

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS

196

APLICACION DE CARBURO DE SILICIO
EN FUNDICIONES DE HIERRO,
UTILIZANDO HORNO DE
INDUCCION SIN
NUCLEO

T E S I S
QUE PARA OBTENER
EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A
VICTOR MANUEL ANAYA AGUILAR

21



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

CONVENIO DE COLABORACION ENTRE EL GOBIERNO DE CHILE Y LA ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD

CLAS. Tesis

AÑO 1976

PRCHA. M-25



QUIMICA

A mis padres:

Sr. Manuel Anaya Gastélum.

Sra. Hermelinda Aguilar de Anaya.

Con todo mi cariño y agradecimiento por
sus enormes sacrificios para la realización
de mis estudios.

A mis hermanos:

Francisco Javier, Edna Alicia, Ma. Guadalupe,
Martha Patricia, Carlos Alonso, Ma. Hermelinda
y Carmen Lorena.

Demás Familiares.

A Vicky:

Por su gran empuje y ayuda.

Al Ing. José Campos Caudillo:

Por su valiosa dirección y desinteresada ayuda
en la elaboración de este trabajo.

A Cía. Nacional de Abrasivos, S. A.

(CARBORUNDUM)

Por las facilidades y ayuda prestadas.

JURADO DESIGNADO ORIGINALMENTE:

PRESIDENTE: ING. MANUEL F. GUERRERO FERNANDEZ.

VOCAL: QUIM. ALBERTO OBREGON PEREZ.

SECRETARIO: ING. JOSE CAMPOS CAUDILLO.

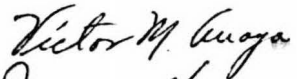
1o.SUPLENTES: ING. ALEJANDRO ESPRIU.

2o.SUPLENTES: ING. MARIA EUGENIA NOGUEZ AMAYA.

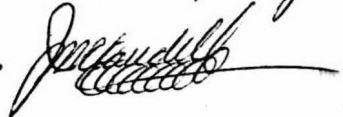
LA INFORMACION SE RECOPILO EN DIFERENTES FUNDICIONES

EN MEXICO, D. F.

SUSTENTANTE: VICTOR MANUEL ANAYA AGUILAR.



ASESOR DEL TEMA: ING. JOSE CAMPOS CAUDILLO.



APLICACION DE CARBURO DE SILICIO
EN FUNDICIONES DE HIERRO,
UTILIZANDO HORNOS DE
INDUCCION SIN
NUCLEO

INDICE

CAPITULO I

I.A.- INTRODUCCION

CAPITULO II

II.A.- GENERALIDADES

- II.A.1.- CARBURO DE SILICIO
- II.A.2.- HIERROS
- II.A.2.a.- PRINCIPALES TIPOS
- II.A.2.b.- COMPOSICION
- II.A.2.c.- REACCIONES Y RESULTADOS GENERALES DE LAS MISMAS

CAPITULO III

- III.A.- HORNOS DE INDUCCION SIN NUCLEO
- III.A.1.- PARTES PRINCIPALES
- III.A.2.- PRINCIPIOS DE OPERACION
- III.A.3.- REFRACTARIOS USADOS
- III.A.3.a.- CARACTERISTICAS
- III.A.3.b.- DIFERENTES ZONAS QUE USAN REFRACTARIOS
- III.B.- ADICION DE CARBURO DE SILICIO

CAPITULO IV

- IV.A.- CALCULO DE CARGAS
- IV.A.1.- EMPLEANDO CARBURO DE SILICIO
- IV.A.1.a.- CONTROL
- IV.A.1.b.- COSTOS
- IV.A.2.- EMPLEANDO FERROSILICIO (75%)
- IV.A.2.a.- CONTROL
- IV.A.2.b.- COSTOS

CAPITULO V

V.A.- CONCLUSIONES

CAPITULO VI

VI.A.- BIBLIOGRAFIA

C A P I T U L O 1

I.A.-INTRODUCCION.

El uso del carburo de silicio en fundiciones de hierro, está teniendo un auge considerable, debido principalmente a que es un potente desoxidante y una fuente económica de silicio y carbón.

La Industria Nacional del Hierro, cuenta en la mayoría de sus fundiciones con hornos eléctricos de inducción del tipo llamado "sin núcleo" y es en estos hornos donde se pueden apreciar con mayor facilidad todas las ventajas que ofrece el carburo de silicio, ya que todos ellos están revestidos con refractarios de sílice aglutinada con ácido bórico y durante la operación se efectúa una reacción entre el silicato de hierro formado en las paredes del revestimiento refractario y el carburo de silicio, proporcionando una mayor duración del revestimiento. Otras ventajas que se pueden obtener usando el carburo de silicio en estos hornos son: reducción del óxido de hierro en el metal fundido y en la escoria; producción de piezas vaciadas con secciones más delgadas y composición más uniforme; piezas con mejores propiedades mecánicas y más fáciles de maquinarse, incremento de nódulos de grafito en hierro dúctil, copos en el hierro maleable y promueve la formación de grafito tipo "A" en hierro gris, es exotérmico cuando se adiciona al metal fundido, etc....

C A P I T U L O II

II.A.-GENERALIDADES.

II.A.1.-CARBURO DE SILICIO.

El carburo de silicio se fabrica en un horno eléctrico especial, dentro del cual se colocan las siguientes materias primas: arena sílice, coke, carbonato de sodio, aserrín, vermiculita y cloruro de calcio o de sodio.

La reacción requiere grandes cantidades de energía eléctrica y las condiciones para que se efectúe son guardadas como secreto por las diferentes compañías fabricantes de este compuesto.

Actualmente el principal uso del carburo de silicio y el primero que se le dió, es la fabricación de piezas abrasivas. En segundo lugar, está la formación de refractarios con aplicaciones especiales, aprovechando las propiedades de este material, como son: alta conductividad térmica, resistencia a la abrasión, resistencia a altas temperaturas, resistencia a la fractura y otras. Finalmente y ya desde hace algunos años, se ha venido utilizando el carburo de silicio en fundiciones ferrosas, con resultados bastante favorables, principalmente en fundiciones de hierro; ya que como se menciona en el capítulo anterior, el carburo de silicio es una fuente económica de carbón y silicio, además de ser un vigoroso desoxidante y proporcionar muchas ventajas a los fundidores.

II.A.2.-HIERROS.

II.A.2.a.-PRINCIPALES TIPOS.

Hierro gris: Es el que contiene: 2.5 - 4.0% de carbón, donde la mayoría está en forma de laminillas de grafito.

Hierro nodular o dúctil: Es el que contiene: 3.0 - 4.0% de carbón, el cual precipita en forma de nódulos de grafito debido a la reacción con ciertos elementos, como el magnesio, cerio y calcio.

Hierro maleable: Es el que contiene: 1.8 - 3.6% primeramente de carbón combinado en forma de carburo de hierro (cementita) y que es sometido a un tratamiento térmico para descomponer esta cementita y lograr la precipitación de carbón en forma de copos de grafito.

ii.A.2.b.-COMPOSICION.

Elemento:	Hierro gris:	Hierro nodular:	Hierro maleable:
	%	%	%
Carbón	2.5 - 4.0	3.0 - 4.0	1.8 - 3.6
Silicio	1.0 - 3.0	1.8 - 2.8	0.5 - 1.9

Manganeso	0.40 - 1.0	0.15 - 0.9	0.25 - 0.8
Azufre	0.05 - 0.25	0.03 máximo	0.06 - 0.2
Fósforo	0.05 - 1.00	0.10 máximo	0.06 - 0.18

Nota: El Hierro nodular incluye 0.035 - 0.050% de magnesio residual.

Gráfica basada en los % de carbón y silicio contenida en los principales tipos de hierros y los aceros.

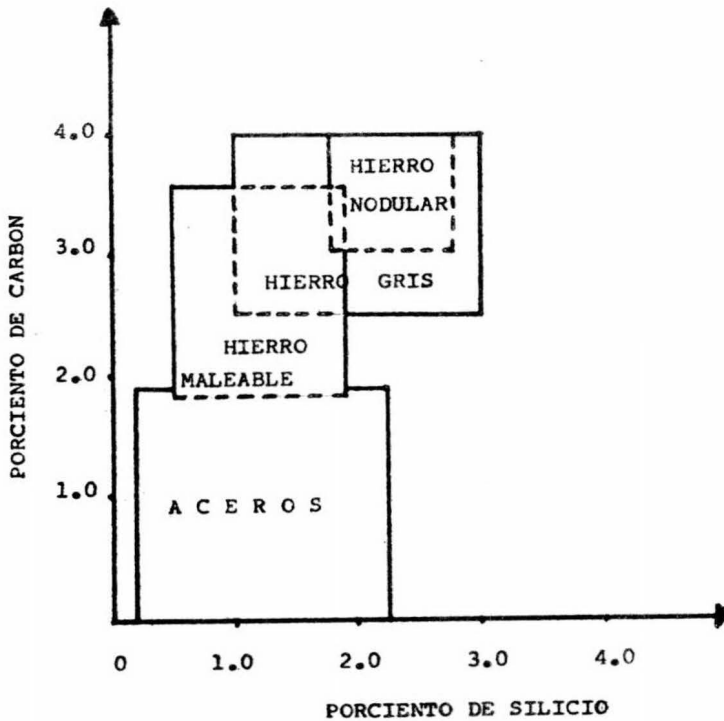
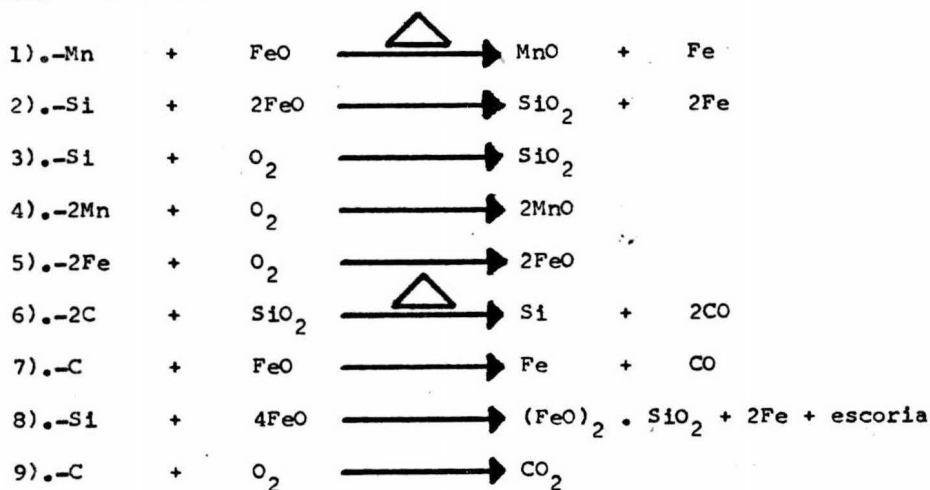


Figura I

II.A.2.c.-REACCIONES.



\triangle .-aprox. 2750°F

RESULTADOS GENERALES DE LAS MISMAS

a).	-Pérdida de carbón:	6,7,9
b).	-Formación de SiO ₂ :	2,3,8
c).	-Reducción del SiO ₂ :	6
d).	-Reducción del FeO:	1,2,7,8
e).	-Pérdida de silicio:	2,3,8

C A P I T U L O I I I

III.A.-HORNOS DE INDUCCION SIN NUCLEO.

III.A.1-PARTES PRINCIPALES.

a-Transformador y caja de controles

b-Banco de capacitores

c-Coraza

d-Bobina

e-Crisol

f-Tapa

g-Detector de tierra

h-Yugos

i-Otros

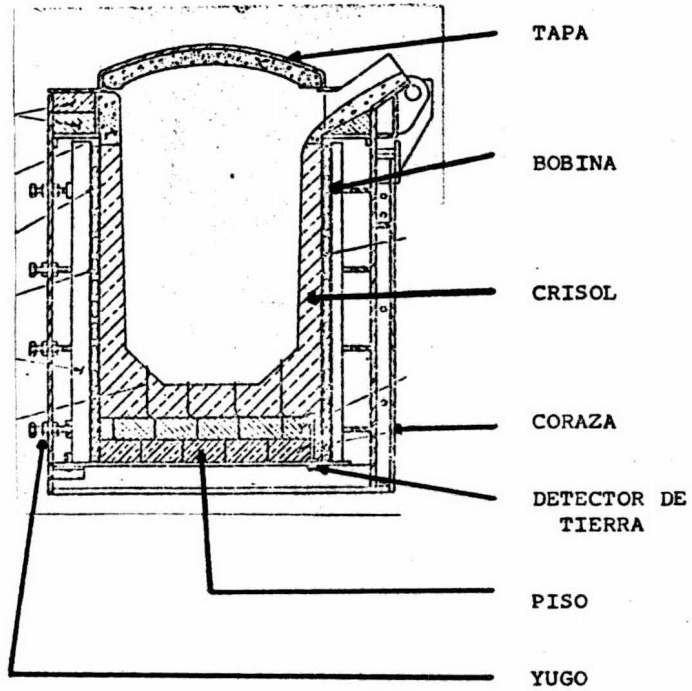


Figura.-2

III.A.2.-PRINCIPIOS DE OPERACION.

Por medio del transformador se suministra energía a la bobina del horno (primaria) y esta energía es transferida magnéticamente a la carga del horno, que actúa como una bobina secundaria. La carga se calienta debido a la resistencia que ofrece el paso de la corriente inducida en la misma.

El calor se genera directamente en el metal mismo y el crisol refractario no está sometido a otro tipo de calentamiento. Esta es la diferencia con otro tipo de hornos.

Estos hornos, cuando tienen un revestimiento refractario nuevo, antes de empezar a trabajar normalmente, el refractario debe ser sometido a un ciclo de secado y sinterizado con dos principales propósitos:

Evitar la formación de grietas por donde puede penetrar el metal fundido, causando explosiones al contacto con el agua de enfriamiento de la bobina y prolongar la vida del refractario (disminuyendo los tipos de muertos).

III.A.3.-REFRACTARIOS USADOS.

Los materiales refractarios utilizables en este tipo de hornos son de diferentes tipos, tienen diferentes propiedades y sirven para diferentes propósitos. Dependen de las características de operación, tales como: tipo de metales a fundir, temperaturas de trabajo, tipos de escorias asociadas y tipos de óxidos.

III.A.3.a-CARACTERISTICAS.

En general, todos los materiales refractarios usados en hornos de inducción, deben tener las siguientes características:

- 1.-Baja permeabilidad al metal fundido y a la escoria.
- 2.-Baja reactividad química con el metal, la escoria y los materiales que se agregan, como el escoriador, fundentes y otros.
- 3.-Suficiente resistencia al choque térmico durante el vaciado del horno y su carga posterior.
- 4.-Estabilidad de volumen a las temperaturas de operación, suficiente para mantener sellos y prevenir grietas y
- 5.-Baja conductividad térmica y eléctrica/

III.A.3.b.-DIFERENTES ZONAS QUE USAN REFRACTARIOS.

El refractario para este tipo de hornos en fundiciones de hierro consiste en:

- 1.-Material para protección de la bobina. La bobina debe de protegerse de cualquier daño que pueda ocurrirle durante la instalación del revestimiento, o de cualquier eventualidad en que llegue a colarse el metal fundido a la misma. En el mercado existen varios materiales para este propósito: magnesita, silimanita, alta alúmina y una mezcla de sílice con ácido bórico; en algunas compañías colocan solamente fibra de vidrio entre los giros de la bobina y una lámina de asbesto entre la bobina y el crisol.
- 2.-Crisol.-Está en contacto permanente con el metal fundido, existiendo en el mercado varios materiales: sílice (SiO_2), alúmina (Al_2O_3), Zirconia (ZrO_2) y combinaciones de ellos.

Los hornos de inducción sin núcleo, normalmente son usados en operaciones intermitentes, o sea, cargando y vaciando el metal y por esta razón el revestimiento refractario es sometido a muchas y grandes variaciones de temperatura. En consecuencia, las dos consideraciones más importantes para escoger un material adecuado-

son:

Su habilidad para soportar el choque térmico y

Su habilidad para cerrar por si mismo cualquier grieta produ
cida.

En general, en fundiciones de hierro los revestimientos mono
líticos de sílice son los preferidos, debido a las siguien -
tes razones:

La sílice tiene la característica única de que esencialmente
no hay expansión térmica arriba de 1000^oF.

El revestimiento refractario tiene una estructura de multi -
zonas, donde un aflojamiento de una zona compactada, se solu
ciona por si misma.

Su facilidad de instalación y curado rápido, minimizando los
tiempos muertos durante la colocación de un nuevo revesti -
miento.

Su bajo contenido de humedad minimiza fallas en la bobina, de
bidas a saltos de corriente entre los giros de la misma.

Su bajo costo y

Disponibilidad.

Las compañías nacionales fundidoras de hierros, cuentan con-
revestimientos de sílice en todos sus hornos de este tipo.

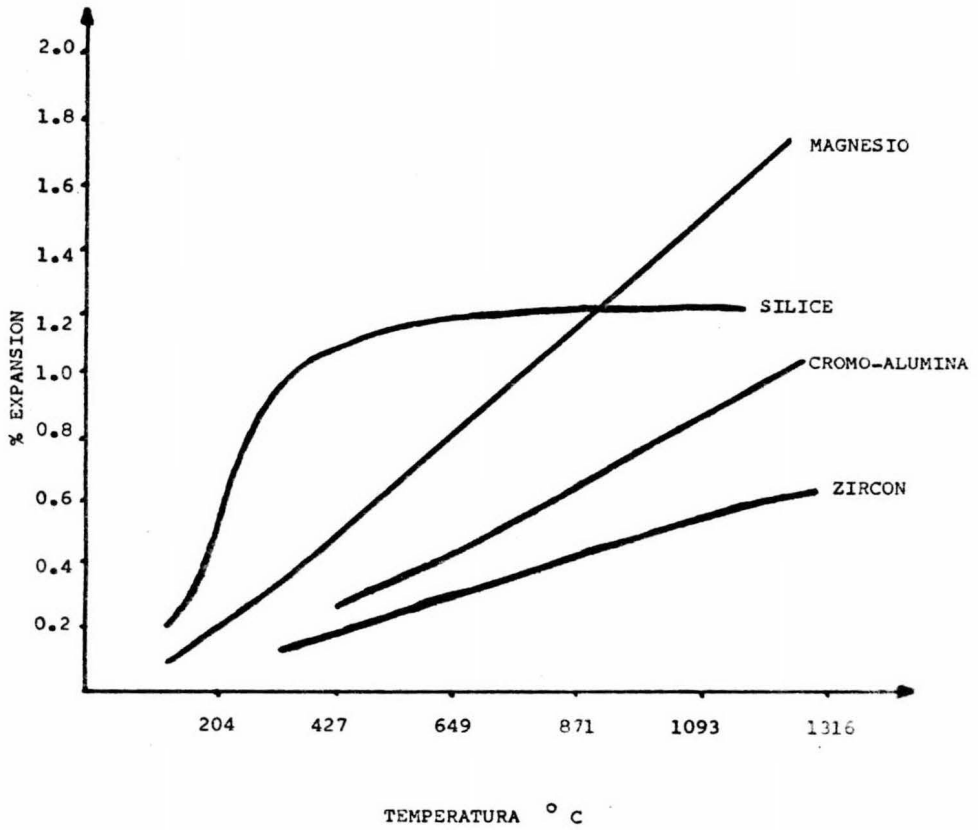


Figura.-3

3.-Material para la parte superior del horno (CORONA), con el propósito de proteger al que está en contacto con el metal cuando se carga el horno y de las herramientas de trabajo.

Algunas veces esta zona se hace del mismo material con que se construye el crisol refractario, pero algunas otras es una mezcla del material apisonable, agua y del parche recomendado.

4.-Material para la zona de vaciado (LABIO O PICO), algunas veces se utiliza el material apisonable del crisol y otras es un material refractario plástico, normalmente alumino - silicoso.

5.-Material para mantenimiento de los anteriores (PARCHÉ), puede ser el mismo material usado en cada zona o uno compatible con él.

DIBUJO DE UN HORNO MARCANDO LAS ZONAS ANTERIORES

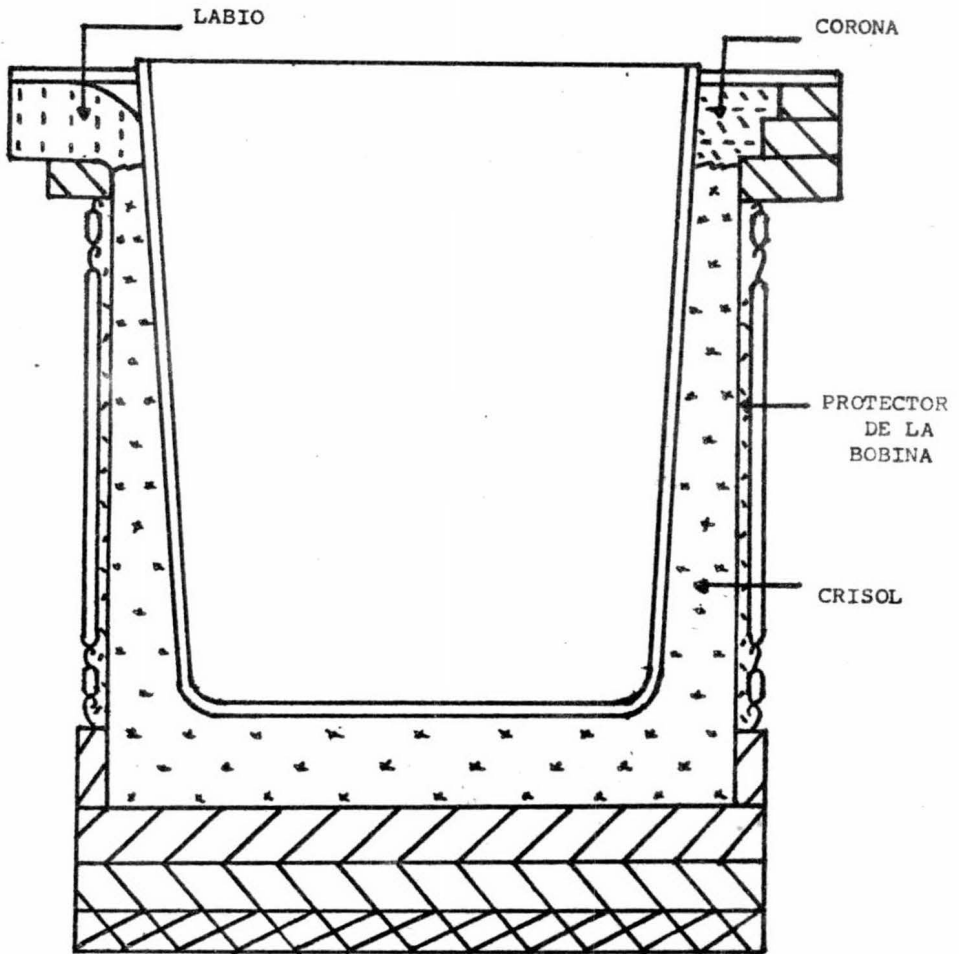


Figura 4.-

En todas y cada una de estas partes, para lograr que el refractario de el mejor servicio posible, deben de conjugarse 3 factores:

Una buena recomendación del refractario, o sea, usar el material adecuado; una buena instalación del mismo y un buen-curado (Sinterizado).

La falla de cualquiera de estos factores, se verá reflejada en una disminución de la vida del revestimiento; ocasionando por lo tanto, un aumento en el costo del refractario/tonelada de metal fundido.

III.B.-ADICION DE CARBURO DE SILICIO.

El carburo de silicio debe agregarse al baño metálico libre de escoria, seguido por los componentes del metal en la carga. La parte metálica de la carga debe cargarse en el horno, de tal manera que la cantidad de acero (chatarra), se ponga en contacto con el metal fundido antes que los retornos de la fundición. Esto hace posible una absorción rápida de silicio y carbón por parte de la chatarra de acero, cuyo contenido de estos elementos es muy bajo.

El silicio y carbón contenidos en el carburo de silicio, -

que no se utilizaron para desoxidar, se toman como puntos de estos elementos en el metal fundido. Se recomienda - que los análisis sean tomados una vez que todo el metal - esté en forma líquida y su temperatura sea superior a - 2750°F, con el propósito de tener la máxima recuperación de silicio y carbón.

La Fig. 5, nos muestra la forma de agregar todos los componentes al horno.

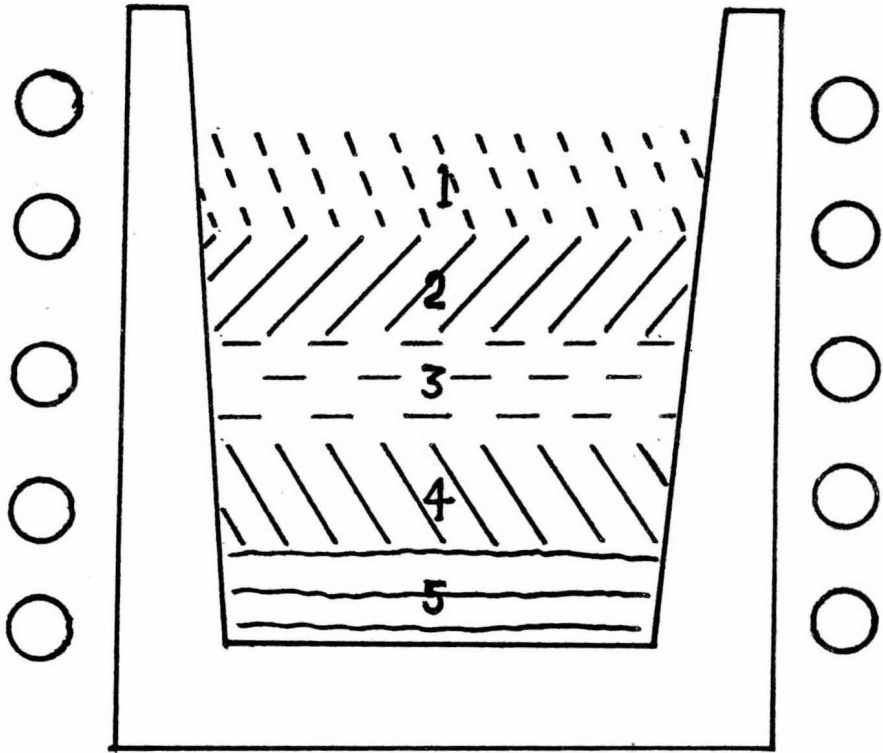


Figura 5.-

- 1.-Retornos de la fundición.
- 2.-Chatarra de acero.
- 3.-Coke o grafito.
- 4.-Carburo de silicio.
- 5.-Metal fundido.

C A P I T U L O I V .

IV.A.-CALCULO DE CARGAS.

IV.A.1.-EMPLEANDO CARBURO DE SILICIO.

IV.A.1.a.-CONTROL.

La composición normal del grano de SiC que se encuentra en el mercado, es la siguiente:

Material: =====	% ===
SiC	90
C libre	3
SiO ₂	
Al ₂ O ₃	Resto
Fe ₂ O ₃	
CaO	

La molécula de carburo de silicio está formada por 70% de silicio y 30% de carbono, por lo tanto, el material tendrá el siguiente porcentaje en peso:

% Si	:	(70)	(0.90)	=	63
% C	:	(30)	(0.90)	+ 3	= 30

C libre

La recuperación normal de Si y C es de un 90%, por lo que se obtiene:

$$\% \text{ Si} : (63) (0.90) = 56.7$$

$$\% \text{ C} : (30) (0.90) = 27.0$$

La cantidad de grano a adicionar dentro del horno, depende de la composición del hierro deseado, tomándose como base el porcentaje de silicio en el mismo y la recuperación antes mencionada. Una vez que se conoce la cantidad de grano necesaria, obtenemos la cantidad de carbón que estamos añadiendo con el mismo, para conocer cuanto nos hace falta.

Ejemplo:

Una carga de 1000 Kg a la que se quiere adicionar el 2% de silicio en forma de carburo de silicio:

$$\text{Kg silicio deseados: } (1000) (0.02) = 20$$

$$\text{Kg silicio recuperados/Kg de SiC: } 0.567$$

$$\text{Kg SiC necesarios} = \frac{20}{0.567} = \underline{\underline{35.27}}$$

Esto nos dá la siguiente cantidad de carbón recuperado:

$$(35.27) (0.27) = 9.522 \text{ Kg}$$

Que significan un 0.952% de la carga (1000 Kg.), adicionán
dose el resto en la forma que más convenga a la fundición.

A continuación se hacen algunos cálculos para diferentes -
tipos de hierros, empleando carburo de silicio.

FECHA :

HIERRO GRIS

ANALISIS DESEADO		% C : 3.00-4.00	% Mn : 0.40-0.60								
		% Si : 1.70-2.40	% Cr : 0.20-0.40								
Kg	%	MATERIALES	% C	% Si	% Mn	% Cr		% C	% Si	% Mn	% Cr
750	50	RETORNO DE GRIS	3.40	1.80	0.60	0.28		1.70	0.90	0.30	0.14
750	50	PACA DE ACERO			0.45					0.22	
27		GRAFITO	70.00					1.26			
31.7		CARBURO DE SILICIO	27.00	56.70				0.57	1.19		
4.5		FERROCROMO	6.57	3.06		53.80		0.02	0.01		0.16
		ANALISIS ESPERADO						3.55	2.10	0.52	0.30

Nota: Se despreció el contenido de C y Si en las pacas de acero, por ser muy pequeño.

FECHA:

HIERRO GRIS

ANALISIS DESEADO		% C: 3.30-3.60	% Mn: 0.40-0.60									
		% Si: 1.80-2.25	% Cr: 0.20-0.40									
Kg	%	MATERIALES	% C	% Si	% Mn	% Cr		% C	% Si	% Mn	% Cr	
500	33.3	METAL BASE NODULAR	3.78	2.00	0.50			1.26	0.66	0.16		
600	40.0	RETORNOS DE GRIS	3.40	1.80	0.45	0.30		1.36	0.72	0.18	0.12	
400	26.6	PACA DE ACERO			0.40					0.10		
11.35		GRAFITO	70					0.53				
16.4		SiC	27	56.7				0.30	0.62			
5.0		FERROCROMO	6.57	3.06		53.80		0.02	0.01		0.18	
		ANALISIS ESPERADO						3.47	2.01	0.44	0.30	

FECHA :

HIERRO GRIS

ANALISIS DESEADO		% C: 3.00-4.00	% Mn: 0.4-0.6								
		% Si: 1.70-2.40	% Cr: 0.20-0.40								
Kg	%	MATERIALES	% C	% Si	% Mn	% Cr		% C	% Si	% Mn	% Cr
750	50	BAÑO METALICO GRIS	3.55	2.10	0.52	0.30		1.77	1.05	0.26	0.15
750	50	PACA DE ACERO			0.45					0.22	
26.5		GRAFITO	70					1.23			
27.8		CARBURO DE SILICIO	27	56.7				0.50	1.05		
4		FERROCROMO	6.57	3.06		53.80		0.01	0.008		0.14
		ANALISIS ESPERADO						3.51	2.10	0.48	0.29

FECHA:

HIERRO GRIS

ANALISIS DESEADO		% C: 3.00-4.00	% Mn: 0.4-0.6								
		% Si: 1.70-2.40	% Cr: 0.40 máx.								
Kg	%	MATERIALES	% C	% Si	% Mn	% Cr		% C	% Si	% Mn	% Cr
750	50	BAÑO METALICO GRIS	3.51	2.10	0.48	0.29		1.75	1.05	0.24	0.14
750	50	PACA DE ACERO			0.45					0.22	
27		GRAFITO	70					1.26			
27.9		CARBURO DE SILICID	27	56.7				0.50	1.05		
4.5		FERROCROMO	6.57	3.06		53.80		0.02	0.01		0.16
		ANALISIS ESPERADO						3.53	2.11	0.46	0.30

FECHA:

HIERRO NODULAR

ANALISIS DESEADO		% C: 3.60-3.80	% Mn: 0.50 máx.									
		% Si: 1.80-2.00										
Kg	%	MATERIALES	% C	% Si	% Mn			% C	% Si	% Mn		
750	50	RETORNO NODULAR	3.60	2.80	0.45			1.80	1.40	0.22		
750	50	PACA DE ACERO			0.40					0.20		
36		GRAFITO	70					1.68				
13.2		CARBURO DE SILICIO	27	56.7				0.23	0.49			
		ANALISIS ESPERADO						3.71	1.89	0.42		

FECHA:

HIERRO NODULAR

ANALISIS DESEADO		% C: 3.60-3.80	% Mn: 0.50 M ^á x.									
		% Si: 1.80-2.00										
Kg	%	MATERIALES	% C	% Si	% Mn			% C	% Si	% Mn		
750	50	BAÑO METALICO NODULAR	3.71	1.89	0.52			1.85	0.95	0.26		
750	50	PACA DE ACERO			0.40					0.20		
29.5		GRAFITO	70					1.38				
25.1		CARBURO DE SILICIO	27	56.7				0.45	0.94			
		ANALISIS ESPERADO						3.68	1.89	0.46		

FECHA:

HIERRO NODULAR

ANALISIS DESEADO		% C: 3.60-3.80	% Mn: 0.50 Máx.									
		% Si: 1.80-2.00										
Kg	%	MATERIALES	% C	% Si	% Mn			% C	% Si	% Mn		
750	50	BAÑO METALICO NODULAR	3.68	1.89	0.56			1.84	0.94	0.23		
750	50	PACA DE ACERO			0.45					0.22		
31.1		GRAFITO	70					1.45				
25.1		CARBURO DE SILICIO	27	56.7				0.45	0.94			
		ANALISIS ESPERADO						3.74	1.88	0.45		

IV.A.1.b.-COSTOS.

El grano de SiC descrito anteriormente tiene un cos
to aproximado de \$ 9.96/Kg. Con esta base calcula-
remos a continuación el precio del Kg de silicio:

0.630 9.96

1.000 x

$$x = \frac{(9.96) (1000)}{0.630} = 15.81$$

=====

\$ 15.81/Kg Si

IV.A.2.-EMPLEANDO FERROSILICIO (75%):

IV.A.2.a.-CONTROL.

La composición de este material en el mercado es:

Elemento: =====	% ===
Si	75
Fe	24
Otros	Resto

Con estos datos se tiene el siguiente porcentaje de silicio en peso: 75

Considerando un 90% de recuperación de silicio, tendremos en consecuencia:

$$(75) \quad (0.90) \quad = \quad 67.5$$

La cantidad de ferrosilicio a agregar en el horno, depende del por ciento de silicio deseado en el hierro.

Ejemplo:

La misma carga anterior para SiC (1000 Kg) que se le quiere adicionar 2% de silicio en la forma de esta ferroaleación:

$$\begin{array}{rcll} \text{Kg} & \text{Silicio deseado} & : & (1000) \quad (0.02) & = & 20 \\ \text{Kg} & \text{Silicio recuperados/Kg ferrosilicio} & & & & 0.675 \\ & & & & & 20 \\ \text{Kg} & \text{Ferrosilicio necesarios} & = & \frac{20}{0.675} & = & 29.63 \end{array}$$

A continuación se muestran algunos cálculos para diferentes tipos de hierros, empleando ferrosilicio (75%)

FECHA:

HIERRO GRIS

ANALISIS DESEADO		% C: 3.30-3.60	% Mn: 0.40-0.60									
		% Si: 1.80-2.25	% Cr: 0.20-0.40									
Kg	%	MATERIALES	% C	% Si	% Mn	% Cr		% C	% Si	% Mn	% Cr	
500	33.3	METAL BASE NODULAR	3.78	2.00	0.50			1.26	0.66	0.16		
600	40.0	RETORNO GRIS	3.40	1.80	0.45	0.30		1.36	0.72	0.18	0.12	
400	26.6	PACA DE ACERO			0.40					0.10		
17.8		GRAFITO	70					0.83				
13.8		FeSi (75%)		67.5					0.62			
5.0		FERROCROMO	6.57	3.06		53.80		0.02	0.01		0.18	
		ANALISIS ESPERADO						3.47	2.01	.44	0.30	

Nota: Se desprecio el contenido de C y Si en las pacas de acero, por ser muy pequeño.

FECHA:

HIERRO GRIS

ANALISIS DESEADO		% C: 3.00-4.00	% Mn: 0.40-0.60								
		% Si: 1.70-2.40	% Cr: 0.20-0.40								
Kg	%	MATERIALES	% C	% Si	% Mn	% Cr		% C	% Si	% Mn	% Cr
750	50	RETORNO DE GRIS	3.40	1.80	0.60	0.30		1.70	0.90	0.30	0.15
750	50	PACA DE ACERO			0.45					0.22	
38.5		GRAFITO	70					1.79			
26.6		FeSi (75%)		67.5					1.18		
4		FERROCROMO	6.57	3.06		53.80		0.01	0.008		0.14
		ANALISIS ESPERADO						3.50	2.08	0.52	0.29

FECHA:

HIERRO GRIS

ANALISIS DESEADO		% C: 3.00-4.00	% Mn: 0.40-0.60								
		% Si: 1.70-2.40	% Cr: 0.20-0.40								
Kg	%	MATERIALES	% C	% Si	% Mn	% Cr		% C	% Si	% Mn	% Cr
750	50	BAÑO METALICO GRIS	3.49	2.08	0.52	0.29		1.74	1.04	0.26	0.14
750	50	PACA DE ACERO			0.45					0.22	
37.7		GRAFITO	70					1.76			
23.5		FeSi (75%)		67.5					1.05		
4.5		FERROCROMO	6.57	3.06		53.80		0.02	0.01		0.16
		ANALISIS ESPERADO						3.52	2.10	0.48	0.30

FECHA:

HIERRO GRIS

ANALISIS DESEADO		% C: 3.00-4.00	% Mn: 0.4 - 0.6									
		% Si: 1.70-2.40	% Cr: 0.20-0.40									
Kg	%	MATERIALES	% C	% Si	% Mn	% Cr		% C	% Si	% Mn	% Cr	
750	50	BAÑO METALICO GRIS	3.50	2.09	0.48	0.30		1.75	1.04	0.24	0.15	
750	50	PACA DE ACERO			0.45					0.22		
37.5		GRAFITO	70					1.75				
23.5		FeSi (75%)		67.5					1.05			
		FERROCROMO	6.57	3.06		53.80		0.01	0.008		0.14	
		ANALISIS ESPERADO						3.51	2.09	0.46	0.29	

FECHA:

HIERRO NODULAR

ANALISIS DESEADO		% C: 3.60-3.80	% Mn: 0.50 Máx.								
		% Si: 1.80-2.00									
Kg	%	MATERIALES	% C	% Si	% Mn		% C	% Si	% Mn		
750	50	RETORNO NODULAR	3.60	2.80	0.45		1.80	1.40	0.22		
750	50	PACA DE ACERO			0.40				0.20		
41		GRAFITO	70				1.91				
11.1		FeSi (75%)		67.5				0.49			
		ANALISIS ESPERADO					3.71	1.89	0.42		

FECHA:

HIERRO NODULAR

ANALISIS DESEADO		% C: 3.60-3.80	% Mn: 0.50 Máx.								
		% Si: 1.80-2.00									
Kg	%	MATERIALES	% C	% Si	% Mn			% C	% Si	% Mn	
750	50	BAÑO METALICO NODULAR	3.71	1.89	0.52			1.85	0.94	0.26	
750	50	PACA DE ACERO			0.40					0.20	
40		GRAFITO	70					1.87			
21.3		FeSi (75%)		67.5					0.95		
		ANALISIS ESPERADO						3.72	1.89	0.46	

FECHA:

HIERRO NODULAR

		ANALISIS DESEADO	% C: 3.60-3.80		% Mn: 0.50 M ⁵ x.							
			% Si: 1.80-2.00									
Kg	%	MATERIALES	% C	% Si	% Mn			% C	% Si	% Mn		
750	50	BAÑO METALICO NODULAR	3.71	1.89	0.56			1.85	0.94	0.28		
750	50	PACA DE ACERO			0.60					0.30		
4		GRAFITO	70					1.87				
21.3		FeSi (75%)		67.5					0.95			
		ANALISIS ESPERADO						3.72	1.89	0.58		

IV.A.2.b.-COSTOS.

El Kg de ferrosilicio (75%) del que hemos estado tra
tando, tiene un costo aproximado de \$ 18.00 En ba
se a este dato, calcularemos el precio del Kg de si-
licio:

$$\begin{array}{r} 0.750 \text{ ————— } 18 \\ 1.000 \text{ ————— } x \end{array}$$

$$x = \frac{18}{0.750} = 24$$

\$ 24.00/Kg Si

C A P I T U L O V

V.A.-CONCLUSIONES.

La adición del carburo de silicio a hornos de inducción sin núcleo, nos permite:

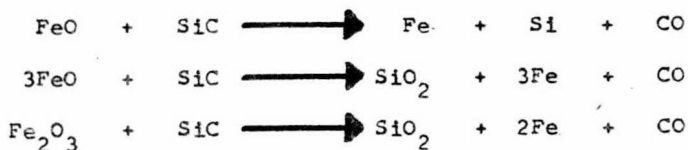
1.-Obtener silicio y carbón más baratos, ya que como vimos en el capítulo IV:

\$ 15.81/Kg Si Usando carburo de silicio, además el 30% en peso de carbón que se obtiene por Kg de carburo de silicio.

\$ 24.00/Kg Si Usando ferrosilicio al 75%

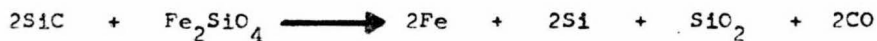
O sea, se obtiene silicio un 34.12% más barato que cuando se usa ferrosilicio (75%)

2.-Reducción del óxido de hierro contenido en el metal y la escoria y como consecuencia un incremento en la vida útil del revestimiento:



El óxido de hierro ataca a la sílice del revestimiento refrac--
tario, formando la fayalita (Fe_2SiO_4) a aproximadamente 2150°F ,
abajo de las temperaturas del baño de metal. La fayalita que es
un líquido a las temperaturas de operación del horno, se difun-
de dentro del revestimiento entre los granos de sílice, causan-
do una deterioración gradual en el mismo.

El carburo de silicio, reduce el silicato de hierro (fayalita)
formado:



con lo cual se incrementa la vida útil del revestimiento.

A continuación se muestra una tabla comparativa, obtenida por una Compañía extranjera que usa carburo de silicio en sus hornos de inducción sin núcleo.

	REVESTIMIENTO NUEVO		P A R C H E		SEM. TOT.	TON. TOT.
	SEM.	TON. CORTAS	SEM.	TON. CORTAS		
CON CARBURO DE SILICIO	8	4079	4	2230	12	5309
PROMEDIO SIN - CARBURO DE SILICIO	6	2653	2.2	934	8.2	3587
INCREMENTO	33.3%	53.75%	81.81%	138.75%	46.34%	75.88%
LA MEJOR VIDA PREVIA	8	3781	2	1032	10	4813

- 3.-Mayor precipitación de grafito en formas que son más bené-
ficas para la maquinabilidad.

Las investigaciones han mostrado que es más difícil de ma-
quinar a un hierro gris, cuando el grafito en escamas se-
desvía de una distribución al azar o un modelo rosette o-
interdendrítico.

Los últimos dos tipos de grafito, tienen más ferrita li-
bre asociada con ellos. Esto resulta con la formación de
excesiva ferrita libre sobre el borde de la herramienta -
para maquinar, causando problemas a las mismas y un pobre
acabado en las piezas que se maquinan. En los hierros -
grises desoxidados con carburo de silicio, la mayoría del
grafito precipita en laminillas al azar y como resultado-
de esto, la estructura contiene menos ferrita libre.

Las figuras de abajo, muestran la diferencia de la distribución de grafito en hierros tratados con carburo de silicio y aquellos que no.

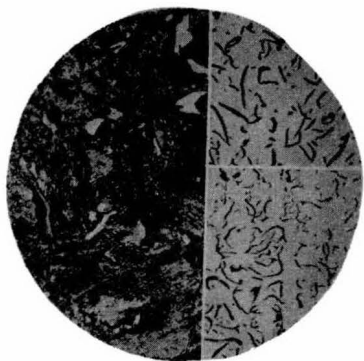


Figura 6.- Hierro Tratado con carburo de silicio.

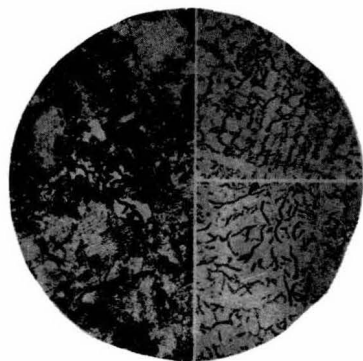


Figura 7.- Hierro no Tratado.

A continuación se dan algunos datos de maquinabilidad en 4 fundiciones diferentes:

FUNDICION "A"	COMPOSICION QUIMICA %						VOLUMEN DE METAL REMOVIDO (PULG. ³)	
	C	Si	Mn	S	P			
HIERRO							10 20 30 40 50 60 70 80 90	
SIN TRATAR	3.57	2.25	0.68	0.10	0.11		53	
TRATADO CON SiC	3.56	2.26	0.66	0.10	0.11		85	
FUNDICION "B"	COMPOSICION QUIMICA %						VOLUMEN DE METAL REMOVIDO (PULG. ³)	
HIERRO	C	Si	Mn	S	P			
SIN TRATAR	3.32	2.37	0.64	0.11	0.15		22	
TRATADO CON SiC	3.29	2.25	0.60	0.12	0.13		39	
FUNDICION "C"	COMPOSICION QUIMICA %							VOLUMEN DE METAL REMOVIDO (PULG. ³)
HIERRO	C	Si	Mn	S	P	Cr		
SIN TRATAR	3.35	2.33	0.69	0.10	0.17	0.28	23	
TRATADO CON SiC	3.50	2.26	0.73	0.10	0.17	0.31	30	
FUNDICION "D"	COMPOSICION QUIMICA %						VOLUMEN DE METAL REMOVIDO (PULG. ³)	
HIERRO	C	Si	Mn	S				
SIN TRATAR	3.49	2.53	0.60	0.08			58	
TRATADO CON SiC	3.56	2.48	0.59	0.03			86	

4.-Piezas con mejores propiedades mecánicas.-

Quando se usa carburo de silicio en fundiciones de hierro, es posible incrementar las propiedades mecánicas tan bien como la maquinabilidad de las piezas vaciadas (punto anterior).

H I E R R O	A N A L I S I S			RESIST. A LA TENSION PSI	RESIST. TRANS VERSAL LBS	DE- FLEC CION PULG.
	C TOTAL	SI	C EQUIV			
SIN TRATAR	3.39	1.70	3.96	37900	2370	.220
TRATADO CON SIO	3.32	1.69	3.94	40200	2530	.252
SIN TRATAR	3.42	1.82	4.02	35200	2400	.244
TRATADO CON SIO	3.43	1.79	4.03	37800	2610	.272
SIN TRATAR	3.47	1.89	4.10	34800	2440	.257
TRATADO CON SIO	3.45	1.95	4.10	36400	2670	.290
SIN TRATAR	3.48	1.96	4.13	34200	2450	.284
TRATADO CON SIO	3.47	2.02	4.14	35600	2630	.295

5.-Reducción del temple (chill).

Cuando se hacen coladas de hierro gris, es difícil evitar enfriamientos ocasionales en las esquinas y secciones delgadas de las piezas vaciadas. Estas áreas son duras y difíciles de maquinar. El uso del carburo de silicio, reduce la profundidad del temple y altera la microestructura de las zonas duras, lo suficiente para minimizar el daño a las herramientas que pasan por estas zonas.



Figura 8.- Hierro Tratado con Carburo de Silicio.

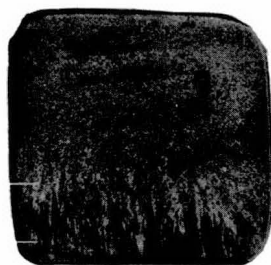


Figura 9.- Hierro no Tratado.

6.-Aumenta la fluidez del metal fundido permitiendo vaciadas en piezas con secciones delgadas y disminuyendo el número de rechazos.

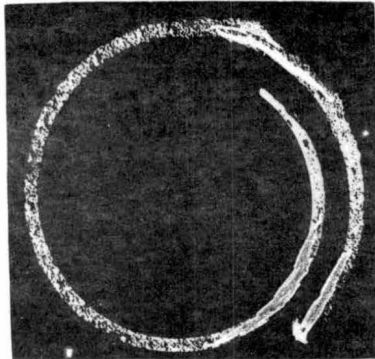


Figura 10.-Hierro tratado con carburo de silicio.

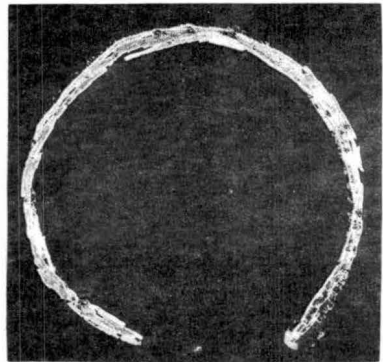
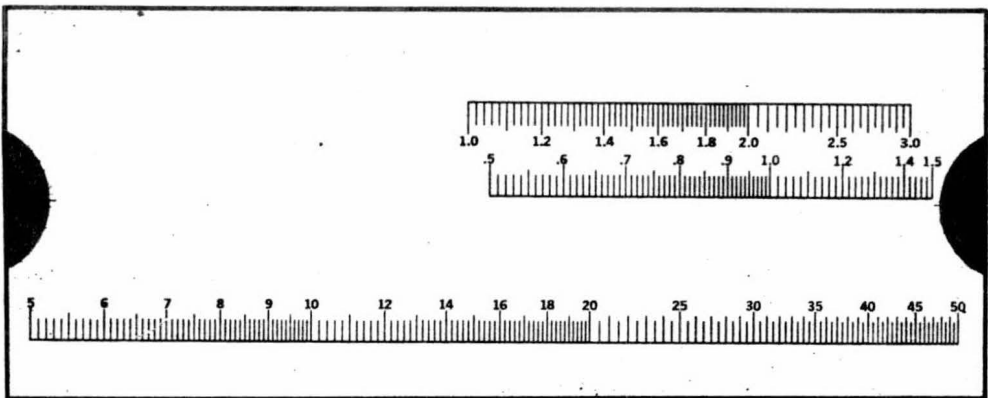
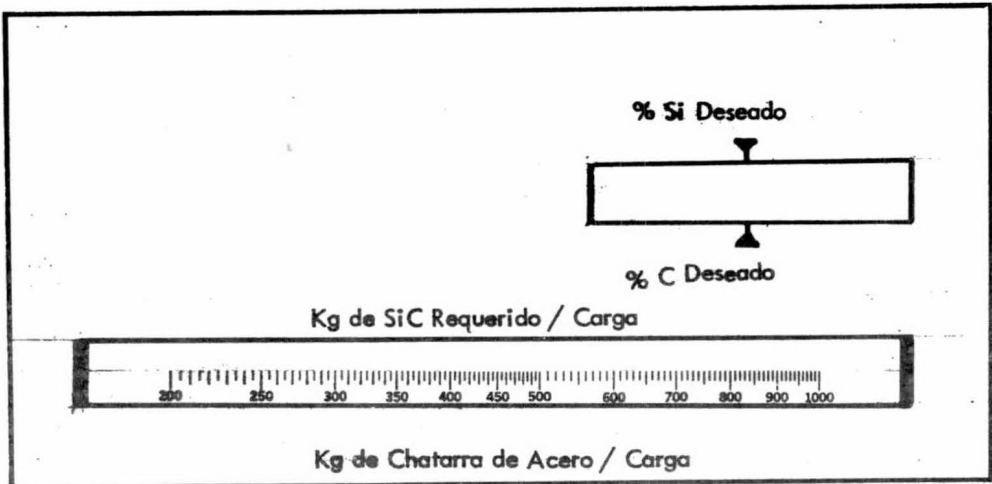


Figura 11.-Hierro No tratado.

TIPO DE HIERRO	No. DE DIAS	No. PIEZAS VACIADAS	No. DE RECHAZOS	% RECHAZOS	% DECREMENTO
SIN TRATAR	11	29939	1317	4.48	-
TRATADO CON SIC	12	31913	723	2.28	49

7.- Se controlan facilmente las adiciones de carburo de silicio al horno, mediante la siguiente tabla:



8.-Permite usar mayores cantidades de chatarra en los hornos.

9.-Otras ventajas a los fundidores, como aumentar el tiempo - de acción de los inoculantes, reduce la adición de los mis mos y puede usarse en lugar de SMZ en hierro gris. A con- tinuación se muestran los resultados obtenidos en una com- pañía nacional, relativos a la última aplicación:

Se adicionaron 2.0 Kg de carburo de silicio (90%) en lugar de 1.5 Kg de SMZ; a una olla de 600 Kg de Hierro Gris.

Los resultados obtenidos fueron:

ESPECIFICACIONES:	RESULTADOS:
% C : 3.25 MIN.	3.49
% Si : 2.40 MAX.	2.39
% Mn : 0.70 - 1.0	0.71
% Cr : 0.25 - 0.40	0.34
% P : 0.12 MAX.	0.029
% S : 0.15 MAX.	0.034
C eq : 4.25 MAX.	4.20
DUREZA : 179 - 229	197

También se ha encontrado que usando carburo de silicio, se obtiene una escoria menos chiclosa y más fácil de quitar.

EN BASE A TODOS LOS BENEFICIOS QUE SE OBTIENEN CON EL USO-
DE CARBURO DE SILICIO EN LOS HORNOS TRATADOS, SE RECOMIEN-
DA SU APLICACION EN LOS MISMOS.

C A P I T U L O VI

VI.1.-BIBLIOGRAFIA.

a.-Improving Induction Furnace Refractory Life.

Becque J. H.

Foundry. April 1968

b.-Manual para Hornos de Inducción sin Núcleo.

Brown Boveri Mexicana, S.A., de C.V.

México, D.F.

c.-Investigación sobre el Temple del Hierro Nodular.

Campos Caudillo José.

México, D.F.

d.-Boletines de Información sobre Carburo de Silicio.

Electro Mineral Division.

The Carborundum Company.

Niagara Falls, N.Y., U.S.A.

e.-El Empleo del Horno de Inducción a Baja Frecuencia en las
Fundiciones de Hierro y Acero.

Fernández Juan J.

Fundición No. 107, Nov. 1968

f.-Relating Coreless Induction Furnace Size to Frequency
Foundry. Sep. 1971

g.-Principles of Metal Castings.

Heine, Loper & Rosenthal.

Ed. Mc Graw-Hill.

h.-Recomendaciones para la Instalación y Sinterizado de Reves
timientos Acidos en Hornos de Inducción sin Núcleo.

Howell, Campbell y M. Urruticoschea U.

Rev. de la Asociación Técnica de Fund.

Vol. 5, No. 3 Marzo 1972

i.-The Foundryman's Guide to Electric Melting and Heating.

Inductotherm.

Rancocas, N.J., U.S.A.

j.-Refractory Practices.

Kaiser Refractories.

Rancocas, N.J., U.S.A.

k.-Refractory Linings for Induction Furnaces.

Norton Company.

Worcester, Mass, U.S.A.

l.-Chemical Engineers Handbook.

Perry and Chilton.

Ed. Mc Graw-Hill.

m.-Ingeniería Metalúrgica.

Reinhardt Schuhmann Jr.

Cía. Ed. Continental, S.A.

n.-Hornos Metalúrgicos de Inducción.

Sánchez Montiel Jorge R.

Solano Rico Heriberto.

Tesis.

México, D.F., 1975

o.-Ductile Iron Production.

Spengler Arthur E.

Miller and Company.

Chicago, Illinois, U.S.A.

p.-Shaping, Making and Treating of Steel.

United States Steel.

Pitsburg, Pensilvania.