los tres mástiles verticales y los brazos de carga son totalmente de metal no magnético.

- Maniobra de movimiento de la bóveda es automática y parcialmente giratoria.

REACTOR:

- ◇ Potencia Nominal : 500 KVA
- ◇ Tensión Nominal : 10 KV
- ◇ Corriente Nominal : 115.5 Amp.
- ◇ Peso Total : 2.75 Tns.
- ◇ Regulación sin Tensión

5. REVESTIMIENTO EN EL HORNO ELÉCTRICO

Revestimiento o Refractario son los materiales de construcción aptos para soportar altas temperaturas, líquidos corrosivos, corrientes de polvos y gases, etc. Los refractarios se fabrican en una amplia variedad de condiciones de servicio según la ubicación de estos en el horno: salida de gases, salida de producto, cámara de combustión, etc.

Según las aplicaciones, la cualidad principal que se requiera del material refractario puede ser : Infusibilidad a extremas temperaturas, resistencia al ataque químico de las escorias producidas, altas resistencia a la compresión a altas temperaturas, resistencia a la abrasión y a la erosión de los materiales, gases y polvos, etc.

Químicamente los óxidos constituyentes de los refractarios comunes son los óxidos de la mayoría de las escorias metalúrgicas, por lo que los refractarios son afectados, unos mas intensamente que otros, por los procesos metalúrgicos. De donde se desprende que la calidad de los refractarios exigida para su uso son muy severas. Aun así, los refractarios de mas alta calidad no son insensibles a la acción de los procesos metalúrgicos por lo que se hace necesario el control de la temperatura, composición de gas, de escoria, etc. como una manera de minimizar su acción reaccionante con los refractarios.

5.1 Composición y Punto de Fusión de los Refractarios.

La mayoría de los materiales refractarios comerciales están fabricados por uno o varios de los siguientes minerales:

a.	(FeO, MgO). (Cr ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , FeO ₃) :	Cromita
b.	(CO ₃ MgO)	: Magnesita
c.	(CO ₃ MgO.CO ₃ Ca)	: Dolomita
d.	Al ₂ O ₃ y SiO ₂ .2H ₂ O	: Arcillas Caoliniticos
e.	Al ₂ O ₃ .3H ₂ O	: Bauxita
f.	SiO ₂	: Silice
g.	CaO	: Cal
h.	MgO	: Magnesia
i.	Fe ₂ O ₃ o Fe ₃ O ₄	: Oxido de Hierro

Punto de Fusión :

Sílice	:	1724°C
Caolín	:	1740°C
Bauxita	:	1600 - 1820°C
Alúmina	:	2050°C
Magnesita	:	2165°C
Cromita	:	2050 - 2200 °C

5.2 Ubicación de los Refractarios en el Horno Eléctrico Básico

a. Fondo del Horno.

En este lugar se hallan colocados la primera o segunda fila de ladrillos refractarios ácidos, debido a su menor conductividad térmica con respecto a los ladrillos básicos. La forma que se le da es tipo cóncava, su duración se calcula en unas 1,000 colocadas. Ver figura N°17.

b. Piso del Horno.

Sobre la capa anterior, se coloca material refractario con alto contenido de MgO llamado magnesita calcinada, este se mezcla a la vez con un bajo porcentaje de agua que mezclado se va formando capas sucesivas de 4" de espesor, siendo apisonado con la ayuda de un martillo neumático, obteniéndose una masa bien compacta.

El espesor total de la capa formada esta en función del tamaño del horno puede encontrarse entre 12" a 16". Debajo del nivel de la puerta debe haber aproximadamente unas 20" de espacio sobre la superficie del fondo, para obtener un tiempo adecuado de fusión y evitar pozos que se pueden formar. Su reparación se efectúa después de un número determinado de coladas dependiendo del tipo de aleación que se esta fundiendo.

c. Línea de Escoria

La línea de escoria, de los hornos eléctricos de arco, es la que requiere de mayor reparación ya que constituye un problema a resolver desde el punto de vista de refractario. A nivel de la escoria, en los aros de la puerta de escoriado como en el de sangría, se acostumbra colocar ladrillos metal kase debido a que son muy resistentes a los golpes y deterioros por causas físicas que pudiera ver en el momento de cargar, resistente a los choques térmicos, con buenas propiedades físico químicas.

Su reparación es continuo después de una colada, mas aun si el material que se esta fundiendo es una aleación de bajo carbono.

d. Paredes Superiores

Arriba de la línea de la escoria el revestimiento se considera formado por zonas críticas o puntos calientes que generalmente coinciden con los vértices del triángulo formado por los electrodos y las áreas remanentes o menos severas. Estas paredes son revestidos generalmente con ladrillo básico calcinado y con ladrillos metal kase.

e. Hilados superiores

Por lo general se construye estas ultimas carreras superiores por el mismo material descrito para la pared superior. En algunos casos se recubre con ladrillos de cromita o cromita magnesio.

f. Tapa del horno eléctrico

Llamado también bóveda es la parte del horno mas delicado, debido a los elevados choques térmicos a que está sometido. El material usado mayormente es el ladrillo refractario con alto porcentaje de alúmina (70%) en los anillos completos utilizando piezas standard, para la parte central de la tapa donde se dejan tres huecos para el paso de los electrodos se usa refractario apisonable o plástico de alto contenido de alúmina (80-85%).

Al terminar de armar la tapa, se hace el secado, precalentando a una temperatura de 800 a 900°C durante 20 a 40 horas mediante gas propano.

La duración de la cuba es de 200 a 400 coladas.

La duración de la tapa es de 200 a 250 coladas.

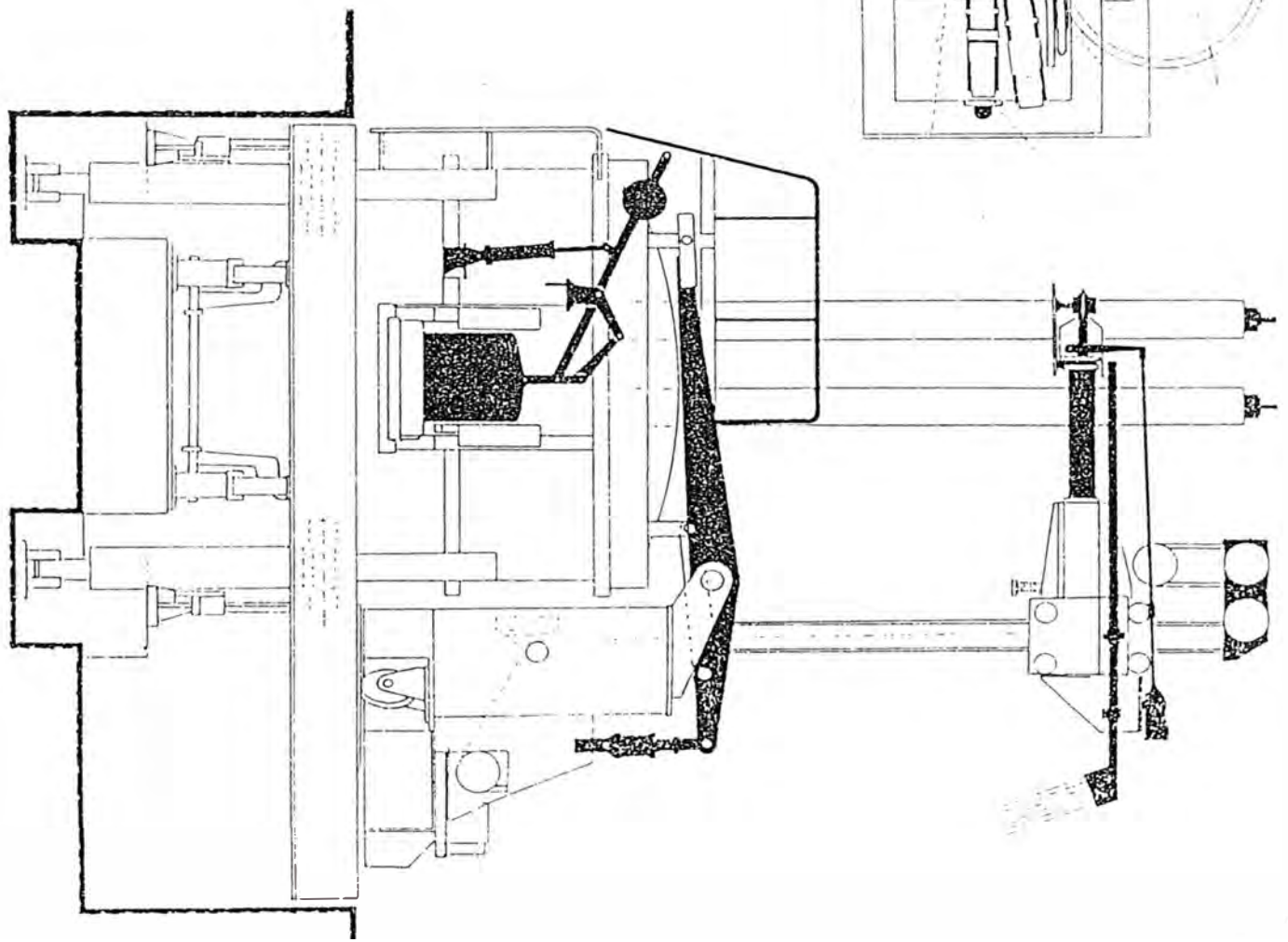
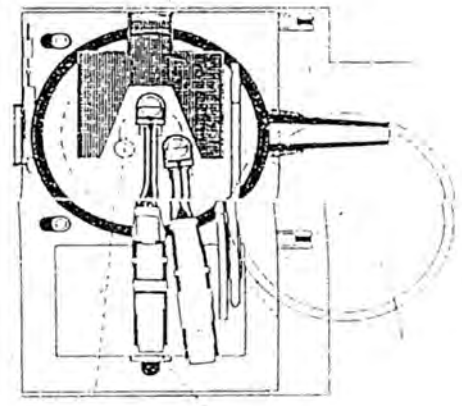
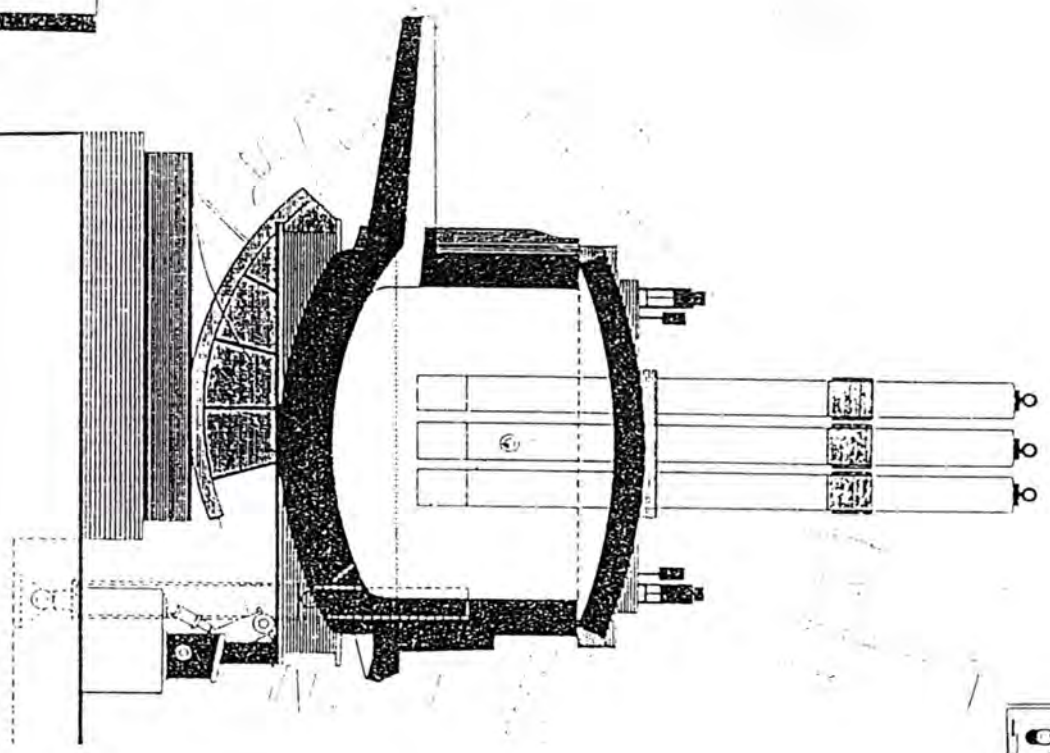
5.3 Propiedades físicas y químicas de los refractarios.

En la tabla N° 6. Se indica en forma detallada las propiedades que deben de cumplir los refractarios usados, en el horno electrico basico de arco.

TABLA N° 6

PROPIEDADES FISICAS	Unidad	Alta Alumina (Al ₂ O ₃) 80%	CB-20	REPMAG B	MAGNEX	NUCON 60	MAGNA MIX
Cono Pirométrico	P.E.E	39 - 40					
Densidad aparente	Kg/dm ³	2.76 - 2.83	3.0 - 3.05	2.75 - 2.85	3.00 - 3.05		
Porosidad aparente	%	18 - 22	20-24	18 - 22		15 - 19	
Resistencia a la Compresión en frio	kg/cm ²	352 - 564	169-247	472 - 592	275 - 324	4000-6000 PSI	
Modulo de roptura	kg/cm ²	130 - 169	63.5 - 84.5	120-180	63.5 - 98.6	1300-2000 PSI	
Variación Lineal x Recalentamiento	%	-0.6 á + 1.0 (1650°C)	-1.5 á + 0.3 (1650°C)	-0.2 á + 0.8 (1650°C)	+0.1 á + 0.6 (1650°C)	0,0 (2300°F)	
Deformación bajo carga a 1.76 kg/cm ²	%	0.5 - 1.0 (1449°C)	T. de falla 1650 - 1702°C	T. de falla 1621- 1658°C	T. de falla 1651 - 1671°C		
PROPIEDADES QUIMICAS	%						
Sílice (SiO ₂)	%	12,4	4,4	1,2	4,8	1,5	9,5
Alumina (Al ₂ O ₃)	%	83,4	19,3	0,3	12,5	11,9	1,2
Titaneo (TiO ₂)	%	2,9					
Oxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	%	1,1	12,8	1,9	5,6	6,3	2,8
Cal (CaO)	%	Trazas	0,7	0,5	0,9	0,8	4,9
Magnesia (MgO)	%	Trazas	32,4	95,5	60,5	65,6	81,6
Oxido de Cromo (Cr ₂ O ₃)	%		30,7		13,2	13,9	

12. Horno Eléctrico Voltaico



13. Diagrama del Circuito de la Instalación del Horno de Arco

Commutador Transformador: Motor V- Motor-A

Registrador de kWh; reostato de corriente

Interruptor (llave principal)

Transformador de corriente (A)

Reactor

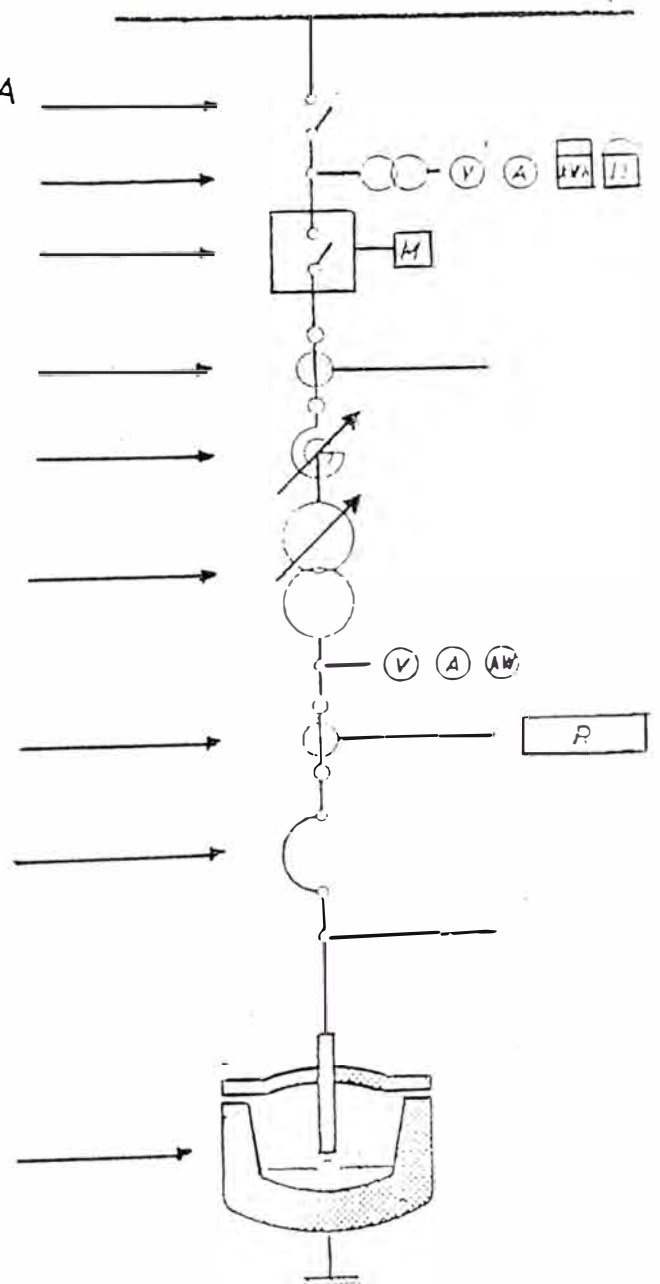
Transformador del horno

Transformador de alta Tensión

Conductor flexible de alta Tensión

Cuerpo del horno

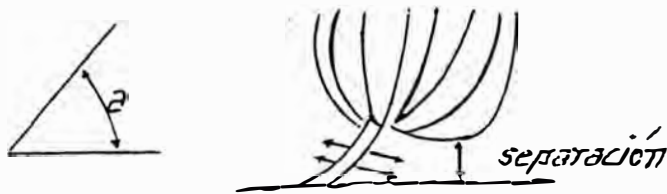
Regularizador del horno (R)



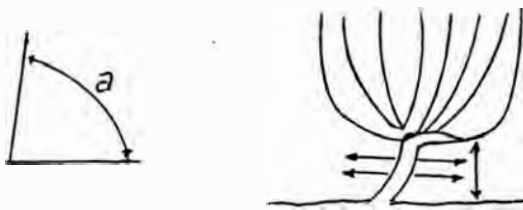
14. Posición del Arco y Electrodo



Arco corto Baja Resistencia

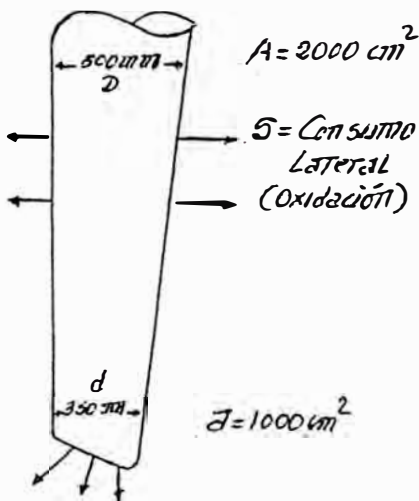


Arco Medio Resistencia Media



Arco Largo ALTA Resistencia

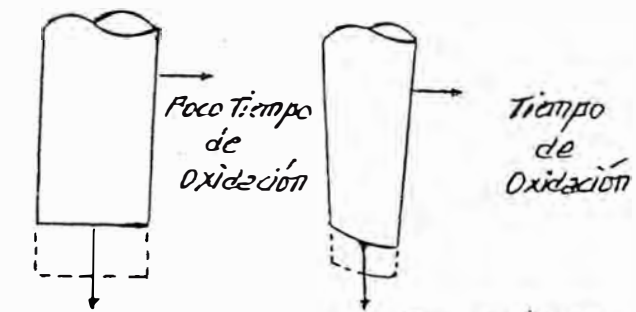
15. Conicidad del Electrodo



$$\frac{S}{L} = \left(\frac{D}{d}\right)^2 - 1$$

$$= \left(\frac{500}{350}\right)^2 - 1 \approx 1$$

S=L para conicidad Normal



L = Consumo Longitudinal

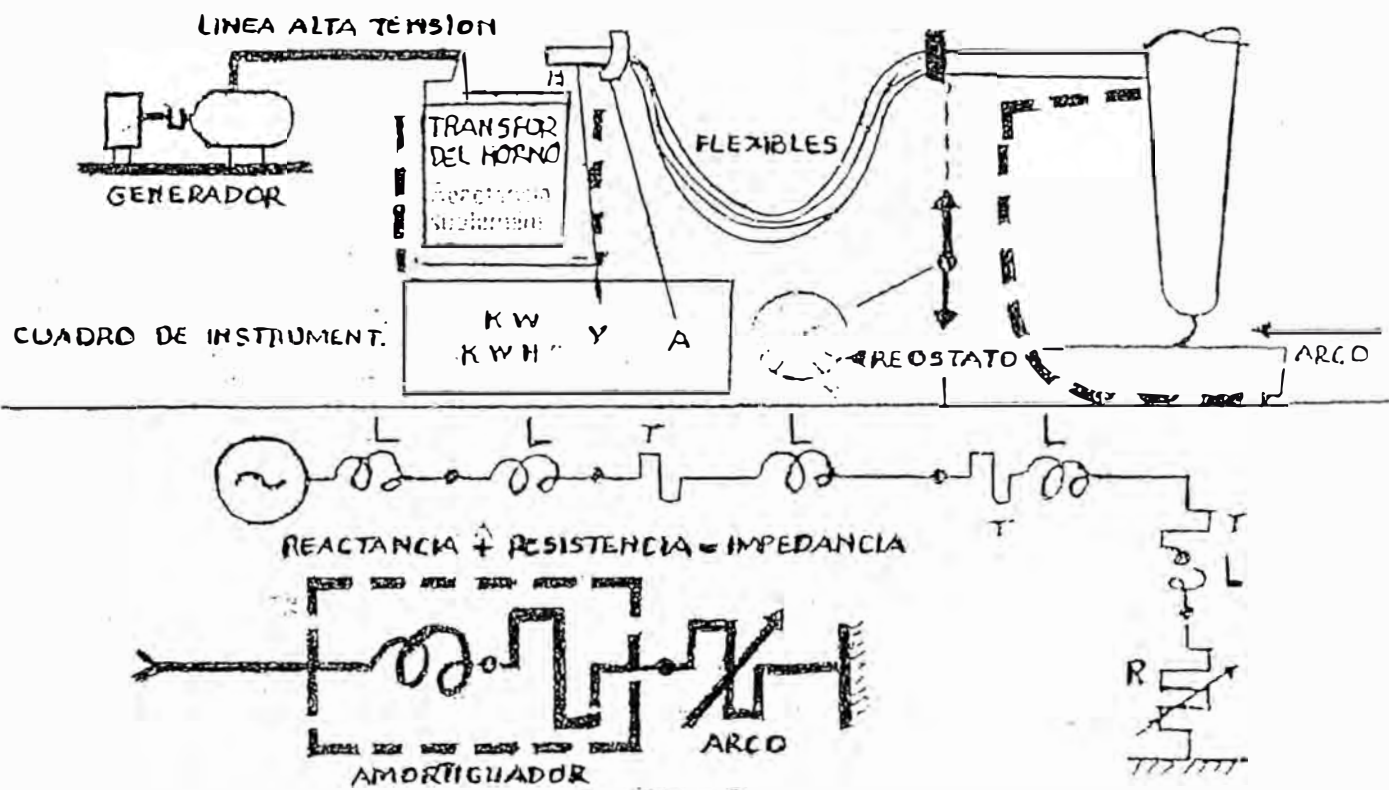
Arco + Oxidación + Erosión

L = Grande pobre

L = Pequeña buena

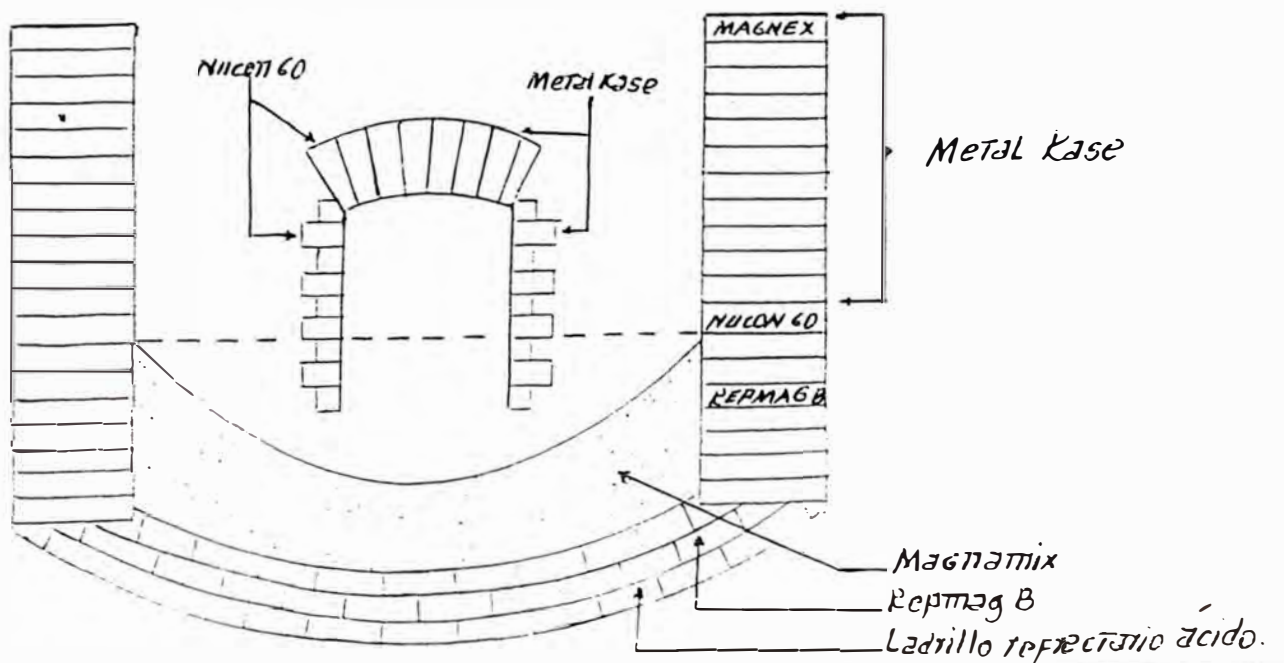
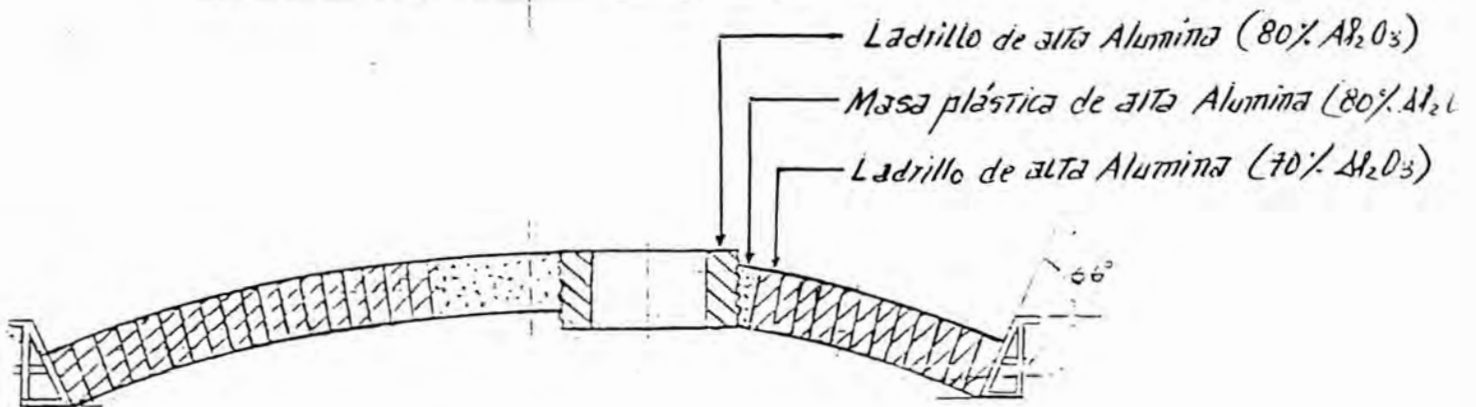
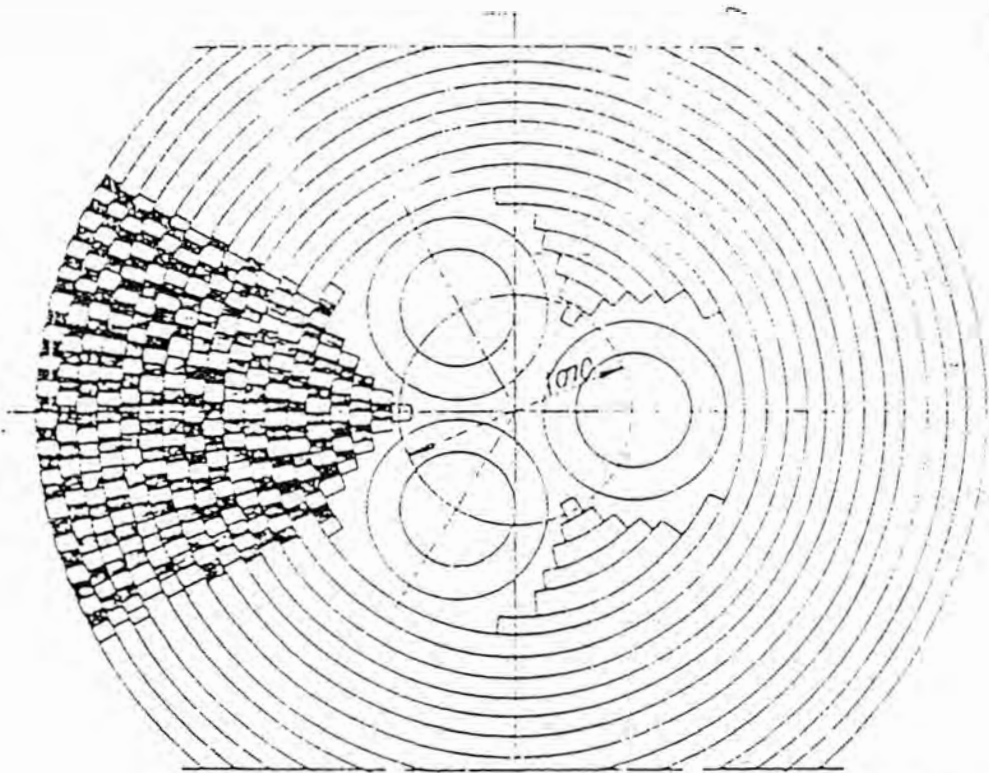
Estabilidad del Arco

CIRCUITO DEL HORNO DEL ARCO



16. Diagrama del circuito simplificado, de la instalación de un Horno Eléctrico de Arco.

17. Ubicación de Los Refractarios en el Horno Básico.



ESMERILADO Y ACABADO DE PIEZAS G.

DE MODELOS
LABORATORIO
ANALISIS
QUIMICO Y
ENSAYO ARENA

MATERIA
PRIMA

SECCION
DE
Soldadura

HORNO DE
TRATAMIENTO
TERMICO

MESCLADORA
DE
ARENA

ESMERILADO
DE
PIEZAS CHICAS

RECIRCULACION
DEL AGUA T.T.

ARENADO
DE
PIEZAS

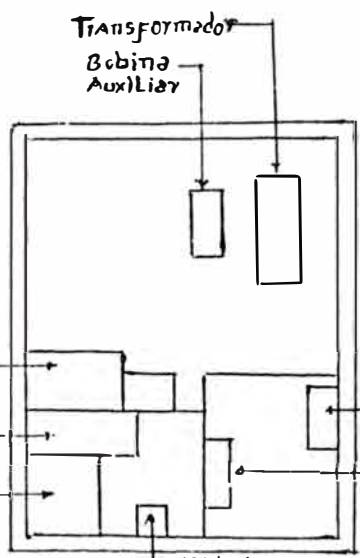
ZONA DE Colada

ALMAS

FABRICACION
DE
MODELOS

TOLVAS
CON
ARENA

DEPOSITO
DE
ARENA
DE
SILICE



HORNO
ELECTRICO
DE
ARCO

MOLDEO

MAQUINA
DE
MOLDEO

ALMACEN
DE
MODELOS

PARKUE
DE
CHATARRA

ESMERILADO
DESCALIFICADO
DESCASFIA

PESAJE DE
CHATARRA

ENTRADA PORTA
CHATARRA EN CANASTILLA

DISPOSICIÓN DE LOS PRINCIPALES EQUIPOS EN LA PLANTA DE FUNDICION

CAPITULO V

FABRICACION DE ACERO AUSTENITICO AL MANGANESO EN HORNO BASICO

1. INTRODUCCIÓN.

Uno de los principales insumos en el costo de un acero es el chatarra, por eso se debe clasificar adecuadamente la chatarra desde un punto de vista químico, densidad, tamaño, grado de oxidación, limpieza. Una de chatarra de esta calidad tiene poca tendencia a formar cortos circuitos, baja mas uniformemente durante la fusión y se obtiene un acero de buena calidad. Si químicamente nos piden un acero con 1.2%C, 12% Mn, 0.5% Si; P y S por debajo de 0.05% debemos de buscar chatarra que se adecúe a la especificación que nos piden. Debemos de saber que dentro de la chatarra hay elementos oxidables (C, Mn, Si, Cr) y difíciles de oxidar (Mo, Ni, Cu, Sn). Cuando es baja la calidad de la chatarra aumenta los tiempos de colada, afino y conducen a un mayor índice de fracturas de electrodos, debido a su tamaño y materiales no conductores.

2. MATERIA PRIMA

La carga formada para la elaboración de estos acceso, esta compuesta generalmente por retornos del mismo producto (40% a 70%), chatarra de acero dulce y su variación (25% a 50%), ferroaleaciones y caliza. Ver tabla N° 7

Es importante tener en cuenta las especificaciones ya indicadas anteriormente como, composición química de la carga, grado de oxidación y contaminación de la misma, colocación de la carga en el horno. Con respecto a este último esta relacionado a un tiempo mínimo de fusión, a la ausencia de caídas de carga que pueden romper los electrodos, a la formación rápida de un baño líquido sobre el piso para proteger a este de la acción de los electrodos.

Por lo tanto como norma general se coloca en el fondo del horno una capa pequeña de chatarra liviana que sirve de colchón, luego la chatarra dura y pesada, terminando en la parte superior con una chatarra liviana. La cal, espato fluor deben de cargarse en el horno cuando la carga esta fundida en un 70% a 80%, es una práctica pésima de cargar la caliza en el fondo de ella ya que se solidifica y deteriora al refractario de igual manera no se debe de colocar la caída en la parte superior ya que se tendría dificultades al comenzar a trabajar, debido a que es un material no conductor.

Análisis químico de la chatarra.

Tabla N° 7

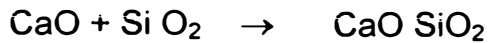
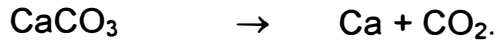
Materia Prima	% C	% Mn	%Si	%Cr	% Mo
Retorno Ac. Mn "COMESA"	1.25	12.00	0.60	0.54	
Retorno Ac. Mn "MEPSA"	1.20	12.00	0.50	0.52	
Lingotes	2.60	1.45	1.33	0.75	
Retorno Ac. Mn "Funcal"	1.10	11.50	0.60	0.60	
Chatarra de Acero Dulce	0.20	0.40	0.40	0.30	
Retorno Ac. Mn 43 "COMESA"	1.18	12.30	0.60	0.47	0.50
Chatarra Ac . Arequipa	0.20	0.35	0.08		
Retorno Fierro fundido gris	3.10	0.60	1.70	-	-

3. MATERIALES ESCORIFICANTES Y FUNDENTES.

Son los materiales agregados 2 las cargas de los hornos y que reacciona con las partes oxidables (gangas, cenizas de combustión, etc.) para formar mas fase líquida denominada escoria.

3.1 Caliza. (CaCO₃)

Es el fundente básico mas común, utilizando tanto en la metalurgia ferrosa como no ferrosa. La caliza se descompone a alta temperatura en CaO y CO₂ ; el CaO es absorbido íntegramente para formar escoria.



Composición

CaO₃ = 96% SiO₂ = 2% máx.

CaO = 54% Al₂O₃ = 1% máx.

CaO₂ = 42% residuos = 3% máx.

3.2 Espato Fluor (CaF₂)

Llamado también fluoruro de Calcio, es un óptimo fluidisante de la escoria. El espato su uso debe contener más de 85% de CaF₂ y no más de 0.3% de Azufre.

Las otras impurezas están constituidas por carbonato de calcio, sílice, óxido de aluminio y hierro. El exceso en su adición daña el revestimiento refractario.

4. MATERIALES DE ALEACIÓN Y DESOXIDANTES.

Los ferroaleaciones son los aditivos siderúrgicos más característicos que se agrega al baño metálico durante la aceleración, con la finalidad de mejorar las propiedades finales deseados, entre otros fines se usa como desoxidantes, desulfurantes, para controlar el tamaño de grano de los cristales en la estructura del acero a obtener

4.1 Ferro - Manganeso (Fe - Mn) :

Es un elemento de aleación prácticamente esencial en los aceros austeníticos, se adiciona generalmente en el horno una buena cantidad cuando se requiere que el acero contenga un porcentaje importante de este elemento y en cantidad limitada en la cuchara al momento del colado como desoxidante.

El rendimiento metálico de solubilidad es de 98 - 99%. El Manganeso aumenta la profundidad de temple, tampoco es

despreciable la tendencia a formar carburos. Da un aumento a la resistencia a la tracción.

Composición ;Ver tabla N° 8 :

Tabla N° 8

	% Mn	%C	%Si	%P	%S
Fe - Mn alto carbono	77	7	0.8	0.07	0.01
Fe- Mn medio carbono	80	1.5	1.0	-	-
Fe - Mn bajo carbono	85	0.88	0.63	0.17	0.10

4.2 Ferro Silicio (Fe - Si).

La composicion ver tabla N° 9.

La acción de esta ferro-aleación. Como desoxidante es mucho mas enérgico que el del manganeso. Se adiciona comúnmente en la cuchara en el momento de la colada. El tamaño adecuado a usar es de 1/2" - 3".

Tabla N° 9

	%Si	%C	%Mn	%P	%S
Fe - Si 45%	45	0.10	0.40m	0.035m	0.025m
Fe - Si 75%	75	0.10m	0.75m	0.040	0.025m

4.3 Ferro - Cromo (Fe - Cr).

Su característica principal es que forma carburos con el carbono contenido en los aceros. El Fe-Cr se adiciona durante el periodo de reducción ya que durante el periodo de la desoxidación se oxidaría.

El rendimiento de esta aleación es de 97% - 98% en aceros de bajo contenido de Cromo, y en los de alto contenido sera 95%. El tamaño adecuado es de 2" - 4".

En los aceros de alto carbono, aumenta la resistencia a la abrasión. Composición ver tabla N° 10

Tabla N° 10

	%C	%Mn	%Si	%Cr	%P	%S
Fe-Cr alto carbono	7.49	-	2.90	51.99	0.013	0.02
Fe-Cr bajo carbono	0.054	-	0.40	71.10	0.015	0.005

4.4. Ferro - Molibdeno (Fe - Mo)

Tiene un punto de fusión de 2622°C por lo que la única forma que se puede adicionar el molibdeno al estado metálico es en la forma de Fe - Mo . El tamaño adecuado de uso es de 3/4" - 3". La adición de Mo hasta 2 % aumenta el límite elástico sin disminuir la ductilidad o resistencia a la tracción. Composición ver tabla N° 11:

Tabla N° 11

	%C	%Mn	%Si	%Mo	%Cu	%S	%P
Fe - Mo	0.6	-	0.90	63	0.15	0.10	0.07

4.5 Aluminio (Al)

El poder desoxidante de este material metal supera largamente al del silicio. Se usa como adición final en la cuchara completa la desoxidación y favorece la desgasificación y permite el control de la estructura del acero, provocando la formación de granos de dimensiones menores que confieren a los aceros mejor calidad. Se encuentra en el comercio con 98-99% de pureza.

5. MARCHA DE FUSIÓN EN UN HORNO ELÉCTRICO.

La preparación de la carga es de gran importancia para la buena marcha de la operación, por lo tanto es importante que la chatarra este bien compartida en el horno, es decir que en la parte superior se ubique la chatarra liviana, en la parte baja la pesada y en el fondo una cama de rebabas que amortigüe la caída de la chatarra pesada, y a la vez alcanzado por el arco rápido para formar un baño liquido sobre el piso, para protegerlo de la acción de los arcos.

Antes de encender el horno se debe de regular el transformador y el reactor, recordando que antes de cambiar taps en el transformador y reactor es necesario desconectar la corriente en el switch principal.

En los primeros minutos del arranque (10 minutos), se recomienda no trabajar con toda la capacidad del transformador del H.E., esto, con la finalidad de proteger el refractario de la bóveda, que se encuentra a poca distancia de los electrodos y la chatarra y cuya radiación generada resultaría peligrosa por las altas temperaturas alcanzadas en esa zona, de allí que es recomendable operar en TAP IV 101 (Transformador) y TAP IV 101 (transformador) y TAP I 4/4 (Reactor) y los reostatos entre 7 y 13. Luego de los minutos de operación se pone en STOP el H.E. y el transformador se cambia a TAP VI 116 pero manteniéndose los indicadores de KA entre 6 y 7 durante el periodo de fusión graduándose los conmutadores o reostato.

Después de un cierto periodo de tiempo, cuando los electrodos hayan alcanzado el fondo del horno y comienzan a subir haciendo nuevamente charcos fundidos debajo de ellos mismos, y haya pasado el peligro de que caiga carga pesada sólida sobre los electrodos el reactor puede ponerse en TAP III 2/4.

Cuando la carga ha sido fundido entre un 75% - 80% (estado pastoso) se le adiciona la caliza y el espato flúor en un 0.72% y 0.28% de la carga total para darnos una escoria reductora y fluida en ese instante se

cambia el transformador en TAP III 87 y el reactor a TAP V 0. Después de unos 10-15 minutos se pone en STOP, y por intermedio de un rableador se comienza a mover la carga que se halla en los alrededores hacia el centro con la finalidad de disminuir el tiempo de fusión. Para reiniciar el proceso se mantiene el mismo TAP anterior. Al transcurrir un cierto período de tiempo, se pone en STOP y se mueve la carga que ha sido fundido y verificar si en el fondo queda algo por terminar de fundirse, hecho esto se desoxida el caldo y se impide la pérdida de carbono agregándole 0.10% de Aluminio y 0.20% de Silicio.

Después de unos 10 minutos se pone en Stop, y el caldo se homogeniza con el rableador luego se saca una muestra representativa con una cuchara para su respectivo análisis químico previo en el laboratorio. Al reincidir el proceso se pone el transformador en TAP I 67 y el reactor en TAP V 0. Obtenido el resultado de laboratorio se hace el ajuste respectivo de la composición si es necesario de acuerdo a los rangos exigidos por normas internacionales técnicas, estos ajustes generalmente se hacen con respecto al carbono y manganeso.

Si por algún motivo los resultados de análisis no son compatibles con los cálculos teóricos, se saca nuevamente una muestra representativa para verificar la composición ideal y si dicha muestra arroja resultados positivos entonces continua con el proceso. Después de unos minutos se pone en STOP, mediante una termocupla se toma la temperatura si como resultado se obtiene 1560°C significa que llega el momento del sangrado. Para esto se eleva los electrodos a su nivel mas alto y se apaga el H.E. El metal fundido es recibido en una cuchara y en la misma se le hace el escoriado, luego se procede a desoxidar e inocular con 0.05% Al y 0.20% Si para piezas comunes, y con 0.25% Graphidox para piezas importantes a continuación se traslada la cuchara con una grúa al lugar donde se encuentra los moldes para colarlos realizándose a una temperatura de 1450°C. Balance de carga ver tabla N° 12

BALANCE DE CARGA

Tabla N° 12

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA REQUERIDA			110-120		0,60-0.80		13-13.50		0.60 max		0.90		0.05	0.05
Materia Prima	Peso	%	%C		% Si		% Mn		% Cr		% Mo		%P	% S
Retorno A	2950	59.00	1.18	0.70	0.59	0.35	13.00	7.67	0.45	0.26	0.90	0.53	0.01	-
Retorno B	550	11.00	1.24	0.14	0.60	0.07	12.00	1.32	0.57	0.06				
Fe-Mn alto C	170	3.4	7.00	0.24	0.80	0.03	77.00	2.61	-	-			0.07	0.01
Chatarra Acero	1225	24.50	0.40	0.10	0.40	0.10	0.40	0.10	0.30	0.07			-	-
Retorno C	105	2.1	1.10	0.02	0.60	0.01	11.50	0.24	0.60	0.01			-	-
Total	5000													
Resultado Teórico				1.20		0.56		11.94		0.40		0.53	-	-
Merma Fusión			-		0.10		0.60	0.07	0.05					
Resultado Colada			-	-		0.56		11.87		0.40		0.53		
Para Ajustar				-		0.14		1.38		0.20		0.37		

Aditivo en el horno:

Caliza	= 36 Kgs
Espato Fluor	= 14 Kgs
Grafito Molido	= 6 Kgs
Fe - Mo	= 27.75 Kgs
Aluminio	= 5 Kgs
Fe - Si	= 10 Kgs

Aditivo en la Cuchara:

Aluminio	= 2.5 Kgs
Graphidox	= 1.25 Kgs

Ajustando la tabla No 12

Para el Manganeso :

$$1.38 \times \frac{100}{77} \times 50 = 89.61 \text{ kgs.}$$

Para el Silicio:

$$0.14 \times \frac{100}{75} \times 50 = 9.33 \text{ kgs.}$$

Para el Cromo :

$$0.2 \times \frac{100}{71.10} \times 50 = 14 \text{ kgs}$$

Metal Procesado :

AAC - 43 + 0.90 % Mo

Total Procesado : 500 kgs.

KWH/Tn : 302

Total KWH : 1510

Tiempo Empleado : 3hrs.

6. FORMACIÓN DE ESCORIAS REDUCTORAS EN HORNO ELÉCTRICO.

La metalurgia del horno eléctrico tiene las siguientes características.

- a. Temperatura más elevada y mas fácilmente regulable; de aquí el empleo de escorias mas refractarias con otras propiedades.
- b. Posibilidad de tener una atmósfera neutra o reductora de aquí que sea posible el empleo de escorias muy reductoras, con proporciones extremadamente pequeñas o nulas de óxidos de hierro libre.

En realidad, la mayor parte de los aceros de horno eléctrico se fabrican con recubrimiento básico, ya que efectivamente en estas condiciones es cuando se puede aprovechar las particularidades y ventajas de este proceso, ventajas que residen esencialmente en la posibilidad de una desoxidación y una desulfuración total.

Entre el metal y la escoria se establecen equilibrios : el óxido de hierro, en particular, se reparte entre el metal y la escoria, según la ley de repartición (LEY DE NERNST), según la cual, a una temperatura dada la razón entre oxido de hierro del baño y el de la escoria es constante

$$\frac{[FeO]}{(FeO)} = k$$

Esta constante K es función de la temperatura esta ley de reparto es general y se refiere a la repartición de todo constituyente de un sistema entre los disolventes no miscibles.

Tenemos según esto, una posibilidad, teóricamente simple, para disminuir el contenido de oxido de hierro del baño metálico : actuar sobre el de la escoria. Bastará tener en contacto con el baño una escoria con una proporción de óxido de hierro tan pequeña como sea posible, y dejar en contacto metal y escoria bastante tiempo para que pueda

establecerse el equilibrio, a medida que el óxido de hierro pase del metal a la escoria se le destruirá en ella por acciones reductoras y se llegara así a contenidos de oxido de hierro en el metal tan pequeñas como se desee, y, esto sin haber producido en el metal ningún residuo, puesto que la reacciones de desoxidación, propiamente dichas, se han verificado enteramente en la escoria.

6.1 Razones de uso del Horno Eléctrico.

6.1.1. Para que el metal y la escoria puedan reaccionar, es preciso que la escoria este bien fluida, o sea, que tenga una temperatura elevada. Como veremos, la escoria contienen siempre una gran proporción de cal, a pesar de la adición de fundentes, su fusibilidad es pequeña.

6.1.2. El carácter desoxidante de la escoria no puede ser manteniendo mas que en una atmósfera neutra o reductora. Solo el horno eléctrico permite tener una atmósfera reductora, gracias a la ligera combustión de los electrodos. Se reúnen, pues, en el horno eléctrico, las condiciones para realizar una buena desoxidación por difusión. Eliminada cuidadosamente la escoria oxidada, formada durante el periodo de fusión, se forma sobre el baño una nueva escoria llamada escoria blanco, mezcla de cal, espato, flúor y coke. Pasados varios minutos se comprueba la composición de la escoria que, después de la solidificación, debe ser solo coloreada, gris o blanca. Si es coloreada, lo que ocurre cuando contiene óxido de hierro libre, se añade coke en forma de polvo y repartido por toda la superficie. Se rectifica igualmente la fluidez, si es necesario, con adiciones de espato en escorias muy espesas, o de cal, en las muy fluidas.

Por la acción del arco sobre la mezcla cal-coke, se forma en la escoria carburo de calcio, que acentúa su carácter reductor la proporción varía naturalmente, con la de coke. Es sensible cuando la escoria está constituido por cal-coke. Espato en la relación 6:2:1. Se reconoce cómodamente la presencia arrojando sobre el agua algunos trozos de escoria: se percibe, entonces el olor característicos del acetileno, o mas bien, de sus impurezas habituales.

La escoria formada, muy reductora, se deja en contacto con el baño durante bastante tiempo, para que el óxido de hierro disuelto en el metal tenga tiempo de difundir y reducirse dentro de la escoria: el periodo de desoxidación puede durar dos o tres horas según el grado de pureza deseado.

Durante este tiempo la composición de la escoria se mantiene constante con adiciones convenientes de cal, espato y coke. Además del coke, se emplean frecuentemente otros reductores, cuando se quiere conseguir una desoxidación enérgica. Ejemplo, el Ferro-silicio en polvo, repartido sobre la superficie de la escoria, o reductores mas enérgicos aún, como el siliciuro de calcio o aleaciones de silicio-aluminio.

Durante este periodo de desoxidación la composición del baño puede conocerse mediante análisis. En este momento es cuando se añaden los elementos especiales, mas o menos tarde, según la sensibilidad que tengan estos elementos para la oxidación. La introducción prematura de un elemento oxidable, tal como el cromo, en un baño desoxidado insuficientemente, extrañará una pérdida de cromo, mientras que si se añade demasiado tarde no habrá tiempo suficiente para la decantación y eliminación de

impurezas e inclusiones aportado por la ferro aleación o formados por el baño.

La operación termina antes de la colada, ajustando la composición del acero al tipo deseado.

6.2 Preparación del Escoria carbúrica en el horno eléctrico.

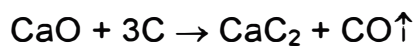
El objetivo es formar carburo de calcio (CaC_2) es cual es un poderoso desoxidante.

Una vez fundida la carga se prepara la mezcla de cal y fluoruro de calcio según :



y se agrega al horno, luego se cierra la puerta y se aumenta el arco para que la temperatura del baño aumente.

REACCIONES:



- a) $\text{CaC}_2 + 3\text{FeO} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{CaO} + 2\text{CO}$
- b) $\text{CaC}_2 + 3\text{MnO} \rightarrow 3\text{Mn} + \text{CaO} + 2\text{CO}$
- c) $\text{CaC}_2 + 3\text{SiO}_2 \rightarrow 3\text{Si} + 2\text{CaO} + 4\text{CO}$
- d) $\text{CaC}_2 + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{SiC} + \text{CaO} + \text{CO}$

Esta escoria es bastante desoxidable. Con 4% de carburo de Calcio se vuelve agresiva y llega a corroer el refractario algunas veces. Su color es plumiza o negra, no es brillante sino color mate, presenta manchas blancas debido a la presencia del SiO_2Ca .

El inconveniente es que el baño se puede recalentar en el afán de conseguir el carburo de calcio, la ventaja es que al final tiene menor del 0.5% FeO. El índice de basicidad de la escoria varia de 3 a 4: $\text{CaO} / \text{SiO}_2 = 3 - 4$

7. ELIMINACIÓN DE INCLUSIONES NO METÁLICAS EN LA SUPERFICIE DE LA INTERFASE ACERO-ESCORIA EN HORNOS ELECTRICOS DE ARCO

Una propiedad interesante de las escorias metalúrgicas es su capilaridad eléctrica, que es debida a la formación de una doble capa eléctrica en la interfase escoria-baño metálico en todos los procesos metalúrgicos. La aparición de esta doble capa eléctrica se explica por la absorción de los aniones sobre la superficie del baño metálico, por ejemplo de O^{2-} , de tal modo que la escoria se carga de electricidad positiva, y el baño metálico de electricidad negativa. Tendiendo, en general, las cargas metálicas a situarse en la superficie de las fases de sentido contrario, se atraen entre ellas, lo que da lugar a su colocación a ambos lados del límite de las dos fases.

La doble capa eléctrica tiene una gran influencia sobre la marcha de las reacciones entre la escoria y el baño, como en todos los procesos químicos, por la creación de una barrera de potencial en el límite entre las fases.

Por otra parte, es sabido que las fuerzas de tensión interafásica actúan en la superficie de las dos fases y tienden a disminuir el área de la superficie de separación. Por el contrario, en la doble capa eléctrica, y debido a la repulsion electrostatica entre particulas de la misma carga, el area de separacion entre las fases tiende a aumentar. En consecuencia, las cargas eléctricas existentes tienden a disminuir la tensión interfásica, lo que aparece expresado en la relación de Lippman:

$$\frac{d\sigma}{d\varphi} = -\varepsilon$$

en la que :

σ : es la tensión interfásica;

φ : es el potencial eléctrico;

ϵ : es la densidad de las cargas eléctricas en la superficie del baño metálico

En este caso, si se aplica un potencial eléctrico exterior que neutralice las cargas existentes en el límite de las dos fases. la tensión interfásica debe aumentar hasta un máximo correspondiente a la neutralización de todas las cargas eléctricas de la capa. El aumento continuo de potencial eléctrico aplicado producirá la disminución de la tensión interfásica.

El fenómeno de electrocapilaridad descrito ha sido estudiado con diferentes sistemas electrolíticos incluidas las sales fundidas, habiéndose observado también en sistemas metalúrgicos. De tal modo, que determinando por rayos X la forma y dimensiones de la gota de aleación hierro - carbono - fósforo, entre 1,350 - 1,500°C, bajo escoria compuesta de CaO, Na₂O, Al₂O₃ y SiO₂ se ha comprobado la variación de la tensión interfásica en función de la tensión eléctrica aplicada

Basándose en estos datos, puede considerarse que el fenómeno de electrocapilaridad se manifiesta en la interfase escoria - baño metálico cada vez que se aplica al sistema una tensión eléctrica exterior, incluyendo la de los hornos eléctricos trifásicos de arco empleados en la fabricación del acero. En este último caso, la tensión eléctrica es alterna, no continua como en las experiencias anteriores. Esto implica que el potencial eléctrico aplicado al sistema escoria - baño metálico de cada electrodo, separadamente, varía con la frecuencia industrial entre los valores máximos positivo y negativo, pasando doble numero de veces por el valor cero y por cualquier otro valor a excepción del máximo y mínimo.

En consecuencia, el potencial eléctrico aplicado al sistema pasa un número de veces, que es doble del de la frecuencia, por el valor que compensa totalmente la carga de las capas eléctricas dobles que se localizan en el límite escoria-baño. La tensión interfásica tendrá en ese momento un valor máximo. El valor mínimo de dicha tensión interfásica se alcanza cuando se aplica el potencial máximo y mínimo, tal como puede verse en la figura N° 13 , en la que

φ_0 representa el potencial eléctrico correspondiente a la compensación total de las cargas de las capas eléctricas dobles.

El cambio de la tensión interfásica con el tiempo dará lugar a la variación de la forma y dimensión de la superficie de separación escoria-baño metálico, provocando la formación y provocación de ondulaciones semejante a olas.

Dado que el potencial eléctrico momentáneo se desfasa 120° entre los tres electrodos del horno, puede suponerse que las ondulaciones de la superficie interfásica provocadas aisladamente por cada electrodo no se anularan a consecuencia de su interferencia y que se propagaran hasta las paredes del horno. En consecuencia, en los hornos eléctricos de arco, en la superficie de separación escoria-baño metálico se produce un fenómeno complejo oscilatorio esquematizado en la figura N° 19 y comprobado sobre modelo en el que el baño metálico se ha representado por mercurio y la escoria por una solución molar de cloruro sodico.

El fenómeno que describimos es de gran importancia para explicar el mecanismo de los procesos físicos y químicos que tiene lugar durante la fabricación del acero en hornos eléctricos, debido a que la superficie interfásica escoria-baño metálico en la que se produce presenta en estos hornos un área mucho mayor que en otros medios de fabricación. Además, debido al ondulación continua de la superficie de separación, las partes de escoria y baño metálico que entran en contacto se renuevan continuamente. Esto acelera el proceso de oxidación de los elementos aleantes, así como la desulfuración y desoxidación del acero.

Se aumenta también el paso de inclusiones no metálicos del acero a la escoria, ya que los fenómenos de superficie juegan un papel decisivo en el proceso de eliminación de inclusiones sólidas o líquidas del baño metálico. Se ha demostrado, que la inclusión que se aproxima a la superficie del metal líquido (figura N° 20) puede permanecer justamente debajo de la superficie sin emerger (buen mojado de la inclusión por el metal) o puede escapar a través de

la superficie y flotar sobre ella (si no hay mojado). En el primer caso la inclusión puede ser arrastrada dentro del baño por una corriente descendente.

El escape de la inclusión sólo puede producirse espontáneamente si tiene lugar una disminución de la energía libre superficial del sistema, lo que ocurre solamente cuando el valor de la tensión interfásica es mayor que la diferencia entre los valores de las tensiones superficiales de la inclusión y del metal ($\sigma_{m-i} > \sigma_i - \sigma_m$). Se admite también que el valor de la tensión interfásica σ_{m-i} disminuye generalmente mucho por la formación en la superficie de la inclusión de una capa de absorción Fe^{2-} / O^{2-} , es decir, de una capa eléctrica doble.

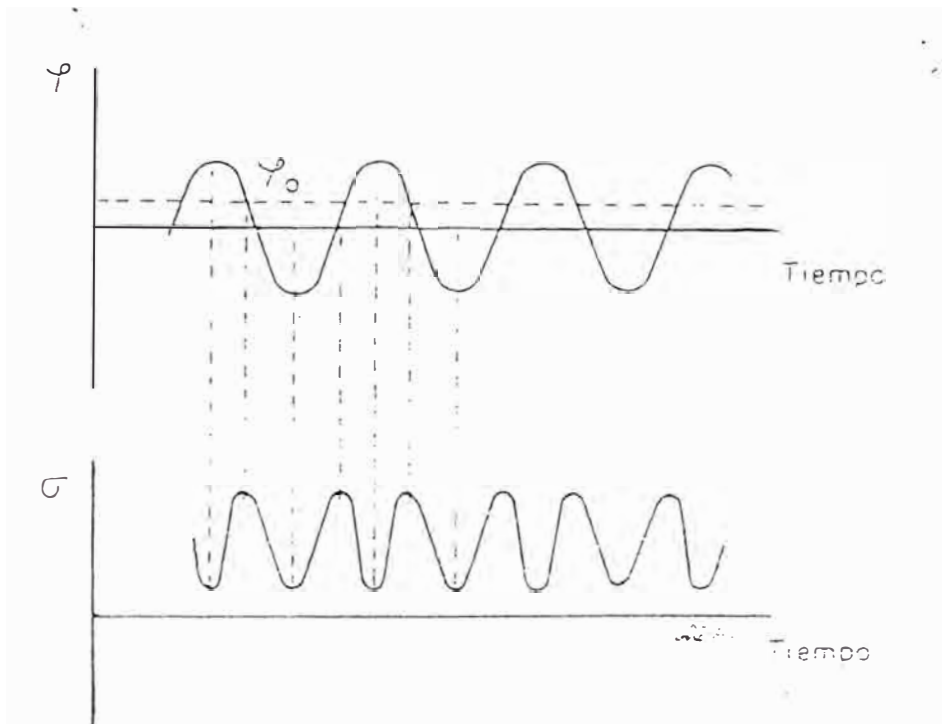
En consecuencia, la aplicación de un potencial eléctrico exterior que neutralice las cargas eléctricas de la capa debe favorecer el aumento del valor en la tensión interfásica metal-inclusión y, por ello, la eliminación de las inclusiones no metálicas de acero.

Esta conclusión se ha comprobado también con el modelo presentado anteriormente.

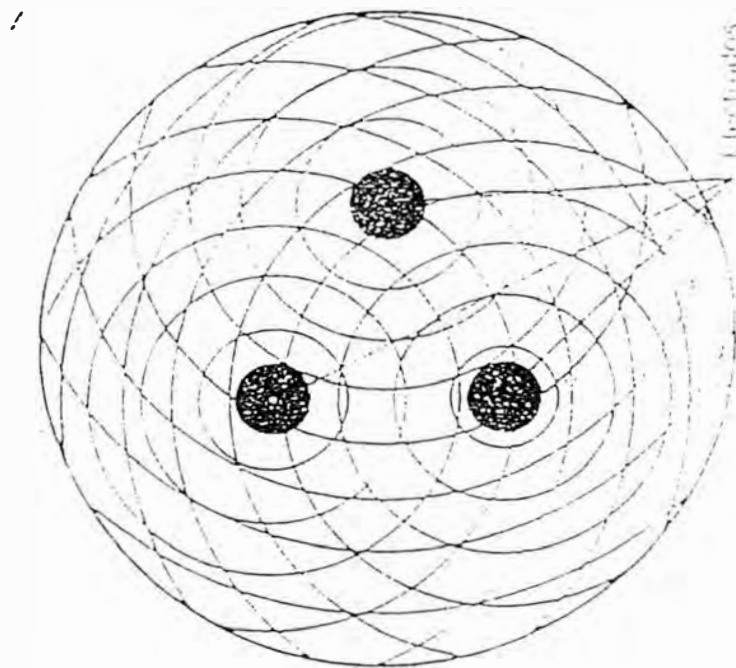
En efecto, al principio de cada ensayo sobre dicho modelo, gran número de inclusiones no metálicas pasan del mercurio a la "escoria".

Los resultados obtenidos permiten afirmar que, en los hornos eléctricos de arco, la eliminación de inclusiones no metálicas se produce más rápidamente y de forma más completa que en otros tipos de horno para la fabricación del acero.

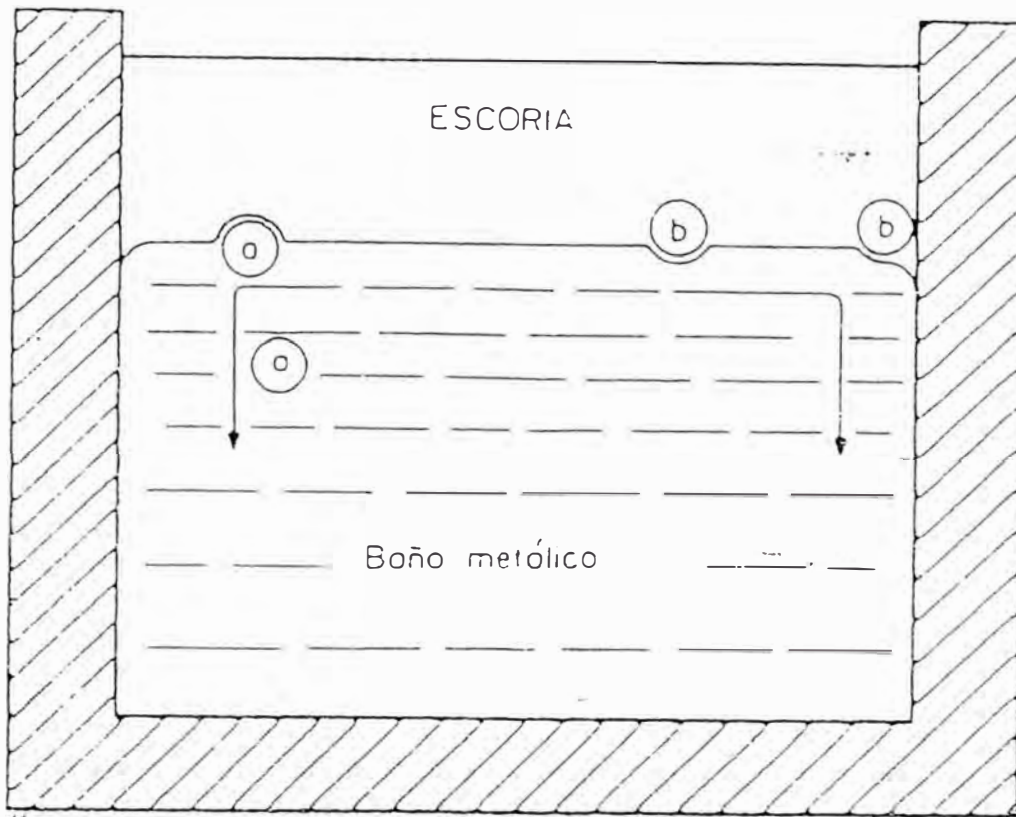
Los procesos indicados deben influir favorablemente sobre la calidad del acero eléctrico.



18. Variación del potencial eléctrico (ϕ) aplicado al sistema escoria-baño metálico y la Tensión de interfase (σ) en función del Tiempo.



19. Formación y propagación de las ondas en la superficie de la interfase escoria-baño metálico en normas eléctricas de arco



20. Evolución de una inclusión no metálica con un buen mojado por el metal (a) y un mal mojado por el metal (b) durante la elaboración del acero.

CAPITULO VI

ARENAS DE MOLDEO Y PROCESO CO₂ PARA ALMAS

1.- INTRODUCCION

Las arenas que van a ser empleadas en la fabricación de moldes y almas de fundición deben de poseer las siguientes propiedades:

- Ser refractaria para resistir la alta temperatura del metal fundido.
- Poseer la textura y la composición necesarias para no reaccionar con el metal
- Ser permeable, para permitir el escape de gases generados durante el enfriamiento.
- Suficiente cohesividad.
- Dureza apropiada para resistir el peso del metal.

Las especificaciones para las arenas de fundición y almas incluyen el contenido de sílice, la distribución del tamaño de partícula y la forma de grano. También la composición química de la arena como sus propiedades físicas, sin embargo, en la fundición de hierro el contenido mínimo en sílice es del 85 por 100, mientras en la del acero el contenido debería de ser al menos el 95 por 100.

Las propiedades que se mencionaron anteriormente lo cumple la arena de sílice, las arenas especiales como el olivino, la cromita y el zircono.

* **Arenas para Acero:** Debido a su elevado punto de fusión, exigen que sus moldes sean hechos con arenas altamente refractarias. A consecuencia de la elevada temperatura, desprenden gran cantidad de gases, por lo que se exige una permeabilidad alta. Por tal razón, generalmente se usan arenas sintéticas que deben ser de mayor tamaño de grano.

Indice de finura AFS : 50 - 70

Tamaño de grano (mm) : 0.255 - 0.180

- * **Arenas para Fierro Fundido:** A diferencia de las arenas empleadas en el acero la granulometria de esta arena debe ser mas fina, por lo general se requiere arenas preparadas sintéticamente con un determinado porcentaje de un aditivo.

Indice de Finura AFS : 70 - 100

Tamaño de Grano (mm) : 0.180 - 0.125

- * **Arenas para aleaciones no ferrosas:** La característica de estas aleaciones es tener una temperatura de fusión baja por tal razón, hacen que la permeabilidad de los moldes no necesitan, ser altas como lo son para el fierro fundido y el acero. El tamaño de la arena debe ser menor que las anteriores.

Indice de Finura AFS : 100 - 140

Tamaño de Grano (mm) : 0.125 - 0.060

2. ARENAS DE SILICE

El mineral mas frecuente constitutivo de estas materias primas, es el cuarzo alfa (α) que, además de ser estable bajo 573°C, es abundante en la superficie terrestre debido a su dureza, falta de esfoliación y baja solubilidad en el agua. Este mineral entra a formar parte de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias. Cuando se forma en ambiente sedimentario se cristaliza con morfologías y disposiciones distintas (texturas), que llevan implícitas características físicas y químicas diferentes, posibilitando una gran variedad de aplicaciones. La arena de sílice que va a ser empleada en fundición debe tener mas del 90 por 100 de dióxido de sílice. Por lo tanto diremos que la arena de sílice es un mineral que abunda en la naturaleza y que según sus propiedades se emplea en la fabricación de moldes y almas. La arena mas adecuada es la que se halla lavada en forma natural o por medios mecánicos y tener los granos en tamaños adecuados.

2.1 Características de las Arenas:

- *Deben ser extrasilicosas
- *Libre de arcillas (1% máximo)
- *Granulometría entre 60-100 AFS repartidos en 3-4 tamices
- *Humedad con un 0.3% máximo.

3. ARENAS ESPECIALES DE MOLDEO

Debemos mencionar que existen arenas especiales que pueden ser empleados en fundición cuando se utiliza aleaciones de alto punto de fusión o que llegan a reaccionar con la sílice. En otros casos, debido a la poca expansión de estas arenas especiales durante el calentamiento, su empleo es recomendado cuando no se puede controlar los defectos de las piezas debidos a la expansión de la sílice. La alta densidad de algunas de ellas aconseja su empleo en ciertas zonas del molde para conseguir una solidificación dirigida de la pieza.

3.1 Cromita (FeO) Cr_2O_3

- Ofrece una gran resistencia a la penetración del metal.
- Los valores por pérdida de calcinación son bajos.
- Es compatible con la mayor parte de los tipos de aglomerante de fundición.
- Es apropiado para la producción de aceros al manganeso
- En calidad es superior al zirconio.
- Es menos cara que el zirconio

Análisis Químico:

- Cr_2O_3 = 50.2%	- SiO_2 = 1.3%	- MgO =8.4%
- FeO = 21.1%	- Al_2O_3 =16.7%	- CaO =0.02%
- Pérdida por calinación : 0.09%		
- Expansión : 1.2%		
- Vitrificación : 1800°C		

3.2 Zirconio ($ZrSiO_4$)

- Es un mineral usado como enfriador moldeable.
- Su coeficiente de expansión es más pequeñas que las demás arenas de moldeo 0.32%.
- No sufre una transformación de fase
- Su alto punto de fusión previene la penetración de metal
- Su desventaja es su alto costo

Análisis Químico :

- ZrO_2 = 64 %	- Fe_2O_3 = 0.08 %
- TiO_2 = 0.20 %	
- Perdida por calcinación : 0.10 %	
- Vitrificación : 1750 °C	
- Expansión : 0.32 %	

3.3 Olivino (Mg_2, Fe_2SiO_4)

- Es un mineral libre de sílice, compuesto de forsterita (Mg) y Fayalita (Fe).
- Poco estable al medio ambiente.
- Es estable a ácidos.
- Color : Verde Olivo
- Vitrificación : 1690°C
- Expansión : 1.37%

4. SILICATO DE SODIO:

Comunmente se designa silicato a una mezcla de SiO_2 , Na_2O y H_2O cuyas proporciones pueden variar obteniéndose soluciones con diferentes viscosidades.

La importancia principal para determinar la utilidad de un silicato es:

La razón $Na_2O:SiO_2$, la viscosidad, la gravedad específica o grano Baumé y el contenido de agua.

- La Razón $\text{Na}_2\text{O} : \text{SiO}_2$

Es usualmente 1 : 2

Mientras la razón sea mas baja la tasa de reacción será más rápida y más fácil el endurecimiento.

Los Silicatos con mayor $\text{SiO}_2 / \text{Na}_2\text{O}$ son mas sencibles al CO_2

- La Viscosidad :

También afecta la tasa de inyección de gas, la alta viscosidad retarda la tasa de inyección de gas.

- La Gravedad Específica:

Los silicatos Baumé también tienen una tasa de inyección de gas bajo, pero le dan alta resistencia.

- Contenido de Agua:

Cuando el contenido de agua se incrementa, también se incrementa la reactividad de la arena al CO_2 y la habilidad para fluir, pero la solidez disminuye.

5. MECANISMO DE ENDURECIMIENTO EN EL PROCESO CO_2 :

Según las investigaciones efectuadas con el microscopio electrónico de exploración (SCANNER), sobre las películas de silicato. Se separó una pequeña cantidad de granos de arena de machos aglomerados con silicato que se gasificaron a 10 kgs/cm^2 y, luego se mantuvieron almacenados entre 24 y 48 horas, resultando lo siguiente :

Características de la superficie de la película del aglomerante:

- La superficie de la película del aglomerante se halla bastante agrietada o cuarteada y, en algunas zonas la película presenta señales de desprendimiento de los granos de arena. Esto indica que el silicato endurecido no puede acomodarse a la contracción originada por la deshidratación y carece de la elasticidad necesaria para permanecer como una película coherente.
- La superficie indica la presencia de cristales de carbonato sódico y, posiblemente de bicarbonato, que, evidentemente, perturban y

debilitan la matriz.

Si el macho experimental se gasifica con CO₂ durante un periodo de tiempo más prolongado, entonces, las dos características citadas anteriormente prevalecen aún más, confirmando las observaciones prácticas de que el exceso de gaseado produce una película de aglomerante que se degenera más rápidamente en su almacenamiento, dando una superficie friable y la consiguiente pérdida de resistencia del macho.

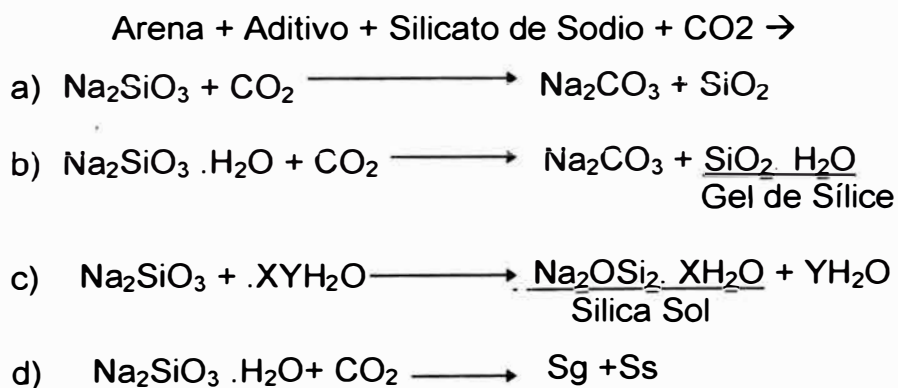
5.1 Proceso CO₂ para el Moldeo y Almas

El procedimiento del dióxido de carbono para hacer moldes y núcleos es muy importante. Este proceso usa una arena seleccionada mezclada con un determinado porcentaje de silicato de sodio y aditivos, la cual es endurecida al ser ensuflado por el gas CO₂.

La función del gas CO₂ es la de formar un ácido débil que hidroliza el silicato de sodio de este modo forma una sílice amorfa, la cual se vuelve aglomerante. El endurecimiento se debe a la formación de un gel (SiO₂) en presencia de un medio básico.

Para la fabricación de almas se requiere el diseño de un modelo (caja de alma) en donde la mezcla es gaseada (endurecida) para dar forma a las partes huecas de la pieza.

5.2 Naturaleza del Enlace del Silicato de Sodio :



- a) Nos muestra una forma elemental del mecanismo químico (gelificación).
El silicato de sodio, en su forma líquida o pulverizada con agua es mezclado con arena, moldeado, luego endurecido con dióxido de carbono.
La sílice formada es el producto de la reacción, el cual suministra el enlace a la arena (el endurecimiento se debe a la formación de un gel (SiO_2) en presencia de un medio básico.)
- b) En este caso, si existe la presencia de H_2O entonces la variación de las concentraciones de Na_2O y SiO_2 en el silicato puede ser bastante diferente.
Esta ecuación indica que cuando el dióxido de carbono y el tiempo son suficientemente aceptables o permisibles al final los productos son carbonatos de sodio y sílice conteniendo H_2O (gel de sílice).
- c) En la practica cuando es gaseado con CO_2 es raramente completo y queda alguna porción de silicato de sodio que no ha reaccionado, puede endurecerse por la evaporación del agua.
La silica sol puede ser considerada como un semi-sólido formada por la evaporación.
- d) Indica que los resultados en una reacción completa tiene lugar a la formación de una cierta cantidad de Gel de Sílice (Sg) y una cierta cantidad de Silica Sol (Ss). Además de la formación del Gel y Sol, también existen cantidades de carbonato de sodio y agua libre.

5.3 Efecto del Agua sobre la resistencia del Alma.

Los efectos del agua sobre la resistencia depende mayormente sobre los cambios en la viscosidad del silicato de sodio.

Por ejemplo:

Si consideramos 2 silicatos líquidos de diferentes viscosidades como de 17 y 700 Poises.

- Cuando estos silicatos son usados como enlaces y gaseados por 45 sgs. El Silicato de viscosidad mas baja indica una resistencia de corte de 40 lbs. y el silicato de alta viscosidad una resistencia de 8 lbs. La alta viscosidad del último silicato ha interferido con la reacción del CO₂ y no se forma tanto gel de silicato como el de viscosidad del silicato mas bajo.
- El agua adicional reduce la viscosidad. Con el agua adicionada al material de viscosidad mas baja, la resistencia se reducirá sobre la gasificación . La caída inmediata de la resistencia después de la gasificación, es probablemente debido a un exceso de humedad en el gel de sílice.
- Cuando el agua es agregado al material de viscosidad alta, la viscosidad es reducida, cuando la gasificación es mas completa es posible como resultado inmediato una resistencia alta después de la gasificación.
- Por supuesto existe un contenido de agua máximo donde estas relaciones no se sujetan a la realidad. Similarmente se puede observar el caso del material de viscosidad baja, un punto es rechazado cuando hay demasiado agua en el gel del sílice.

5.4. Características de las Almas:

- Son altamente refractarias.
- Poseen dureza y resistencia mecánica para que no se deformen, ni rompan a causa de la presión o el empuje metalostático.
- Tener buena permeabilidad.
- Generar un mínimo de gases.
- Ser altamente colapsables.

CAPITULO VII

TRATAMIENTO TERMICO DE LOS ACEROS AUSTENITICOS AL MANGANESO

1.- INTRODUCCION:

las características, propiedades mas importantes del acero al Mn en la condición de templado en agua es su excepcional resistencia y ductibilidad, capacidad para endurecerse rapidamente por el trabajado en frio llegando hasta los 550 HBN (dureza Brinnell) en la dirección de la aplicación del esfuerzo, y su carácter no magnetico que persiste aún en la condición de endurecido por deformación.

Se considero como temperaturas de calentamiento recomendables antes del templado en agua de 980/1050°C para materiales para fundir y así obtener excepcionales dureza y tenacidad, mayor uniformidad en sus características y mayor flexibilidad en la calidad.

La combinación de alto contenido de Carbono y Manganeso debe mantenerse dentro de un limitado rango de composiciones; y el calentamiento para alcanzar la solución del carbono, seguido por un rápido enfriamiento para asegurar la retención del carbono en solución, es imperativo. Desviaciones en el rango de composición o de las condiciones del correcto tratamiento térmico puede resultar en presencia de carburos libres con, en algunos casos fase ferrítica, que causan reducción de la ductibilidad y de otras propiedades características.

Por lo tanto diremos que el acero al Mn adquiere sus propiedades características con una composición adecuada relacionado con un correcto tratamiento térmico, y al no cumplir con estas condiciones o tratar incorrectamente dicho proceso puede producir fragilidad a la pieza.

2. DETALLES TÉCNICOS DEL EQUIPO DE TRATAMIENTO TÉRMICO.

- Horno de Tratamiento Térmico: Cuya dimensión es 3.79x3.30x2.80 mts.
- Revestimiento del Horno : Esta revestido con ladrillo refractario de alto rendimiento el G-26 AP GREEN.
- Espesor del Revestimiento : es de 13 ½ ”
- Carro : son movidos por cables sobre rieles, su medida es de 3.6x3.2 mts.
- Bastidores de Templado : Es de -0.50 x 0.08 ϕ mts, se sirve como soporte de las piezas en la distribución sobre las planchas.
- Planchas de templado : hacen un total de 15 planchas con huecos profundos de 0.72 x 0.64 metros, sobre ellos son colocados los bastidores en forma ordenada.
- Quemadores : son de tipo dual a petróleo y aire estan graduados y de acuerdo a este se le da la potencia adecuada. Marca Hauck Tipo 782. Los quemadores (6) van entrando en funcionamiento de uno en uno de acuerdo a la elevación de la temperatura indicada en la curva de tratamiento térmico. Estos se hallan ubicados en conductos bien distribuidos en las paredes, extendiéndose desde el nivel de los carros hasta la bóveda, tres en cada lado o zona.
- Control : se realiza por medio de un registro de carta de desmontaje electrónico para cada zona. El control proporcional el ajuste alto o bajo del quemador.
- Tanque de Templado : Ubicado en la misma dirección del horno cuyas medidas son 4.5 x 3.3 x 4.4 mts.
- Capacidad : 67 m³ de agua templado al medio ambiente.
- Agitación : se realiza mediante dos ventiladores de 4.8 HP y 1740 RPM que se halla en el fondo y el costado del tanque. Su finalidad es mantener el agua a la temperatura mediante del medio ambiente mediante la agitación cuando las piezas de acero se encuentran sumergidas en el agua.
- Circuito de enfriamiento : diseño que se emplea después que se ha cumplido con el tratamiento térmico de las piezas, el agua que se

empleó en el proceso se halla en la temperatura de 50 a 60°C para enfriarlo se hace uso de una unidad de enfriamiento que consiste en la recirculación constante del agua. El agua depositado en el tanque es bombeado hacia una torre de enfriamiento previo (por aspersion), al salir de ella se enfría por acción del aire atmosférico para luego caer al tanque, iniciándose de nuevo el proceso de circulación. La recirculación parte del agua se evapora y se llega a reponer inyectando agua fresca.

La bomba empleada en el circuito de enfriamiento es 6.6HP y 3,600 RPM.

3. PROCEDIMIENTO DEL AUSTENIZADO.

Lo primero que se tiene que hacer es verificar que el equipo a emplearse en el tratamiento térmico (sistema eléctrico, sistema de enfriamiento, ventiladoras, quemadoras, etc.) se encuentren en buenas condiciones.

Las piezas de acero al manganeso desmoldeados y libres de sus respectivos jitos (alimentadores, bebedores, canales de colada, etc.), son colocados de acuerdo a su tamaño y en orden en las planchas de templado por intermedio de una grúa mecánica. El máximo peso que puede soportar la plancha es de 6,000 a 8,000 kgs. al terminar de cargar, se pone en funcionamiento el trinche que levanta la plancha conteniendo la carga y se coloca sobre el carro que se encuentra sobre las rieles cerca de la entrada del horno.

Las agujas del control electrónico deben ser colocados en 0 (cero) antes de dar inicio al tratamiento térmico, estos a la vez registran y siguen el calentamiento de las curvas programadas para dicho tratamiento. Se da inicio al proceso con un calentamiento lento y uniforme, considerando para un acero al manganeso (AAC – 42) 200°C/Hora hasta 1,000°C, aceptando a la vez 1 hora por pulgada de espesor.

Al cumplirse el tiempo de tratamiento se apaga y saca la carga del

horno, con el trinche se lleva la carga al tanque de templado y se sumerge lo mas rápido posible hasta ubicarse cerca al fondo del tanque, luego en forma inmediata se pone en funcionamiento los ventiladores para mantener el agua a una temperatura adecuada de trabajo. La carga es mantenido dentro del tanque de agua de 30 a 60 minutos dependiendo del espesor de la pieza es sacado para que continúe su enfriamiento al medio ambiente.

3.1 Ejemplo de una Pieza Austenizada

- Metal Tratado Termicamente : AAC - 43 + 0.90 % Mo
- Calentar 100 °C/hr hasta 600 °C
- Calentar 200 °C/hr hasta 1130 °C
- Mantener a 1130 °C durante una hora por cada pulgada de espesor.

En la tabla N° 13 se indica el proceso y tiempo empleado en el transporte de diversas piezas, desde el horno hasta su inmersión en agua en el tratamiento termico de austenizado.

Tabla N° 13

TIPO DE PIEZAS	HORNO DE INICIO	SALIDA DEL CARRO		LEVANTAR LA CARGA		LLEGADA AL POZO		DESCENSO DE LA CARGA			
		T. INICIAL	T. FINAL	T. INICIAL	T.ACUMUL.	T.RECORRIDO	T. ACUMULADO	TOCA LA SUPERFICIE DEL AGUA		INMERSION PARCIAL	INMERSION TOTAL
								T. DESCENSO	T.ACUMULADO		
FORROS	8 p.m	0	47"	23"	1'10"	20"	1'30"	10"	1'40"	1'37"	1'50"
MANTLE	5.15 p.m.	0	35"	06"	42"	11"	53"	9"	1'02"	1'07"	1'21"
FORROS	9.15 p.m	0	30"	08"	38"	11"	49"	6"	55"	58"	1'07"
FORROS	12,30	0	35"	06"	41"	11"	52"	9"	1'01"	1'03"	1'14"
BOWL. LINER	4.22 p.m	0	33"	08"	41"	11"	52"	7"	59"	1'02"	1'13"
FORROS	1.00 p.m	0	33"	06"	39"	14"	53"	7"	1'00"	1'04	1'11"

4. PREPARACION DE UNA MUESTRA AUSTENIZADA PARA SER ANALIZADA EN EL MICROSCOPIO

Las probetas a ser examinados por el microscopio deben ser extraídos sin alteración mecánica o térmica, para lo cual se hace uso de un disco de corte con borde de diamante. El corte con sierra metálica no es recomendable debido a la propiedad de endurecimiento durante el trabajo de esta aleación.

4.1 Desbaste

El desbaste manual se realiza en húmedo usando papeles abrasivos de carburo de silicio impermeable de 80, 180 320 luego se continua con el de 600 ó 1000. La probeta debe estar completamente limpia, lavada y rotada 90° al cambiar de papel abrasivo, debe reemplazarse con frecuencia el papel abrasivo porque puede causar deformación de la superficie.

4.2. Pulido

El pulido se realiza con una suspensión de alumina (Al_2O_3) o de silicio coloidal de 0.6 μm y un paño de tela de rayón. La probeta siempre debe rotarse en dirección opuesta a la de la rueda con una presión moderada. Entre cada etapa de pulido, la probeta debe lavarse con jabón y una corriente de agua, lavado con alcohol y secado con aire caliente. Después de pulido fino, la probeta se debe lavar en alcohol isopropílico al 99% para prevenir las manchas que puede causar el agua.

4.3 Ataque :

Se realiza con la solución cloruro ferrico alcoholica

Composicion

$\text{FeCl}_3 = 5 \text{ grs}$

$\text{HCl} = 2 \text{ ml}$

Alcohol Etilico = 100 ml

OTROS REACTIVOS

* Nital

Composición

1 - 6 ml HNO_3 Concentrado

94 - 96 ml Etanol o Metanol

* Picral

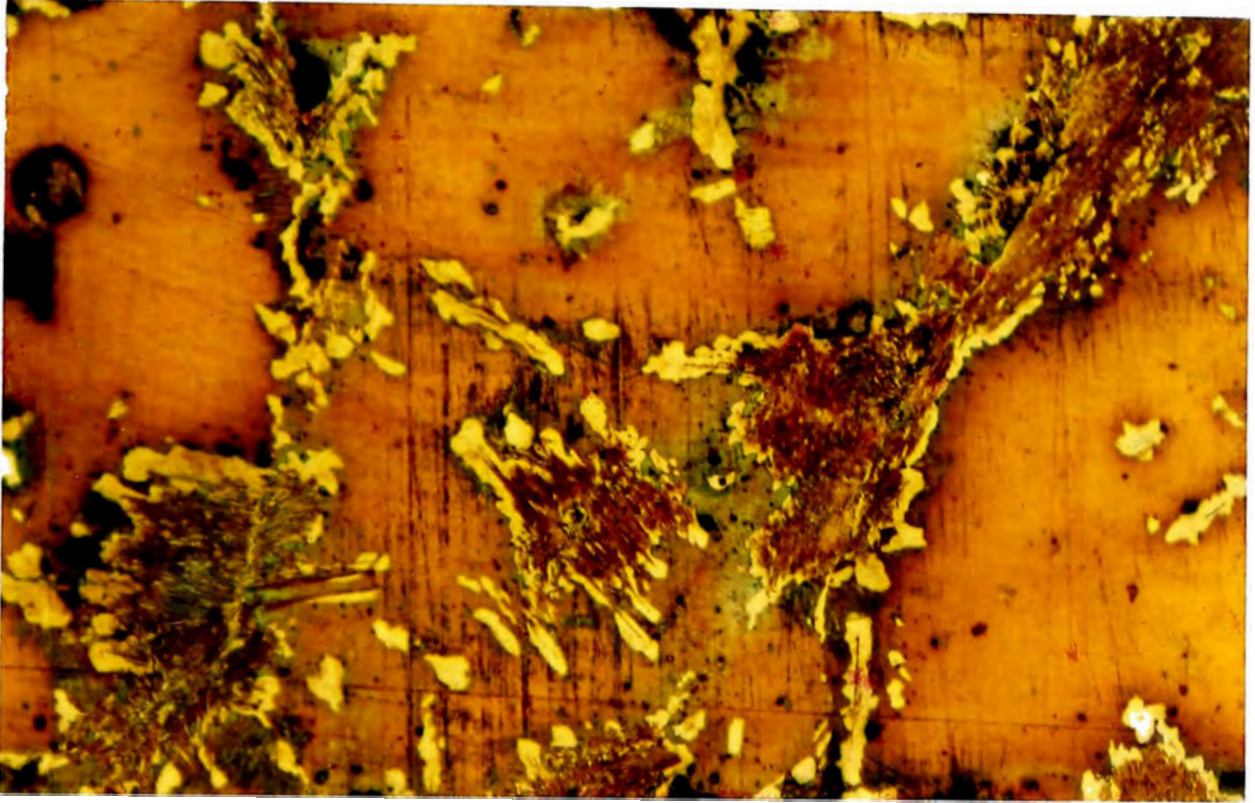
Composición :

4 - 5 grs. Acido Picrico

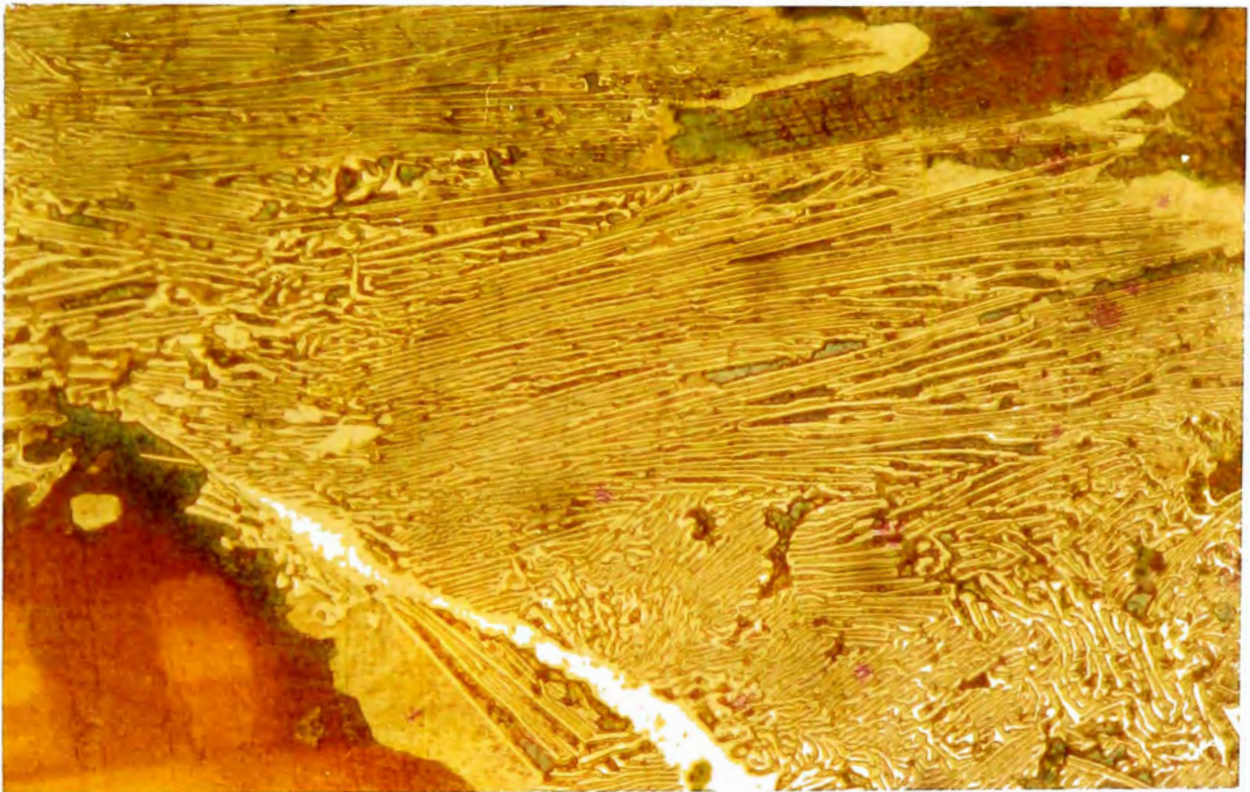
95 ml Etanol o Metanol

5 ml Agua Destilada .

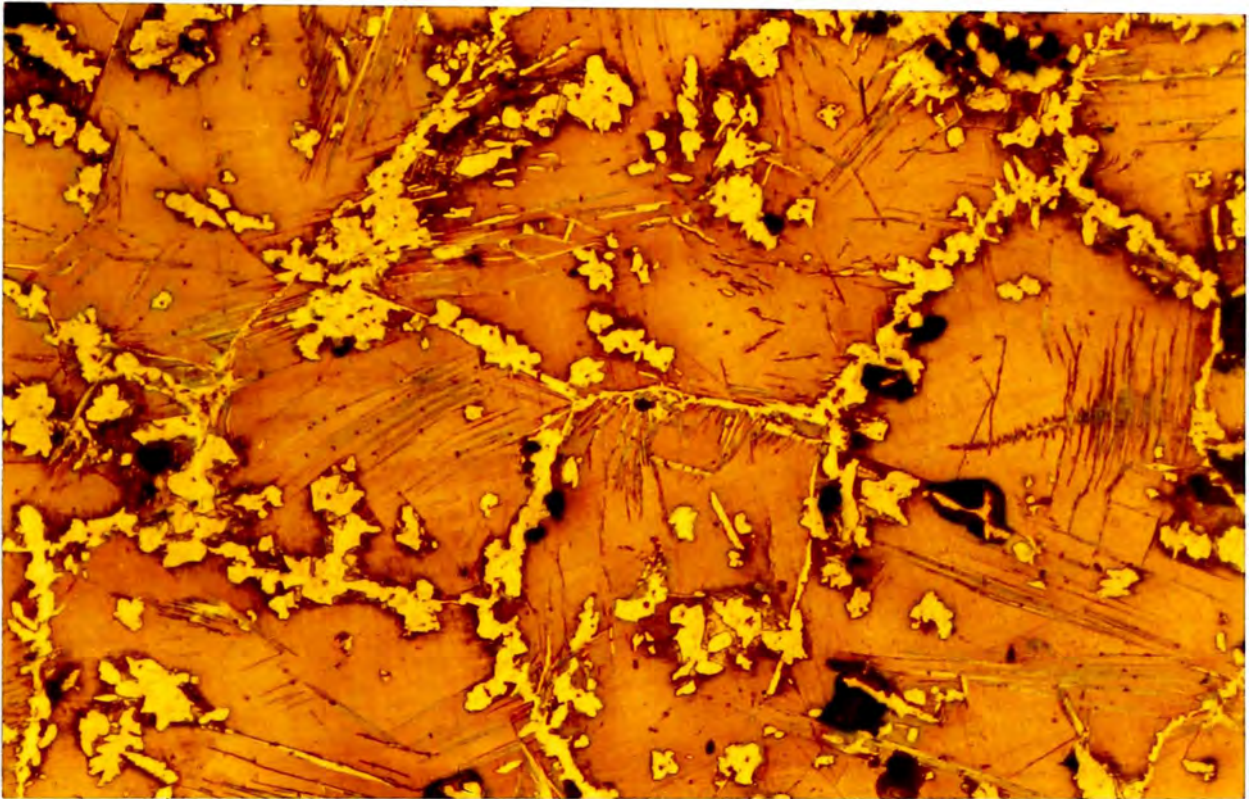
*Metalografía de la muestra Austenizada
No Tratado Termicamente*



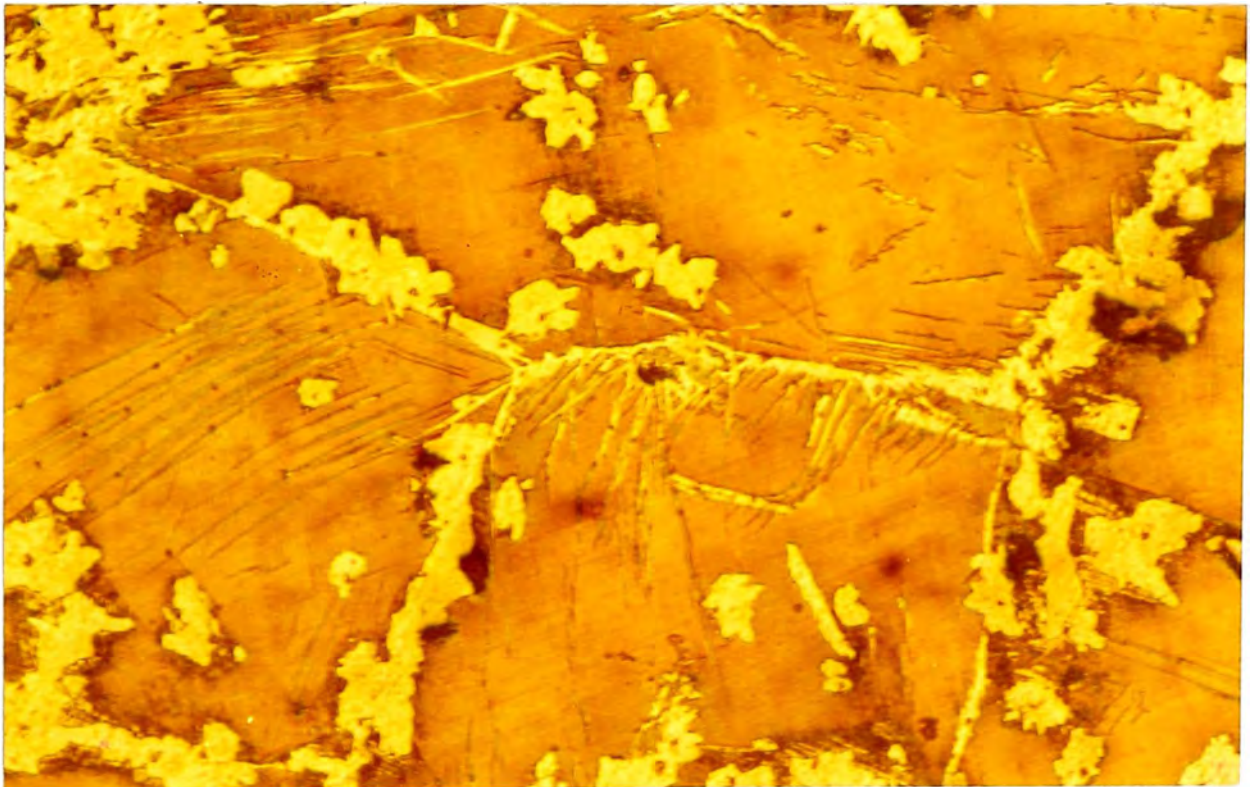
*Micro n°1. 100x Formado por carburos complejos y
granos de austenita.*



*Micro n°2 500x Formado por nucleo masivo de carburos
laminares y granos de austenita.*



Micro N°3. 100X Formado por carburos complejos que se distribuyen por los contornos de los granos austeníticos, se observa inclusiones de fundición



Micro N°4. 200X Formado por carburos en forma de agujas

OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

1. La chatarra de acero para la manufactura del acero debe cumplir ciertos requisitos
 - Todos los grados deben estar libres de gases presionados, combustibles, cualquier material potencialmente cerrado debe ser cizallado o cortado. Además deben estar libres de suciedad, metales no ferrosos o materiales extraños de cualquier clase, exceso de herrumbre y corrosión.
 - La chatarra debe estar convenientemente seleccionado y con una densidad adecuada, formando una máxima superficie, de tal forma que los gases que se generan en la zona de los arcos puedan ceder la mayor cantidad de calor antes de salir del horno ejemplo :
Formar cargas compactas con chatarra de acero de 3mm. de espesor en tamaños que no excedan 1mt x 0.60 mt. Se puede incluir chatarra preparado de vehículos desmantelados.
Formar cargas compactas con chatarras de hierro liviano y chatarra de acero fragmentado en pedazos que no excedan 150 mm - 200 mm en ninguna dirección. Deben estar libre de suciedad, metales ferrosos, virutas, limaduras de hierro, etc.,
Cumplir con la siguiente especificación
Densidad 0.80 Tns/m³
Contenido de estaño (Sn) 0.03% máximo
Contenido de Cobre (Cu) 0.20 % máximo
 - Además de lo especificado tenemos: recortes de ángulos, perfiles, aros de carro, ejes, partes de maquinaria usada, barras, etc.

2. El control del horno durante el proceso de fusión es muy importante por lo tanto se debe considerar :
 - La ubicación de la chatarra siguiendo un orden ya descrito, se hace con la finalidad de evitar un choque brusco al bajar los electrodos sobre la carga y facilitar la formación del arco. El material fundido al principio, cae sobre el fondo del horno donde se halla la carga pesada

y esta se va fundiendo poco a poco y se evita de esta manera, que la chatarra pesada se precipite sobre los electrodos rompiendo.

- El correcto manipuleo del horno eléctrico para evitar, la rotura de los electrodos desgaste de los refractorios, cortos circuitos, etc. Evitando el elevado costo por tonelaje de metal fundido y no perjudicando la eficiencia del horno.
- Debemos empezar la fusión, con arcos largos para que los electrodos puedan penetrar la carga y con una menor capacidad del transformador para poder proteger el refractario de la bóveda. La radiación horizontal de la columna del arco garantiza una fusión eficiente y que esta pueda ser absorbida por la chatarra. Cuando, la chatarra de las paredes comienzan a deslizarse estas se despejan, entonces tenemos que disminuir las longitudes del arco y graduar el voltaje del arco para evitar un mayor desgaste de las paredes del horno. De igual manera la intensidad de la corriente se va aumentando paulatinamente, del inicio al final de la fusión, hasta llegar a una corriente óptima.

Al final de la fusión, la longitud del arco es corto y de esta manera obtendremos una mayor transferencia de calor a la carga líquida y obtener una temperatura idónea para la vaciado en la cuchara.

- Se debe hacer un control estricto de la masa líquida, antes y después del sangrado en la cuchara, verificar que este recipiente (cuchara) esté seco y caliente para evitar el ametalamiento de esta y obtener así una buena fluidez de líquido al momento de la colada en el molde.

3. Para los aceros aceros austeníticos al manganeso debemos de tener en cuenta :

- El desarrollo de una microestructura austenítica de fase simple depende de la rapidez y efectividad del enfriamiento en agua durante el tratamiento térmico. Su microestructura depende del tamaño de la sección, comúnmente este tipo de acero es de sección pesada que

tiene una conductividad térmica baja y esto determina la velocidad de enfriamiento.

- El tamaño de grano de los aceros austeníticos al manganeso depende de la cantidad de sobrecalentamiento en el metal líquido durante la fusión pudiendo variar ampliamente, si no se tiene un control adecuado de la temperatura.
- Las sopladuras, porosidades, se deben a los gases producto de una mala desoxidación del acero o de un excesivo nitrógeno o hidrógeno disuelto en el líquido.
- Las probetas que van a ser examinadas con un microscopio debe ser extraídos de la pieza fundida con una mínima alteración térmica o mecánica.

BIBLIOGRAFIA

1. AUSTENITIC MANGANESE STEEL
Ing. Robert Abbott Hadfield
2. METALS HANDBOOK
Vol. 3 of the 9th edition
Austenitic Manganese Steel
3. METALS HANDBOOK , NINTH EDITION
Vol. 9 Metalografía y Micro-estructuras
AMERICAN SOCIETY FOR METALS
4. SIDERURGIA
" L. Colombier "
5. FACTORES QUE AFECTAN EL RENDIMIENTO DE LOS ELECTRODOS
L. J. VOISINET
6. REFRACTARIOS PARA EL HORNO ELECTRICO
Ing. Jaime Soni Cassani
Ing. Joaquin Leal Gracia
7. REFRACTARIOS PARA UNA INDUSTRIA NO METALICA
Ing. Roberto Chumbimuni R.
8. FACTORES DEL CONTROL DE POTENCIA EN HORNOS ELECTRICOS DE ARCO.
Ing. W. E. Schwabe
9. PRINCIPIO FUNDAMENTALES DEL HORNO ELECTRICO DE ARCO.
Ing. Hiyoshi S. Schwabe
10. REVISTA METALURGICA " CENIM "
Vol. 6 N° 5
ing. I. Trispa
11. FISICO QUIMICA DE LOS PROCESOS DE FABRICACION DE ACERO
Ing. Eduardo R. Abril
12. LIGAS FERRO-MANGANES ACOS-MANGANES AUSTENITICOS
Eng° Elovís Bradaschia
13. AN OPERATING MANUAL FOR THE CARBON DIOXIDE PROCESS.
by Walter E. Gruver , Jr.