

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y MANUFACTURERA**



**Estudio Técnico - Económico del Diseño  
de un Horno para Carburo de Calcio y  
Ferroaleaciones**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO QUIMICO**

**Bernardo Peña Yalico  
Julio Santiago Estupiñan Oyola**

**Lima-Perú  
1997**

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo es un esfuerzo que ha podido ser llevado a cabo gracias a un conjunto de personas y empresas que nos han brindado su ayuda desinteresada.

Nuestro agradecimiento muy sincero a nuestro asesor Ing. Eugenia Medico B. por sus observaciones y revisiones de los borradores; así también al Ing. Manuel Nieto por sus consejos y ayuda.

A HORNOS ELECTRICOS PERUANOS S.A. (HEPSA) un agradecimiento especial en la persona del Sr. Tomás Gestau nos permitió conocer por primera vez el proceso productivo en sus instalaciones y facilitarnos valiosas informaciones sobre los hornos eléctricos de Arco.

También expresamos nuestro agradecimiento a la empresa CARBOTERMICA S.A. en las personas de sus accionistas, al Gerente General Ing. Edgardo Castañeda Olivares y en forma muy especial al Econ. Victor Gordillo Pacheco, a sus trabajadores en general, por su amplia y desinteresada colaboración en las pruebas experimentales realizadas en sus hornos.

Por último nuestra gratitud a los seres que nos formaron, nuestros padres sin cuyo sacrificio difícilmente hubiésemos logrado nuestra meta.

## I N D I C E

1.	INTRODUCCION . . . . .	4
2.	RESUMEN Y CONCLUSIONES . . . . .	5
3.	HISTORIA DE LA PRODUCCION DE CARBURO DE CALCIO Y FERROALEACIONES EN EL PERU Y LATINOAMERICA. . . . .	12
3.1.	CARBURO DE CALCIO Y FERROALEACIONES. . . . .	13
3.1.1.	CARBURO DE CALCIO, CARACTERISTICAS, PROPIEDADES Y USOS. . . . .	13
3.1.2.	FERROALEACIONES, PROPIEDADES, CARACTERISTICAS Y USOS. . . . .	21
3.2.	ESTADISTICA DE PRODUCCION EN EL PERU. . . . .	32
3.3.	IMPORTACIONES DE CARBURO DE CALCIO Y FERROALEACIONES . . . . .	35
4.	MATERIAS PRIMAS Y PROCESOS DE PRODUCCION DEL CARBURO DE CALCIO Y FERROALEACIONES. . . . .	37
4.1.	CARBURO DE CALCIO. . . . .	37
4.1.1.	MATERIAS PRIMAS. . . . .	37
4.1.2.	PROCESOS DE PRODUCCION DEL CARBURO DE CALCIO. . . . .	41
4.2.	FERROALEACIONES. . . . .	46
4.2.1.	FERROSILICIO. . . . .	47
4.2.2.	FERROCROMO. . . . .	51
4.2.3.	FERROMANGANESO. . . . .	53
5.	HORNOS ELECTRICOS PARA LA PRODUCCION DE CARBURO DE CALCIO Y FERROALEACIONES. . . . .	60
5.1.	GENERALIDADES. . . . .	60
5.2.	HISTORIA (RESUMEN). . . . .	61
5.3.	CLASIFICACION DE LOS HORNOS ELECTRICOS. . . . .	63
5.3.1.	CLASIFICACION DE HORNOS DE ARCO. . . . .	67
5.4.	DESCRIPCION DE HORNOS ELECTRICOS PARA FERROALEACIONES Y CARBURO DE CALCIO. . . . .	69
5.5.	MATERIALES DE CONSTRUCCION. . . . .	83
5.5.1.	LADRILLOS REFRACTARIOS. . . . .	83
5.5.2.	REVESTIMIENTOS DE LOS HORNOS. . . . .	84
5.5.3.	ESTRUCTURAS METALICAS DE LOS HORNOS. . . . .	87
5.5.4.	MATERIALES PARA EL TECHO. . . . .	87

5.5.5. CIRCUITOS ELECTRICOS. . . . .	89
5.5.6. ACCESORIOS. . . . .	93
6. DISEÑO DE HORNO PARA FERROALEACIONES Y CARBURO DE CALCIO. . . . .	94
6.1. CALCULO DE LA CAPACIDAD DEL HORNO. . . . .	94
6.2. CINETICA DE LAS REACCIONES. . . . .	97
6.3. MECANISMO DE LA CINETICA DE LA REACCION. . . . .	99
6.4. PARTE EXPERIMENTAL. . . . .	100
6.5. POTENCIA ELECTRICA NECESARIA A SUMINISTRAR AL HORNO. . . . .	109
6.6. BALANCE DE ENERGIA. . . . .	113
6.7. DIMENSIONES DEL HORNO. . . . .	124
7. DETERMINACION DE LA INVERSION . . . . .	135
7.1. DETERMINACION DE COSTOS. . . . .	135
7.1.1. INVERSION DE TERRENO . . . . .	135
7.2. MAQUINAS Y EQUIPOS . . . . .	146
8. BIBLIOGRAFIA . . . . .	148
9. APENDICE . . . . .	152
10. ABREVIATURAS Y SIMBOLOS . . . . .	171

# CAPITULO 1

## INTRODUCCION

Frente a una difícil situación que viene atravesando el país en todo los aspectos, las industrias químicas necesitan de alternativas para poder subsistir, estas alternativas tendrán que ser estudios de investigación para mejorar la tecnología, en otras para crear tecnologías y poder competir dentro del mercado libre donde se exige calidad que deben cumplir con las normas internacionales, donde priman costos bajos para poder jugar con precios.

El tema desarrollado tiene como objetivo estudiar las condiciones de operación de los hornos en la producción de carburo de calcio y ferro aleaciones y así darle a las empresas productoras de carburo de calcio la alternativa de utilizar sus hornos también en la producción de ferroaleaciones, haciendo sus hornos multifuncionales, con la que podrán afrontar así la saturación del mercado de un sólo producto y al mismo tiempo sustituir la importación a gran escala de las ferroaleaciones. Para lo cual se usan las materias primas existentes en el país, que tiene buena calidad y se encuentran en canteras ubicadas en: Junín, Cajamarca, y Huaraz.

Los procesos y operaciones se diseñarán primero en una planta piloto. Para luego proyectarlo a mayor escala, donde cumplirá su objetivo con la demanda existente, haciéndolo viable tanto técnicamente como económicamente. En lo que respecta a las ferroaleaciones estos productos son de gran demanda, en la siderúrgica para la producción de aceros especiales y también como materiales de refinación.

Siendo este estudio una contribución a la industria, se espera que cumpla su objetivo para aquellas industrias que más lo necesitan y este aporte inspire otros proyectos para enriquecer el campo de la ingeniería del País.

## CAPITULO 2

### RESUMEN Y CONCLUSIONES

#### RESUMEN

##### 1. OBJETIVO.

El objetivo de la presente tesis es el diseño de hornos para Carburo de Calcio y las ferroaleaciones y así como la evaluación económica.

##### 3. HISTORIA DE LA FABRICACION DE $\text{CaC}_2$ Y FERROALEACIONES.

Las siguientes etapas más importantes en la fabricación de carburo de calcio y ferroaleaciones en el Perú son:

1930 : Horno de carburo en la Oroya (uso interno).

1954 : Primera compañía HEPESA (Hornos eléctricos del Perú S.A.) Km 65 Carretera Central.

1962 : Segunda compañía ENSA (Eléctro Metalurgia Nacional S.A.) Chimbote.

1984 : Tercera compañía CARBOTERMICA S.A. (Lurin Lima).

La producción de ferroaleaciones se inicia en el Perú en el año 1986.

1986 : ENSA Produce Ferrosilicio ( $\text{FeSi}/45\%$ ).

1986 : ENSA Produce Ferromanganeso. ( $\text{FeMn}-\text{Al}$ ).

La producción de carburo de calcio para los años futuros tiene una tendencia decreciente así para el año 1994 se prevee en 3 500 Tn.

Las Ferroaleaciones tiene una tendencia ascendente. La Producción de  $\text{CaC}_2$  dentro del GRAN es también ascendente.

Las importaciones de carburo de calcio tienen una tendencia ascendente, para el año 1 996 se prevee en 5 046,9 Tn

Las importaciones de ferroaleaciones tienen una tendencia a mantener el ferrosilicio por encima de 2 500 Tn y el

ferromanganeso por encima de 3 700 Tn.

Las principales propiedades del carburo de calcio y ferroaleaciones se mencionan en el cuadro N°1:

CUADRO N° 1: PROPIEDADES DE CARBURO DE CALCIO Y FERROLEACIONES

	CaC <sub>2</sub> 80%	Fe-Si (15-78%)	Fe-Mn Pobre-Rico	Fe-Cr Bajo C / Alto C
Pto. Fusion	1 880°C	1200-1330°C	1220-1260°C	1220-1710°C
Peso Especif	2,34	5,6-2,15	7,38-7,35	7,35-7,29
Usos	Soldadura P.V.C Iluminación	Aceros	Aceros Inoxidables	Aceros Colados Forjados

#### 4. MATERIAS PRIMAS Y PROCESOS DE PRODUCCION DE CaC<sub>2</sub> Y FERROALEACIONES.

Las materias primas para producir CaC<sub>2</sub> son Cal y Carbón y para las ferroaleaciones fierro y el mineral a reducir con ciertas especificaciones (Normas Técnicas Peruanas e internacionales). (INDECOPI (NTP 311.257, INDECOPI (NTP 341.048, JIS K 1901 - 1983).

Para los procesos de producción del Carburo de Calcio este no ha variado en forma notable desde su invención, lo que si ha evolucionado es la tecnología, así muestran los diagramas de operaciones de los procesos del Carburo de Calcio y ferroaleaciones.

El proceso para el CaC<sub>2</sub> es la de una reacción de reducción, pudiendo ser batch, semicontinuo y continuo dependiendo del avance tecnológico de los hornos y cuan sofisticado se encuentra su instrumentación.

En el país el proceso de fabricación de las ferroaleaciones es poco conocido, estos procesos se realizan por reducción de los metales desde sus óxidos. Las materias primas al inicio son minerales o minerales concentrados.

Los minerales para las ferroaleaciones tienen un alto contenido del elemento a ser reducido, el reductor más conocido para el proceso es el carbón, existiendo otros.

Las materias primas para la producción del  $\text{CaC}_2$  y ferroaleaciones están resumidas en el cuadro N° 2:

CUADRO N° 2: MATERIAS PRIMAS PARA PRODUCCION DE  $\text{CaC}_2$  Y FERROLEACIONES

	Cal	Carbón	Fe	Cuarzo	Oxido de Mn.	Procesos	T°Trab.
$\text{CaC}_2$	X	X				Reducc.	2 600°C
Fe-Si		X	X	X		Reducc.	1 200-1330°C
Fe-Mn	X	X	X		X	Reducc.	1 070-1260°C

Para el Fe-Cr. se usa como materia prima cromita, CoKe, mineral de hierro con un proceso de reducción.

#### 5. HORNOS ELECTRICOS PARA LA FABRICACION DE $\text{CaC}_2$ Y FERROLEACIONES.

En la evolución de la construcción de los hornos eléctricos se hace el seguimiento desde su invención entre 1845-1848, hasta su perfeccionamiento en nuestros días. Así mismo su clasificación de acuerdo a la forma de aplicación de la energía eléctrica para generar calor. En la descripción en detalle de los hornos eléctricos para ferroaleaciones y carburo de calcio mencionamos la cuba, electrodos y otros elementos.

Dentro de los materiales de construcción el más crítico de seleccionar es el ladrillo refractario. De este se hace una



evaluación de sus propiedades intrínsecas. Se presentan los diversos tipos de ladrillos refractarios y revestimientos.

Los hornos eléctricos son de tres tipos (resistencia, inducción y arco).

Los hornos de arco fueron inventados en 1845, desde su invención a tenido perfeccionamientos hasta obtener el horno para  $\text{CaC}_2$  en el año de 1892 (Moissan, Wilson), estos hornos a su vez fueron perfeccionandose hasta nuestros días. Los principales elementos de un horno de arco para carburo y ferroaleaciones son:

- Cuba
- Electrodo
- Sistema eléctrico
- Accesorios.

Usando materiales especiales ya que soportan temperaturas que bordean los 2200 °C. Debemos mencionar los ladrillos de alta-alumina (50-90% de Al), magnesita (80% MnO) y electrodos tipo Söderberg, transformadores reductores específicos con gran potencia.

## 6. DISEÑO DE HORNOS PARA FERROALEACIONES Y $\text{CaC}_2$ .

La parte más importante es el diseño de los hornos para ferroaleaciones y Carburo de Calcio, partimos del cálculo de la capacidad del horno, (base la producción de Carburo de Calcio).

Con la capacidad de producción calculamos la potencia eléctrica necesaria a suministrar al horno, realizamos un balance de energía del horno.

El dimensionamiento del horno se hace siguiendo los cálculos de la capacidad del horno, potencia eléctrica y la transferencia de calor del horno, obteniendo las dimensiones de todas las partes del horno. Para el diseño el horno se toma como referencia la producción de 12 Tn/día de  $\text{CaC}_2$  obteniendo materias primas y energía eléctrica necesarios, con la cual calculamos el volumen de la Cuba:  $11,23\text{m}^3$

$$h = 1,68\text{m}$$

$$I = 35\ 000\ \text{A}$$

$$D_e = 0,85\text{m}$$

$$D_c = 2,90\text{m}$$

$$P_t = 2\ 500\text{KVA}$$

$$Q = 3\ 211,89\text{Kwh}$$

$$V = 70\text{v}$$

La parte experimental: con ello encontramos el tiempo de residencia de 2 horas y las dimensiones del horno.

## 7. DETERMINACION DE LA INVERSION

Se determinó la inversión necesaria para la adquisición de área y equipos principales, equipos auxiliares y diversos servicios. Estos se determinan siguiendo la cotización directa previa proforma de equipos, tomando promedio en los materiales de construcción y la mano de obra, la instalación y el montaje se asume un 30% del costo total de equipo, todo los costos se han tomado en base al dolar.

Los costos se determinaron segun proforma de abastecedores y siguiendo el diagrama de flujo dividiendo por secciones y se obtuvo el siguiente resultado:

Costos de terreno aprox. 2 500m <sup>2</sup>	---->US\$ 125 000
Costos de obras civiles	---->US\$ 196 775
Costos de equipos y accesorios	---->US\$ 238 920
Costos de Instalación y montaje	---->US\$ 71 676
Imprevistos	---->US\$ 126 474
Total	---->US\$ 758 847

Es decir la inversión es de US\$ 759 000 para todo el diseño e instalación de la planta.

## CONCLUSIONES.

1. Hay una necesidad constante de Carburo de Calcio de acuerdo al estudio de mercado expuesto. Lo mismo sucede con las Ferroaleaciones (principalmente los ferrosilicios y ferromanganeso).
2. Las materias primas necesarias para llevar adelante el proyecto, existen dentro de nuestro país en cantidad y calidad. Si bien por el momento la energía eléctrica es deficitaria, esta se cubrirá en corto tiempo, porque así lo exige el desarrollo industrial del país con la privatización de las empresas eléctricas.

3. Las dos compañías productoras de Carburo de Calcio atraviezan actualmente por una crisis a consecuencia del libre mercado y un arancel bajo, encontrándose los precios de sus productos a un costo más elevado que los importados, esto exige que estas compañías no tengan un solo producto sino varios, por el cual sus hornos deben ser multifuncionales (producción de Carburo de Calcio y Ferroaleaciones).
4. Los hornos existentes en nuestro país sólo son réplicas de diseños franceses, sin los cálculos de Ingeniería. En este proyecto, los resultados están sustentados por ecuaciones, correlaciones matemáticas, por datos experimentales en laboratorio y en planta piloto.
5. La utilización de los Hornos Eléctricos de arco es una de las formas más económicas de obtener temperaturas elevadas, hasta cerca de 3 000 °C, siendo el método más seguro en la producción de Carburo de Calcio y Ferroaleaciones, ya que con otros métodos no obtienen las calidades requeridas.
6. El calor generado por la energía eléctrica para producir una tonelada de carburo de calcio, cubre satisfactoriamente, todos los balances de energía que se pueden realizar para el horno.
7. Los materiales necesarios para el horno son: El fierro para el Casquete, ladrillos y aleaciones especiales para el porta electrodo, éstos están a nuestra disposición en el país con la calidad adecuada.
8. Para este tipo de Hornos, los ladrillos refractarios se usan de acuerdo al tipo de ferroaleaciones a producir, en este caso recomendamos los de alta alúmina, magnesita y cromo-magnesita, etc.
9. Se halla resultados de tiempo de reacción experimentalmente para el Carburo de Calcio, para lo cual se realizó avances de las reacciones a diferentes tiempos, manteniendo constantes los otros parámetros.
10. Los productos obtenidos con este tiempo y con las materias primas standar, dieron como resultado productos con una calidad superior y con mayor eficiencia en las operaciones

de los hornos.

11. Se comprobó también que los hornos que producen gran cantidad de calor, son aquellos que trabajan a amperajes altos y por un periodo largo. Cuanto más amperaje se dá a los electrodos mayor será el calor generado en el horno.
12. El necesario equilibrio entre la calidad del producto y los bajos costos para el carburo y las ferroaleaciones hace que los proyectos de investigación para la utilización de las materias primas y sus sustitutos son priorizados porque de nada valdría calidades altas en estos productos con altos costos.

## CAPITULO 3

### HISTORIA DE LA PRODUCCION DE CARBURO DE CALCIO Y FERROALEACIONES EN EL PERU

La fabricación del carburo de calcio en el Perú se remonta a los años de 1930, donde por primera vez se produce en el asiento minero de la Oroya (Departamento de Junín). El producto no era comercializado industrialmente sino que se utilizaba exclusivamente para su uso en las lámparas de los socavones de las minas. Este horno trabajaba con electrodos metálicos (bronce), pero fueron rápidamente desplazados por los electrodos de grafito sólido. Estos eran importados y tenían una longitud aproximada de 3 m , se conectaban unos a otros mediante uniones roscadas.

Industrialmente la primera planta que se instala en el país fué la empresa HORNOS ELECTRICOS DEL PERU S.A. (HEPSA), empezando a funcionar el año de 1954, con un horno cuadrado abierto. La capacidad de este horno era pequeño. La energía eléctrica que usaba para su funcionamiento era generada por medio de una turbina aprovechando la acción de la caída de agua del río Rimac.

La producción tenía como inconveniente, el caudal variable del río (durante la época de verano alto caudal y en invierno el bajo caudal). Se construyó siguiendo técnicas francesas.

Inicialmente usaba electrodos de grafito, los cuales fueron remplazados posteriormente por electrodos de autococción tipo Söderberg.

Conforme la producción del carburo fué quedando pequeña en comparación con la demanda, la compañía tenía en su proyección la construcción de 3 hornos más, fué así que construyeron 3 hornos cilíndricos abiertos, con electrodos de autococción tipo Söderberg, contando en la actualidad con 4 hornos.

La segunda compañía en el país en iniciar la producción del carburo de calcio fué la empresa Electrometalúrgica Nacional S.A. (ENSA), se encuentra ubicada en la provincia de Chimbote, (Dpto. de Ancash) usa la energía eléctrica de la hidroeléctrica del

Santa. Cuenta con 2 Hornos circulares para la producción de carburo de calcio, teniendo en sus proyecciones la producción de ferroaleaciones.

La tercera compañía en la producción de carburo de calcio en el país es la empresa CARBOTERMICA S.A., se encuentra ubicada en el Km 20,3 de la Panamericana Sur (Lima).

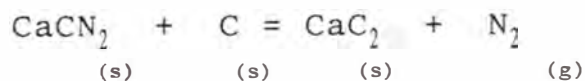
En lo referente a las ferroaleaciones en el Perú estas no se han desarrollado anteriormente. En años recientes se había comenzado a hacer tentativas de producción de ferroaleaciones, dirigiéndose esta al ferrosilicio del 45% (FeSi/45) para el consumo de las fundiciones en el país. Actualmente No hay producción de ferro-silicio ni ferro-manganeso en el país. Por otro lado en latinoamérica la producción de CaC<sub>2</sub> se desarrolló hasta 1984 en Colombia(2 plantas), Perú(3 plantas), Argentina(1 planta) y Venezuela(1 planta). Las ferroaleaciones solamente Brasil la producía. En la actualidad las plantas existentes son Brasil(CONCAL), Argentina(Electrometalúrgia Andina SRL-Carbometal), Venezuela(H.E.Venezolana), Perú (Carbotermica,HEPSA). En ferroaleaciones Chile y Brasil producen el Fe-Si, Fe-Mn y FeCr. En Chile la produce Carbomet. Por lo tanto es imprescindible poner en ejecución este proyecto.

### 3.1. CARBURO DE CALCIO Y FERROALEACIONES

#### 3.1.1. CARBURO DE CALCIO, CARACTERISTICAS, PROPIEDADES Y USOS.

##### a. Características:

El carburo de calcio puro es transparente e incoloro, no es objeto de fabricación, pero puede producirse con gran dificultad en cantidades pequeñas. Es una curiosidad de laboratorio. Uno de los métodos de obtención es la descomposición térmica de la cianamida cálcica pura en presencia del carbón <sup>(1)</sup>



En los productos de esta reacción, el carburo de calcio mezclado con el  $N_2$  es un polvo blanco. También se forma en pequeñas cantidades como producto intermedio o sub-producto de procesos como la fabricación del acero en hornos eléctricos.

El carburo de calcio comercial no es un compuesto químico sencillo y no tiene propiedades físicas y químicas fijas <sup>(1)</sup>. Se compone de carburo de calcio ( $CaC_2$ ), cal en exceso y pequeñas cantidades de impureza. Su color varía de gris acero a pardo rojizo, e iridiscente cuando esta caliente según las impurezas.

El carburo de calcio comercial enfriado lentamente tiene una estructura cristalina gruesa con planos de crucero muy bien definido <sup>(2)</sup>. El enfriado rápidamente es muy denso y finamente cristalino.

#### **b. Propiedades Físico-Químicas.**

Ninguna de sus propiedades ha sido determinada exactamente, sin embargo puede obtenerse valores aproximados por extrapolación de las del carburo de calcio comercial.

El producto industrial forma una parte del sistema  $CaC_2-CaO$ , su naturaleza y propiedades dependen de su composición.

##### **b1. Punto de Fusión**

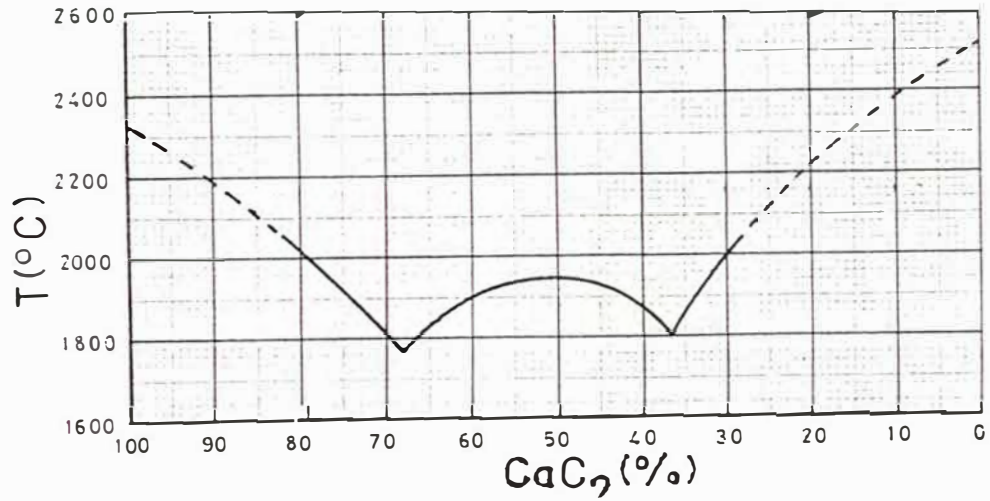
El punto de fusión del  $CaC_2$ , ha sido estudiado por Aall<sup>(3)</sup> a 2 300°C, por extrapolación de la curva de la figura N°1 observándose el máximo en el centro de la curva a 1 980°C, con un contenido de 53.6% de  $CaC_2$ , correspondiente al compuesto  $CaC_2-CaO$ .

El carburo comercial más usado con 80% de  $CaC_2$  tiene un punto de fusión de 1 880°C,<sup>(4)</sup> Como se observa en la Figura N°2.

##### **b2. Peso Específico**

All también determinó el peso específico del sistema  $CaC_2-CaO$  de una composición mixta, deduciendo el siguiente cuadro de pesos específicos<sup>(4)</sup>.

**FIG. N°1: PUNTO DE FUSION (CaC<sub>2</sub>)**



**FIG. N°2a: PUNTO DE FUSION CaC<sub>2</sub> INDUSTRIAL**

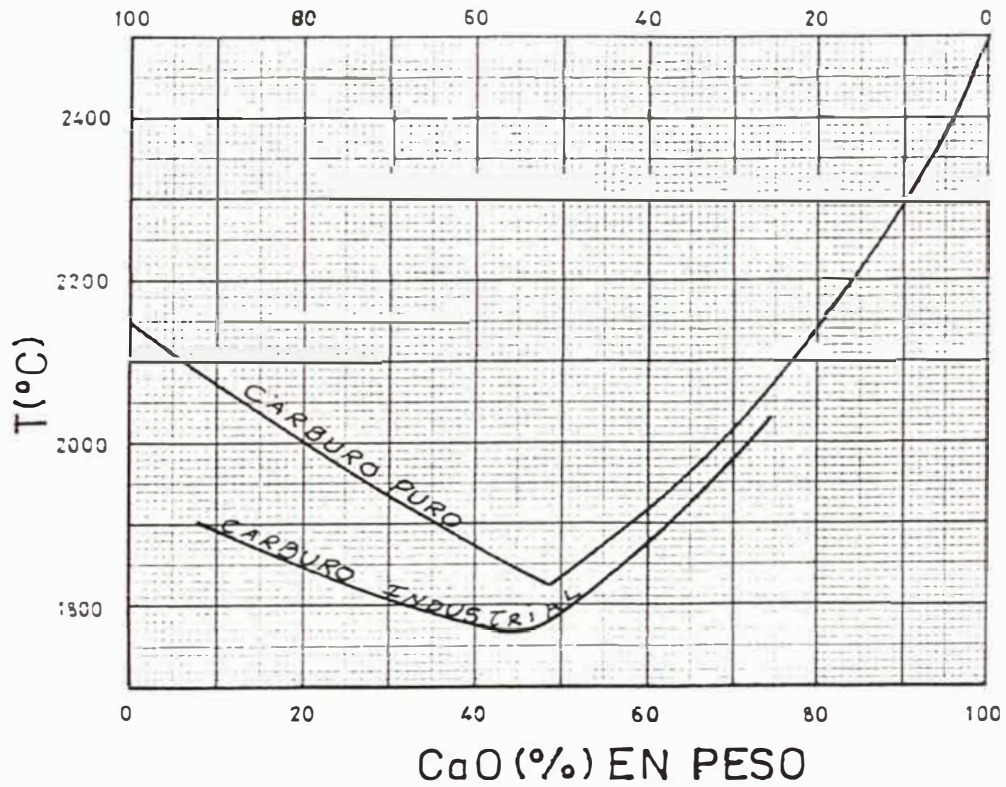
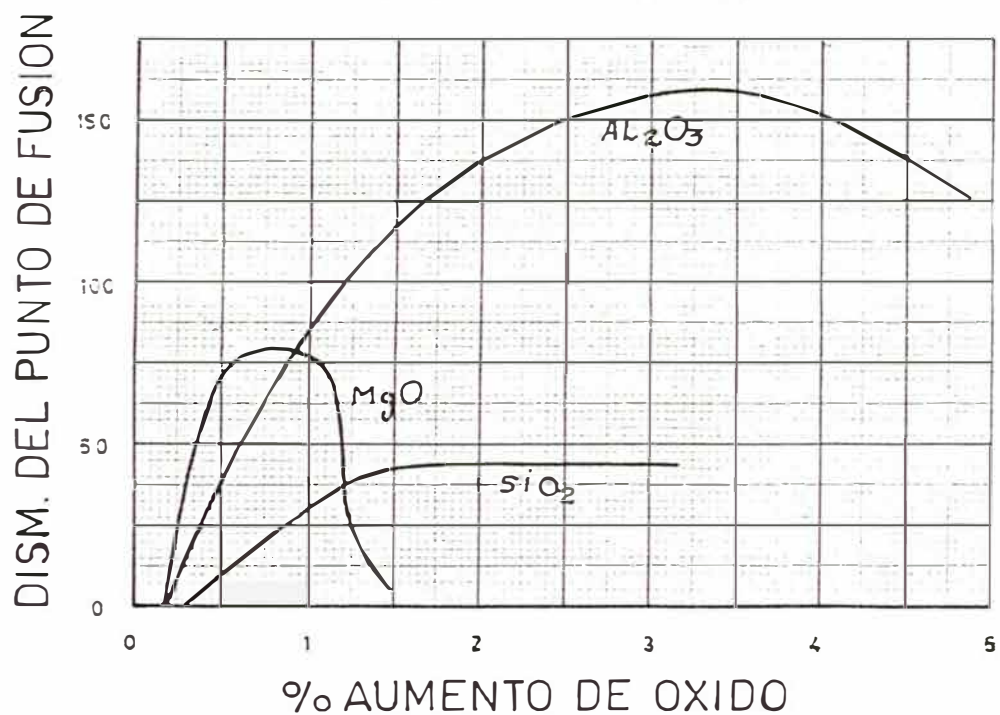




FIG. N°2b: DISMINUCION DEL PUNTO DE FUSION DEL SISTEMA DE  $\text{CaC}_2$  CON ADICION DE IMPUREZAS



CUADRO N<sup>o</sup> 3 : PESOS ESPECIFICOS A 12 °C

Comp.	CaC <sub>2</sub>	Ca <sub>2</sub> O C <sub>2</sub>	CaO
Peso Específico	2,155±0,017	2,54	3,349±0,027
Para el Carburo Comercial de 80% = 2,324 g / cm <sup>3</sup>			
Para el Carburo Líquido (2 000°C) = 1,84 g / cm <sup>3</sup>			

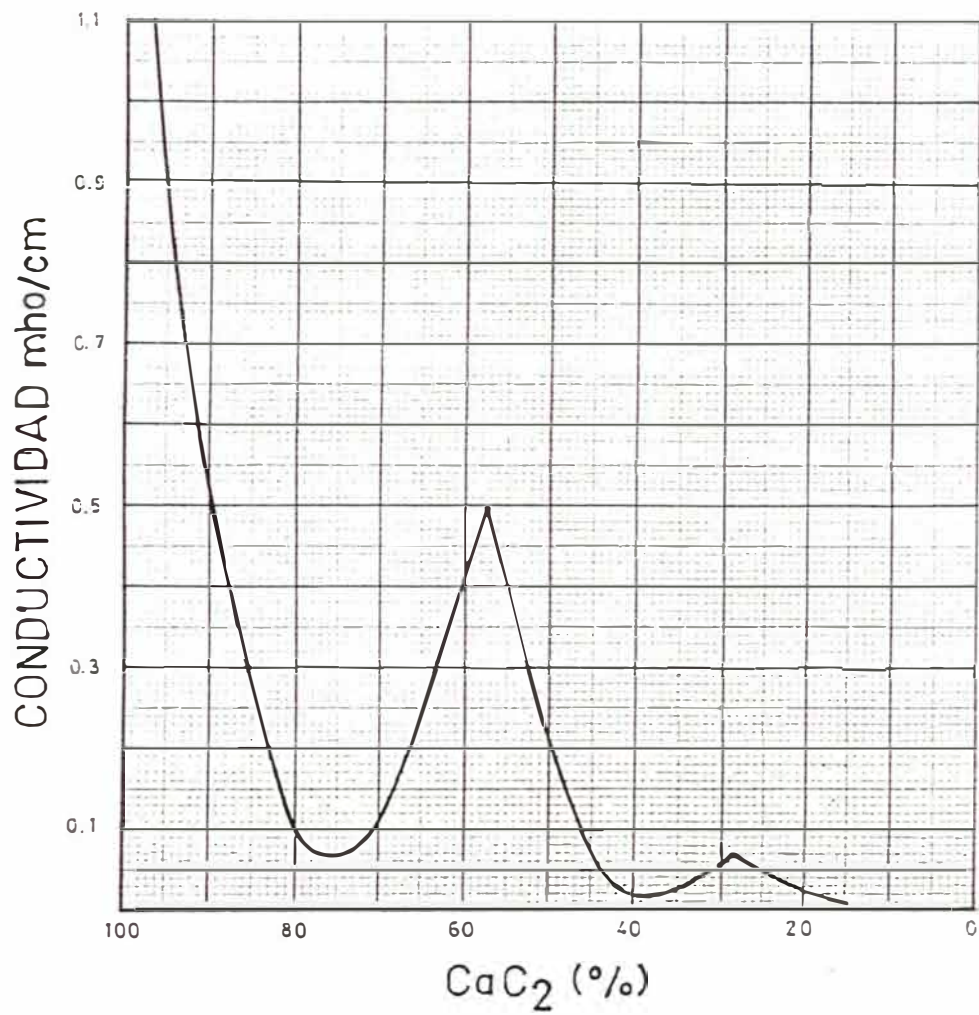
### b3. Conductividad Eléctrica

En la figura N<sup>o</sup>3 la conductividad eléctrica del sistema a 20°C, muestra una curva descendente desde la elevada conductividad del carburo de calcio hasta la no conductividad de la cal y comprende dos mínimos a cada lado de un máximo. Los dos mínimos con abcisas en 75% y 38% de CaC<sub>2</sub> corresponden a la forma eutéctica del CaC<sub>2</sub>-CaO.

La resistividad del producto con 80% de CaC<sub>2</sub> a 25% es de 6 ohmnios/cm/cm<sup>2</sup>. La relación del coeficiente de temperatura con la conductividad, se muestra en el Cuadro N<sup>o</sup> 4:

$$Kt = 1,37(1 + 0,0047t)$$

FIG. N°3: CONDUCTIVIDAD DEL  $\text{CaC}_2\text{-CaO}$



CUADRO N<sup>o</sup> 4: CONDUCTIVIDAD DE CaC<sub>2</sub>-CaO (Composición)

CaC <sub>2</sub> (%)	93,64	80,47	71,80	38,70	18,92
K (420°C) mho/cm	0,91	0,37	0,062	0,006	0,0005
°C (°C <sup>-1</sup> )	0,0051	0,0062	0,0167	0,0148	0,0123

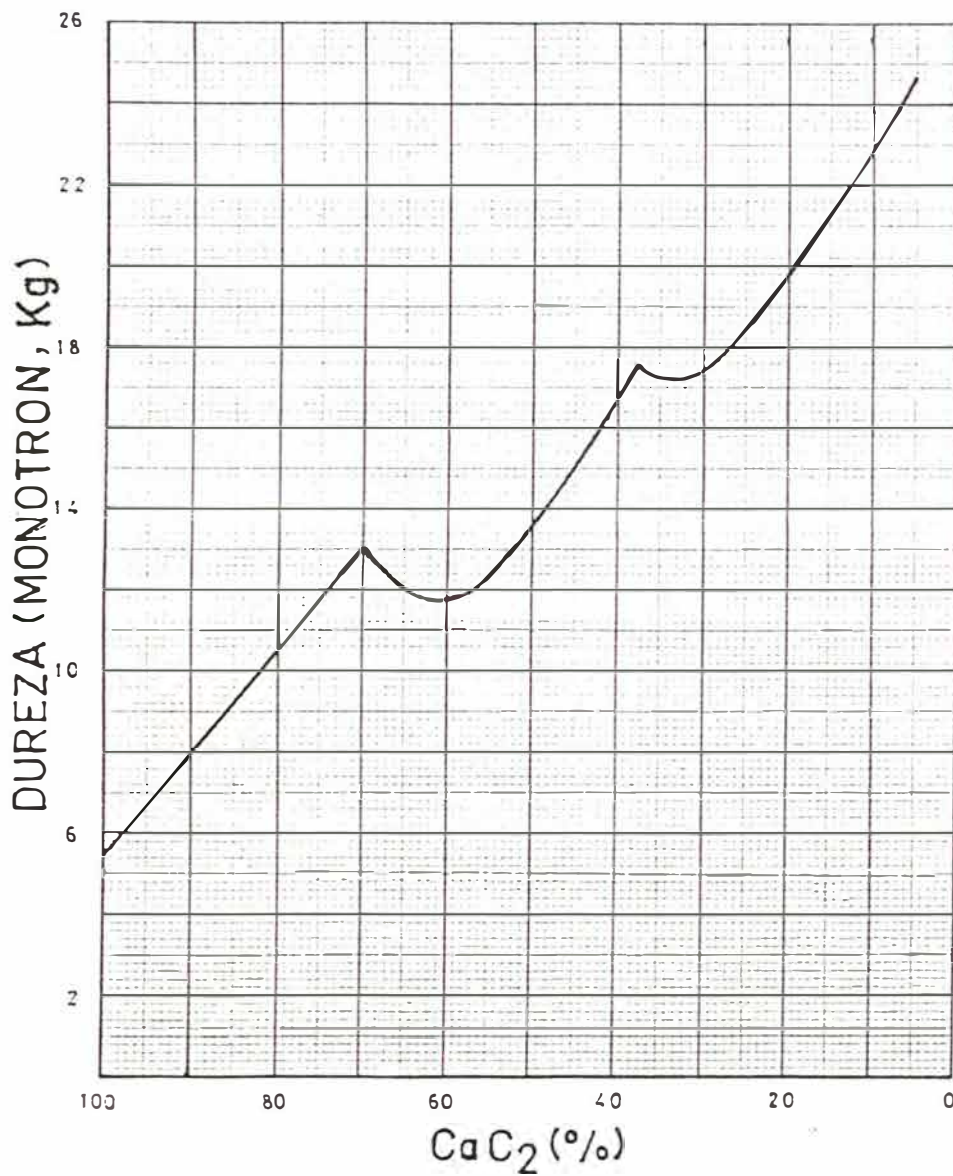
b4. Dureza

La curva de dureza mostrado en la Figura N<sup>o</sup>4 para el sistema muestra en general una inclinación ascendente desde la dureza del carburo de calcio a la de cal, hay dos casos muy acentuados correspondiente a un aumento de la dureza en las abscisas 70% y 36% de CaC<sub>2</sub> que corresponden a una mezcla eutéctica.

De acuerdo a la experiencia en cristalografía en este eutéctico se encuentra la dureza máxima. Extrapolando el CaC<sub>2</sub> con 100% tendría una dureza de 5,5 en la escala Kg Monotron <sup>(5)(6A)</sup> (comparado con 40 Kg para granito), en la escala Brinell corresponderá a 40 unidades.

El producto con 80% de CaC<sub>2</sub> tiene una dureza de 80 unidades Brinell.

FIG. N°4: DUREZA DEL  $\text{CaC}_2\text{-CaO}$



b5. Propiedades Termodinámicas.

El calor específico del CaC<sub>2</sub> al 100% en su fase I (298 - 720°K) es:

$$C_p = 16,40 + 0,00284 \cdot T - 2,05 \times 10^{-5} / T^2 \text{ cal/mol } ^\circ\text{K a } 25^\circ\text{C}$$

$$C_p = 14,90 \text{ cal/mol } ^\circ\text{C}$$

La entalpía	= 2 683 Cal/mol
El calor latente de transición a 447°C	= 1,33±0,02 Kcal/mol
El calor latente de fusión	= 7,7 Kcal/mol
La entropía(S) a 25°C	= 18,8±0,5 cal/mol.°K
El calor de formación de CaC <sub>2</sub>	= -14,1±2,0 Kcal/mol.

El calor específico para el carburo comercial con 25% de CaO es <sup>(6)</sup>:

$$C_p = 0,2045 + 0,0000992t \text{ (cal/g), } t \text{ en } ^\circ\text{C}$$

c. Usos

El carburo de calcio comercial es la principal fuente de acetileno, gas que se usa como fuente de calor para la soldadura y corte de los metales y es la base para la producción de muchos compuestos orgánicos sintéticos, como por ejemplo: PVC, acetaldehídos, también se utiliza como fundente en las fundiciones, maduración artificial de las frutas, además aún se sigue usando en las minas para el alumbrado.

3.1.2. FERROALEACIONES: PROPIEDADES, CARACTERISTICAS Y USOS.

a. Ferro-silicio

a1. Propiedades

Brevemente dentro de las propiedades del silicio se destaca sus propiedades físicas y químicas:

El silicio es un metaloide con peso molecular de 28,086, una densidad de 2,37, punto de fusión de 1 414°C y punto de ebullición de 2 287°C <sup>(7)</sup>. El silicio es un semiconductor.

El silicio reacciona con el oxígeno para formar SiO<sub>2</sub> (Sílice) la cual tiene un punto de fusión de 1 710°C. El silicio existe en varias formas como: Cuarzo (SiO<sub>2</sub>)α Cuarcita,

Cristobalita (SiO<sub>2</sub>) $\beta$ , Mica.

La sílice puede oxidarse en monóxido de sílice SiO. El SiO es volátil y puede descomponerse espontáneamente en silicio y sílice a temperatura por debajo de 1 500°C.

El silicio y el Carbón forman Carborúndum (SiC) el cual, tiene un punto de fusión alrededor de 2 700°C.

El silicio puede al mismo tiempo fundirse con fierro en cualquier proporción y forma una serie de siliciuros de fierro.

El sistema puede contener varios componentes tales como: Fe<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> (con 23,17% de Si) y FeSi (con 33,4% de Si).

#### Punto de fusión:

El punto de fusión del grado standard de ferro-silicio no excede 1 330°C, para combinaciones de fierro con 43-50% de Si, hierve a 1 200°C - 1 330°C y con 70-78% de Si a 1 300 - 1 330°C.

El sistema Fe-Si tiene 3 eutécticos, los cuales están formados por  $\alpha$ -sólidos solución con FeSi, por fase- $\sigma$  con FeSi y Si, estas coordenadas son respectivamente como sigue (Ver Cuadro N<sup>o</sup>5)

CUADRO N<sup>o</sup> 5: PUNTOS DE FUSION EUTECTICOS

Composición	Tipo Eutéctico	Pto. de fusión eutécticos
20% de Si	$\alpha$ -FeSi	1 195°C
51% de Si	$\sigma$ -FeSi	1 213°C
59% de Si	Si	1 208°C

## Densidad

La densidad de la aleación ferro-silicio, decrece con el incremento del contenido de sílice, como puede verse en el siguiente cuadro N° 6.

CUADRO N° 6 : DENSIDAD DE LOS FERRO-SILICIOS

Si%	40	45	50	55	60	65	75	80	85	90
D g/cm <sup>3</sup>	5,6	4,7	4,3	4,3	4,0	3,7	3,2	3,0	2,7	2,55

### a2. Características:

El silicio aumenta la dureza, el esfuerzo final, la elasticidad, el punto de fluencia y la resistencia a la oxidación de los aceros, pero baja su ductibilidad.

El fierro procesado con silicio (al 4% de sílice aproximadamente) es frecuentemente usado y tiene baja pérdida en sus características mecánicas.

### a3. Usos

El ferro-silicio es usado para desoxidar y en aleaciones de acero.

Los aceros al silicio son ampliamente usados para fabricar resortes y aceros eléctricos, también para aceros resistentes a la oxidación a altas temperaturas.

El contenido de silicio en aceros de herramientas puede ser mayor de 0,35%, encima de 0,37% en aceros estructurales y más de 5% en los grados de aleaciones.

En el cuadro N° 7 están los grados de ferro-silicio según NORMA TECNICA PERUANA



CUADRO Nº 7 : GRADOS DEL FERROSILICIO (N.T.P 341.038)

FeSi	%Si	%C	Pto.fusión	Usos
FeSi/15	14,0-19,0	0,15%	1 210 - 1 250	En aceros de calidad, Desoxidantes y limpiador de añadir aleaciones más caras.
FeSi/45	44,0-51,0	0,15	1 200 - 1 330	Desoxidante en la Producción de acero pesado o semipesado, para añadir Si a aceros muy ricos en Si.
FeSi/75	74,0-79,0	0,15	1 300 - 1 330	Para producir aceros ricos en Si para resortes y aceros eléctricos.
FeSi/90	89,0-93,0	0,15	1 210 - 1 380	

## b. Ferro Manganeso

### b1. Propiedades

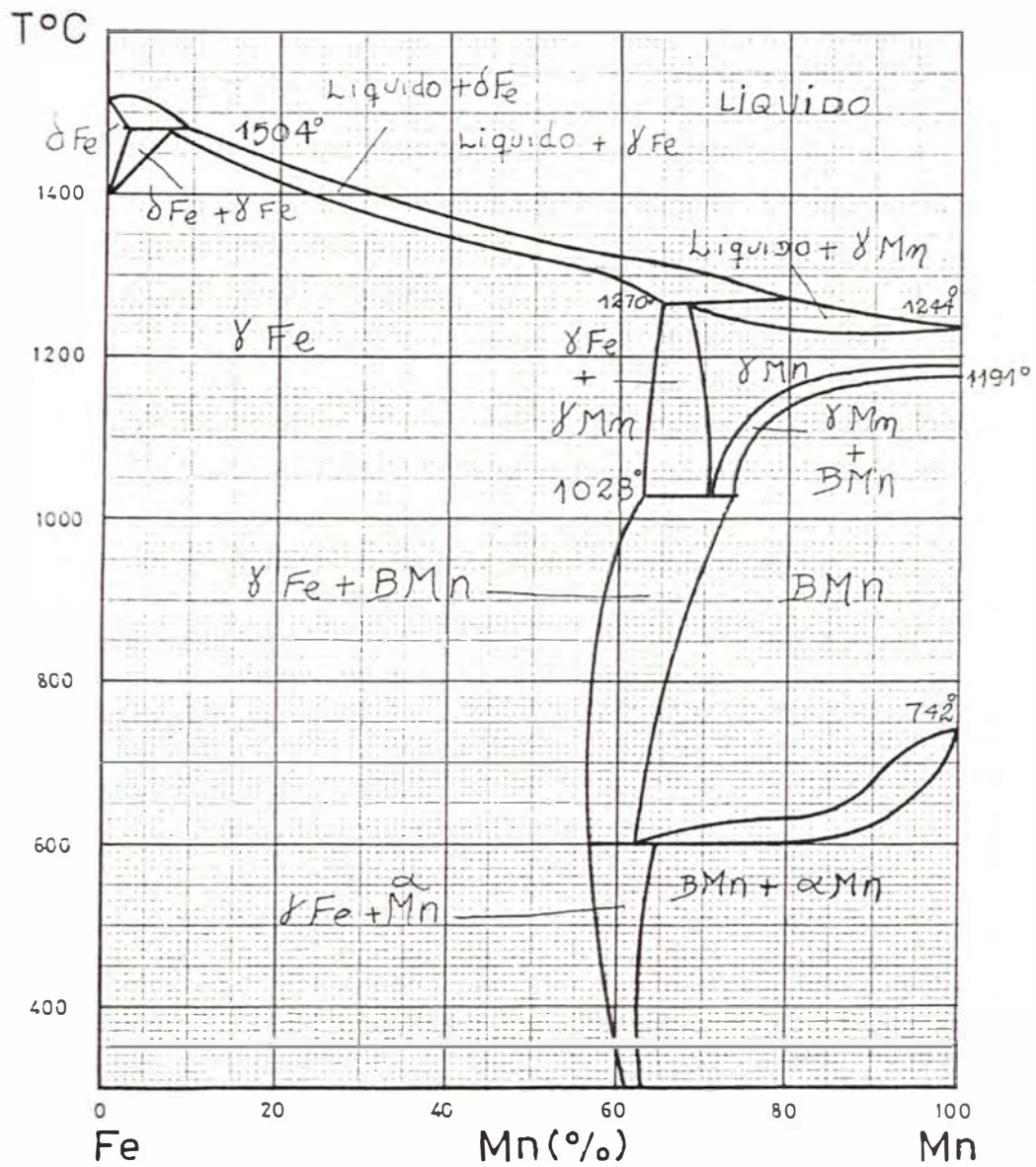
El manganeso tiene una masa atómica de 54,9381, densidad 7,3g/cm<sup>3</sup>, punto de fusión 1 244 °C. (8)

El fierro y el manganeso en estado fundido son mutuamente solubles, como puede verse en la figura Nº 5.

El manganeso y el carbón forman carburos Mn<sub>3</sub>C y Mn<sub>3</sub>C<sub>4</sub>.

Con el silicio forman siliciuros Mn<sub>2</sub>Si, MnSi y Mn<sub>2</sub>Si<sub>3</sub>. Los siliciuros son más estables que los carburos de manganeso.

FIG. N°5: DIAGRAMA DE FASE (Fe-Mn)



El manganeso reacciona con el oxígeno para formar óxidos  $MnO_2$ ,  $Mn_3O_3$ ,  $Mn_3O_4$  y  $MnO$ . Sobrecalentando encima de  $940^\circ C$  el  $MnO_2$  se transforma en  $Mn_3O_4$  y sobrecalentando encima de  $530^\circ C$  en  $Mn_2O_3$ .

Reacciones del manganeso con nitrógeno da nitruros:  $Mn_4N_2$ ,  $Mn_3N_2$  y  $Mn_4N$ .

### b2. Punto de fusión

El punto de fusión del ferro-manganeso puede variar de 1 250 a  $1\ 260^\circ C$ , los grandes grupos son: <sup>(9)</sup>

- Ferro-manganeso Standard rico en C de  $1\ 070 - 1\ 260^\circ C$
- Ferro-manganeso Standard pobre en C de  $1\ 200 - 1\ 220^\circ C$

### b3. Densidad

La densidad de los grados más conocidos de ferromanganeso se muestra en el siguiente cuadro:

CUADRO Nº 8: DENSIDAD DE FERRO-MANGANESO

Mn %	75	80	85	90
gr/cm <sup>3</sup>	7,38	7,36	7,34	7,33

### b4. Características

El templado, la dureza, el esfuerzo final y el límite de fluencia del acero se incrementa y su tenacidad decrece con un alto contenido de manganeso. Los aceros que contienen cerca de 1% de C y 11-13% de Mn se distinguen por una alta resistencia a la abrasión.

El fósforo es una impureza dañina en el ferro-manganeso, la fundición del ferro-manganeso bajo en fósforo es sin embargo fabricada con considerable costo.

#### b5. Usos

El ferro-manganeso se emplea como desoxidante y como componente de aleaciones para fabricar aceros duros y tenaces que contienen de 12 al 14% de Mn.

El ferro-manganeso de bajo carbono (0,07 - 0,15 %C) es usado como aditivo para la fusión de aceros de bajo carbono con elevado contenido de Mn, así mismo en la fusión para aceros resistentes a la abrasión (con 12 - 14% Mn) como sustituto para ferro-manganeso con alto carbono y también para la fabricación de aceros inoxidable.

El manganeso metal es empleado cuando se fabrica aceros resistentes a los ácidos con un bajo contenido de carbono y algunas aleaciones de bajo fierro.

En el cuadro N<sup>o</sup> 9 se detalla los grados de ferro-manganeso según NORMA TECNICA PERUANA

CUADRO Nº 9: GRADOS DE FERRO-MANGANESO (N.T.P 341.035)

FeMn	%Mn	%C	Usos
Bajo-Carbono  Fe Mn - B1 Fe Mn - B2	85 - 90	0,07-0,15	Para añadir Manganese a aceros pobre en C en las que el contenido de carbono es demasiado bajo.
Medio-Carbono  FeMn - M1	80 - 85	1,5	Para usar ferromanganese standar, adecuado para añadir manganese a los aceros austeníticos
Alto-Carbono  FeMn - A1 FeMn - A2	75 - 80	7,5	En toda las calidades de acero para forjar productos lamimidos y colados.

\* Ver Apendice

c. **Ferro-Cromo**

c1. **Propiedades**

El componente cromo tiene una masa atómica de 51,996 densidad 7,19, punto de fusión 1 850 - 1 900°C y punto de ebullición de 2 469°C.<sup>(10)</sup>

El fierro y el cromo pueden formar una serie continua de soluciones sólidas, puede verse en la fig. Nº 6. Bajo ciertas consideraciones de tratamiento de calor, la fase (compuesto intermetálico FeCr) pueden formarse en la porción central del diagrama ferro-cromo a temperaturas debajo de 820°C.

FIG. N°6: DIAGRAMA DE FASE (Fe-Cr)

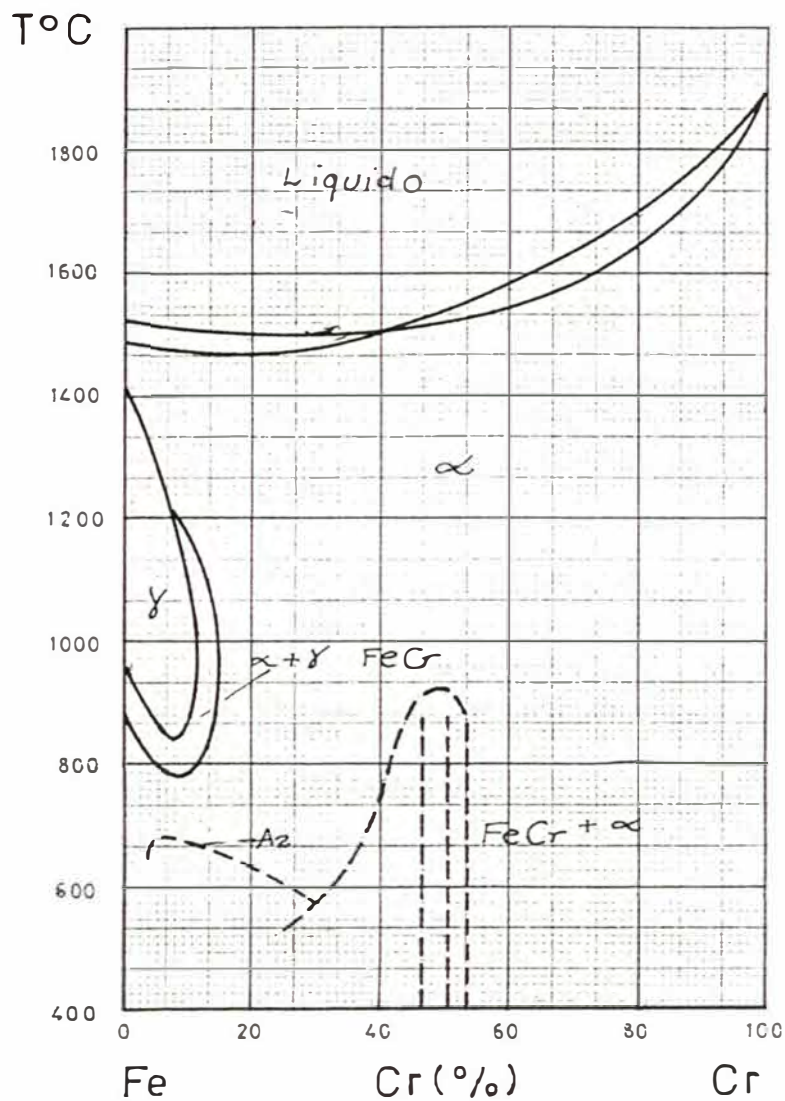
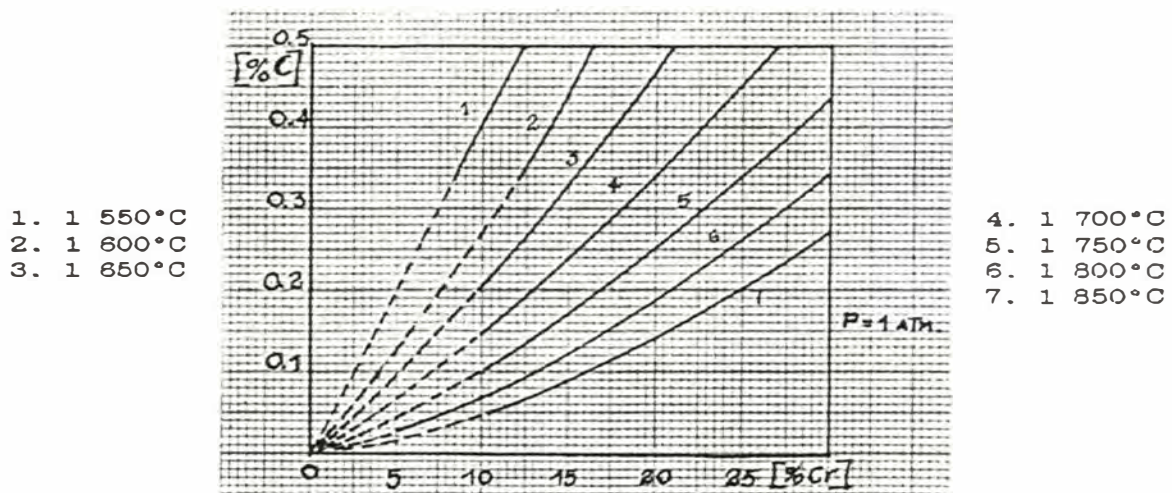


FIG. N°7: DESCARBURACION DEL (Fe-Cr)



El cromo y el carbón pueden formar carburos  $Cr_4C$ ,  $Cr_7C_3$  y  $Cr_3C_2$  que tienen puntos de fusión 1 520°C, 1 780°C y 1 895°C, respectivamente.

c2. Punto de fusión

El punto de fusión del ferro-cromo de acuerdo al contenido de carbono, adquiere diferente rango de temperatura, puede verse en el siguiente cuadro:

CUADRO N<sup>o</sup> 10 : RANGO DE FUSION DEL FERRO-CROMO

TIPO	°C
Ferro-cromo extra bajo carbono	1 380 - 1 710
Ferro-cromo bajo carbono	1 280 - 1 350
Ferro-cromo medio carbono	1 250 - 1 450
Ferro-cromo alto carbono	1 220 - 1 530

c3. Densidad

La densidad varía de acuerdo al contenido de cromo, lo que puede observarse en el cuadro N<sup>o</sup> 11

CUADRO N<sup>o</sup> 11 : DENSIDADES DEL FERRO-CROMO

Cr %	60	65	68	70	72	75
D g/cm <sup>3</sup>	7,35	7,33	7,32	7,31	7,30	7,29

c4. Características

El ferro-cromo industrial de alto carbono predominantemente contiene carburo de cromofierro  $(Cr.Fe)_7C_3$ .

Los ferrocromos de grado bajo y extrabajo carbono pueden contener carbón en la forma de carburo  $(Cr.Fe)_4C$ .

El cromo y el silicio forman siliciuros  $\text{Cr}_3\text{Si}$ ,  $\text{CrSi}$ ,  $\text{CrSi}_2$ , etc. Estos compuestos son más estables que los carburos de cromo.<sup>(11)</sup>

El cromo puede formar nitruros  $\text{CrN}$  y  $\text{Cr}_2\text{N}$  con el nitrógeno. El cromo y el oxígeno forman los siguientes óxidos, óxido ácido  $\text{CrO}_3$ , óxido anfótero  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  y óxido básico  $\text{CrO}$ , entre estos el  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  es el más importante para la metalurgia, tiene una densidad de  $5,21 \text{ g/cm}^3$ , y punto de fusión de  $2\ 275^\circ\text{C}$ .

El óxido crómico es un polvo verde vivo. El óxido crómico básico es estable de entre los óxidos crómicos; los óxidos cromosos se transforman en los anteriores en aire caliente, el trióxido de cromo es volatilizado rápidamente en caliente y encima de su punto de fusión  $1\ 900^\circ\text{C}$  se descompone en óxido crómico y oxígeno.

En el ferro-cromo el contenido de carbono puede ser disminuído con el incremento de la temperatura manteniendo el porcentaje de cromo constante, como se muestra en la fig. N<sup>o</sup> 7.

#### c5. Usos.

El cromo es usado extensamente como un elemento de aleación en muchos grados de aceros y aleaciones. En adición, el cromo hace al acero más suceptible al auto-endurecido e incrementa el endurecimiento al picado. El cromo puede también incrementar el esfuerzo y dureza del acero y disminuir la ductibilidad. En combinación con el silicio, el cromo imparte propiedades de resistencia al calor a los aceros.

Los aceros de alto cromo (encima del 12% Cr) con un bajo contenido de carbón son resistentes a la corrosión después del endurecimiento y pulido. Con un alto contenido de carbono en el acero, el cromo puede incrementar la resistencia al uso; también actúa favorablemente como reductor e incrementando al esfuerzo final a altas temperaturas. El ferro-cromo extra-bajo carbono es usado en la fabricación de aceros inoxidable.

El cuadro No 12 muestra los grados según la NORMA TECNICA NACIONAL



CUADRO Nº 12: GRADOS DEL FERRO-CROMO (NORMA ITINTEC 341.039)

FeCr (grupo)	% Cr	% C	Usos
Extra bajo - Carbono	68 - 72	0,01-0,06	Para prod.acero de bajo cont. de C y a menudo a alto. contenido de Cr y aceros inoxidables.
Bajo - carbono	65	0,1 - 0,5	
Medio-carbono	65	1,0 - 2,0	Para fabricar aceros con contenido de Carbono medio y alto o contenido relativamente bajo de Cr.
alto-Carbono	65 - 70	6,5 - 9,0	

\* Ver apendice

### 3.2. ESTADISTICA DE PRODUCCION EN EL PERU DEL GRUPO ANDINO.

La producción de carbón de calcio en el país es poco conocido, debido al celo de las empresas y a la falta de entidades capaces de recopilar estas informaciones, el cuadro Nº 13 muestra la producción atendida hasta el año 1988 a partir de esta fecha los datos no son confiables.

CUADRO N° 13: PRODUCCION DE CARBURO DE CALCIO NACIONAL

N° DE EMPRESAS 3 : \* ELECTRO METALURGIA NACIONAL S.A.  
 \* HORNOS ELECTRICOS DEL PERU S.A.  
 \* CARBOTERMICA S.A.

AÑO	CANTIDAD (Tn)	VENTAS (Tn)
1982	5 588	6 222
1983	5 346	5 206
1984	5 975	5 313
1985	4 304	4 625
1986	4 813	5 085
1987	5 383	5 327
1988	4 292	4 211

FUENTE :OFICINA SECTORIAL DE ESTADISTICA. (MICTI)

Con los datos del cuadro N° 13, hacemos una proyección hasta el año 1997, usando la ecuación:

$$y = 5\,633,28 - 177,7x, \text{ obteniendo el cuadro N° 14}$$

CUADRO N<sup>o</sup> 14: PROYECCIONES DE PRODUCCION DE CARBURO DE CALCIO

X	Año	Y (Producción) Tn
7	1989	4 389,30
8	1990	4 211,26
9	1991	4 033,26
10	1992	3 855,00
11	1993	3 678,00
12	1994	3 500,80
13	1995	3 322,60
14	1996	3 144,92
15	1997	2 967,18

En el año 1986, la empresa ENSA inicia la producción de ferroaleaciones, en el cuadro N<sup>o</sup> 15 muestra los 3 años que se producía el ferrosilicio y el ferromanganeso.

CUADRO N<sup>o</sup> 15: PRODUCCION NACIONAL DE FERROALEACIONES (Tn)

Año	FERROSILICIO	FERROMANGANESO
1986	453	286
1987	421	1 962
1988	566	901

FUENTE : - Oficina Sectorial de Estadística Industrial. MICTI.  
- Electrometalurgia Nacional S.A.

En el grupo Regional Andino la Producción de Carburo de Calcio en el año 1984 es como muestra el cuadro N<sup>o</sup> 16, donde 3 países producían y en la actualidad la misma cantidad de empresas producen.

CUADRO Nº 16: PRODUCCION Y CONSUMO DE CARBURO DE CALCIO  
PAISES ANDINOS 1 984 (tn)(8)

PAIS	NUMERO PLANTAS	CAPACIDAD INSTALADA	PRODUCCION	IMPORTA	EXPORTA	CONSUMO APARENTE
Bolivia	--	--	--	450	--	450
Colombia	2	40 000	27 000	--	--	27 000
Chile	--	--	--	2 000	--	2 000
Ecuador	--	--	--	200	--	200
Perú	2	13 800	5 500	--	460	5 040
Venezuela	1	6 000	5 000	4 362	--	9 362
Total	5	59 800	37 500	7 012	460	44 052

FUENTE : Comité de Industrias Químicas

Sociedad Nacional de Industrias

### 3.3. IMPORTACIONES DE CARBURO DE CALCIO Y FERROALEACIONES.

Las importaciones del carburo de calcio y las ferroaleaciones, en años recientes ha ido en creciente debido al libre mercado predominante en la actualidad de países vecinos como Brasil, Argentina, puede verse en los cuadros Nº 17 - 19, con el cuadro Nº 17 y usando la ecuación:

$y = 567,4 + 895,9 x$  se elabora una proyección de la Importación hasta el año 1998 mostrado en el cuadro Nº 18.

CUADRO Nº 17: IMPORTACIONES DE CARBURO DE CALCIO

AÑO	PESO	US \$	US \$	PAISES DE PROCEDENCIA
	BRUTO TM	CIF/TM	FOB/TM	
1 988	168,756	448,0	343,8	U.S.A, BRAZIL, COLOMBIA
1 989	774,224	501,0	392,0	COLOMBIA
1 990	194,722	500,0	398,0	COLOMBIA
1 991	417,306	482,0	376,0	U.S.A, ARGENTINA, COLOMBIA
1 992	1950,4	720,0	570,0	U.S.A. ARGENTINA, BRAZIL, COLOMBIA
1 993	2254,6	460,0	358,1	BRAZIL, COLOMBIA, ARGEN.
1 994	3024,0	451,0	361,2	BRAZIL, ARGENTINA
1 995	3273,3	497,20	404,6	ARG., BRAZIL ( /95)

FUENTE : SUNAD Reporte de estadística de pólizas de Importación Centro Documentario.

Partida arancelaria 28,49.10.00,00

CUADRO N° 18: PROYECCIONES DE LAS IMPORTACIONES DE CaC<sub>2</sub>

AÑO	CANTIDAD PESO BRUTO (Tn)
1 995	4 151,0
1 996	5 046,9
1 997	5 942,8
1 998	6 838,7

CUADRO N° 19: IMPORTACION DE FERROALEACIONES

AÑO	FERRO-SILICIO		FERRO-MANGANESO		FERRO-CROMO		FERRO-VANADIO	
	PESO BRUTO TM	US\$ CIF/TM	PESO BRUTO TM	US\$ CIF/TM	PESO BRUTO TM	US\$ CIF/TM	PESO BRUTO TM	US\$ CIF/TM
1984	704,739	694,0	2 644,6	501	402	1 030	2,60	11 562
1985	767,074	689,0	3 539,0	448	470	1 113	0,60	12 412
1986	880,481	590,0	1 962,0	479	480	984	0,20	15 096
1987	412,199	572,0	2 271,0	469	453	900	1,40	12 522
1988	565,048	716,0	1 821,0	473	167	1 204	1,50	12 548
1989	423,040	1 170,0	2 307,0	705	735	1 582	0,50	30 274
1990	354,577	780,8	1 558,0	892	407	1 462	0,16	4 896
1991	248,237	788,0	219,0	1 042	223	1 160	4,80	12 874
1993	1206 800	719,9	2 449,0	627				
1994	2539 900	413,6	3 764,1	428				

Partida Arancelaria Fe-Si=72,02.21 00,00

Partida Arancelaria Fe-Mn=72,02.11 00,00

FUENTE : I.C.E. Reporte de Estadística de Pólizas de importación.

Centro Documentario.

## CAPITULO 4

### MATERIAS PRIMAS Y PROCESOS DE PRODUCCION DEL CARBURO DE CALCIO Y FERROALEACIONES

#### 4.1. CARBURO DE CALCIO

##### 4.1.1. Materias Primas

Las materias primas para la producción de  $\text{CaC}_2$  son Cal y carbón (vegetal, mineral ó coke de pretroleo).

Las impurezas contenidas en las materias primas (cal y carbón) tienen una influencia nociva para la producción de carburo.

Las más perjudiciales de estas impuresas son los compuestos de fósforos y azufre las cuales bajan la calidad del acetileno crudo.

El  $\text{MgO}$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  cambian la consistencia del carburo líquido motivando su condensación y dificultando así su evacuación y eliminación en las escorias. Los óxidos de metales y Sílice que se encuentran en las materias primas tienen tendencias a su reducción usando para éste fin cantidades adicionales de carbón y energía eléctrica por lo tanto disminuye la productividad del horno.

Una materia prima de una misma calidad garantiza un trabajo adecuado y estable de los hornos asegurando una producción de carburo de buena calidad.

Otro de los parámetros importantes para la seguridad del trabajo en el horno es la adecuada granulación y el mínimo de humedad de las materias primas.

##### a. CAL

La cal es una materia prima importante para la producción de carburo de calcio, por eso es recomendable que toda planta productora de carburo de calcio tenga su horno de cal, a fin de que llegue al horno de carburo sin haber sido afectada por la humedad y otras causas de formación de polvos (granos finos) por el manejo durante el transporte. (Norma ASTM C 258-52) (Ver

Apendice)

CUADRO Nº 20: CARACTERISTICAS RECOMENDABLES PARA LA CAL  
ASTM C 258-52

CAL VIVA	RECOMENDABLE
CaO	min. 92,0
MgO	max 1,75
SiO	max. 2,0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	max. 1,0
Azufre (S)	max. 0,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> fósforo (P)	max. 0,02
Pérdida por Ignición	max. 4,0
Granulación	8 - 60 mm

CUADRO Nº 21 ALGUNOS PRODUCTORES NACIONALES DE CAL PARA  
CARBURO DE CALCIO

PROVEEDOR	UBICACION
CIMALSA	Km. 130 Carretera Central
LUREN	Km. 22 Panamericana Sur
CUT-OFF	Oroya
AGREGADOS	
CALCAREOS	Lima
URIN CAL	Lurin
MINERA	
BUNYAC	Tarma

b. CARBON

Como fuente de carbono para la reacción se utilizan diversos materiales, entre ellos mencionamos al coque de hulla, el coque de petróleo, la antracita y el carbón vegetal (en sus diversas variedades). La elección depende principalmente del precio y de las impurezas. El coque de petróleo es un material de primera clase, tanto por su bajo contenido de cenizas como por su elevada resistividad.

La humedad del carbón no debe ser más del 2% de lo contrario se procederá a su secado, el tamaño del coque suele ser un poco más pequeño que la cal.

El carbón vegetal acostumbra ser más caro, es ligero y frágil con poca proporción de carbono fijo y ofrece gran resistencia. Su empleo da un carburo más puro.

En la actualidad existe veda en el país para la utilización del carbón vegetal de algarrobo y huarango, esto por la depredación de los bosques sin planes de reforestación. Para los carbones de otras variedades no hay restricciones.

**CUADRO Nº 22: CARACTERISTICAS RECOMENDABLES  
PARA EL CARBON**

COQUE (CARGA)	RECOMENDABLE
Ceniza	max. 11,5 %
Humedad	max. 1,5 %
Fósforo	max. 0,05 %
Azufre	max. 1,2 %
Volátiles	max. 2,5 %
Carbono	75 - 90 %
Granulación	10 - 25 mm

FUENTE : PROSYNCHEN (POLONIA)



**CUADRO Nº 23: YACIMIENTOS DE CARBON MINERAL (ANTRACITA)  
Y VARIEDAD DE CARBON VEGETAL**

YACIMIENTO	UBICACION
SANTA	Pallasca - ANCASH
CHACAS Y SAN LUIS	Huari - ANCASH
MATICARCA - GAZUNA	Oyon - LIMA
PARACAS	Pisco - ICA
CARAZ	Caraz - ANCASH
JATUN HUASI	Concepción - JUNIN

TIPOS DE CARBON	PROCEDENCIA
ALGARROBO	PIURA-CHICLAYO
HUARANGO	NAZCA-PALPA
EUCALIPTO	HUARAZ-HUANCAYO
CHIHUAHUACO	PUCALLPA
TAHUARI	PUCALLPA
PASHACO	PUCALLPA

**c. PASTA DE ELECTRODO SÖDERBERG**

La disposición del electrodo requiere de la utilización de una masa (pasta) de carbón para formar los electrodos sólidos por el autococimiento de la pasta, dicha materia prima no se fabrica en el país, siendo importado del Brasil y de Alemania. Actualmente se están haciendo estudios para su fabricación en el Perú.

La composición del electrodo Söderberg aparentemente es: Antracita, Coque, Grafito, Alquitrán de Hulla y Brea (ver cuadro Nº 24).

**CUADRO Nº 24: DATOS TECNICOS DE LA MASA DE ELECTRODO SÖDERBERG**

MASA DEL ELECTRODO	RECOMENDACION
- Densidad aparente masa no cocida	1,55 gr/cm <sup>3</sup>
- Partes volátiles en la masa cocida	10,5 - 13,5 %
- Cenizas en la masa no cocida	no más de 6,0 %
- Densidad aparente de la masa cocida	no más de 1,4g/cm <sup>3</sup>
- Resistencia específica de la masa	no más de 110 mm <sup>2</sup> /m
- Calor específico masa no cocida	0,9KJ/(°C Kg)
- Resistividad eléct. masa cocida	40µohm (100°C)

FUENTE : CARBOINDUSTRIA S.A (BRAZIL)

#### 4.1.2. PROCESOS DE PRODUCCION DEL CARBURO DE CALCIO

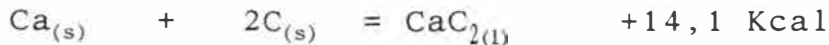
El proceso de producción del carburo de calcio no ha cambiado desde sus inicios en 1892, se calienta una mezcla de cal y carbón en un horno de arco eléctrico, produciéndose la reacción siguiente: <sup>(12)</sup>



En la primera etapa de la reacción se forma el calcio metálico.



La segunda etapa del proceso de producción del carburo de calcio es como sigue:



Estas reacciones que presentamos son las etapas mínimas que se producen en el proceso, pudiendo presentarse etapas intermedias no descritas.

En los hornos no hay purificación de las materias primas ni del producto (algunos hornos tienen separadores de ferrosilicio).

La mayor parte de las impurezas son removidas en el producto, después que ellas han sufrido algunas reacciones químicas a las altas temperaturas del horno.

Para el proceso de producción del carburo de calcio es importante seguir las etapas de preparación de las materias primas como también de preparación de los electrodos.

##### a. Preparación del Carbón.

El carbón en sus diversas formas, deberán cumplir con las recomendaciones del cuadro N°22.

El carbón será almacenado en lugares especiales para no recoger las impuresas como tierra, arena, etc. De aquí el carbón se traslada a los clasificadores de grano, de allí a la zona de mezclado.

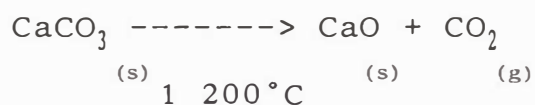
El carbón húmedo pasará a los secadores (está operación puede ser realizada en secadores tipo tambor usando los gases calientes derivados de la chimenea del horno).

#### b. Preparación de la Cal.

La cal es la cocción de la caliza.

Para la producción de carburo de calcio la cal deberá cumplir con la norma ASTM C258-52 o su equivalencia nacional.

Reacción para la cal.



La Cal viva, con una granulación apropiada puede ser dirigida a la sección de preparación de la mezcla.

Si la planta prepara su propia cal viva, la piedra caliza del almacén es transportada al horno (alto horno) para su calcinación. Una planta tipo se muestra en el diagrama de flujo (fig. N<sup>o</sup> 8).

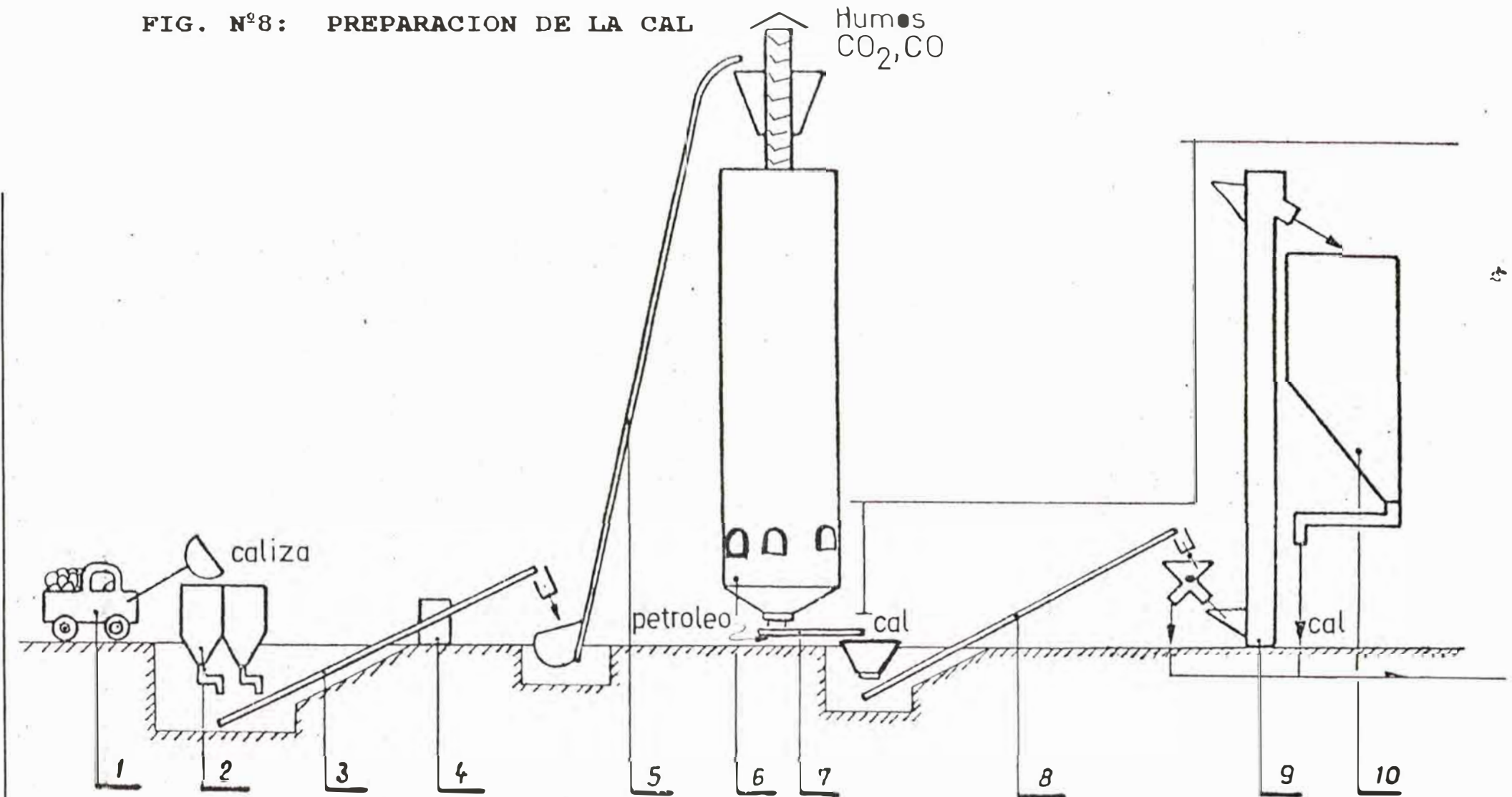
#### c. Preparación de la Mezcla.

La preparación de la mezcla tiene por finalidad homogenizar la carga tanto en la proporción como en el tamaño del grano, (ver cuadro 20 y 22 para la granulometría).

Para este fin el carbón seco es suministrado a las tolvas de pesado para su correcta dosificación, luego pasa a un tanque de mezclado donde se juntan con la cal. Realizado la mezcla, esta pasa a los embudos de alimentación del horno.

La proporción de la mezcla se hará siguiendo en primer lugar la ecuación estequiométrica, suponiendo las materias primas químicamente puras, para luego conservar las proporciones y hacer variar las materias primas de acuerdo a las calidades, la proporción de la cal/carbón es, 25% más que lo teórico.

FIG. N°8: PREPARACION DE LA CAL



- 1. Cargador motorizado
- 2. Alimentador
- 3. Transporte por fajas
- 4. Balanza de faja
- 5. Skip de cangilones

- 6. Horno de Cuba
- 7. Alimentador
- 8. Transporte por Bandeja
- 9. Transporte por cangilones
- 10. Tanque de Cal

El horno debe permanecer siempre lleno, esto se mantiene añadiendo la mezcla a intervalos de tiempo, rastrillandola para que los gases formados se eliminen y la carga nueva llegue a la zona de reacción.

En algunos hornos cerrados no es necesario rastrillar la mezcla porque esta se coloca directamente en forma adecuada con la manga de alimentación, a medida que la carga desciende va adquiriendo la temperatura de fusión de la cal, la cual empieza a reaccionar con el carbón formando el carburo.

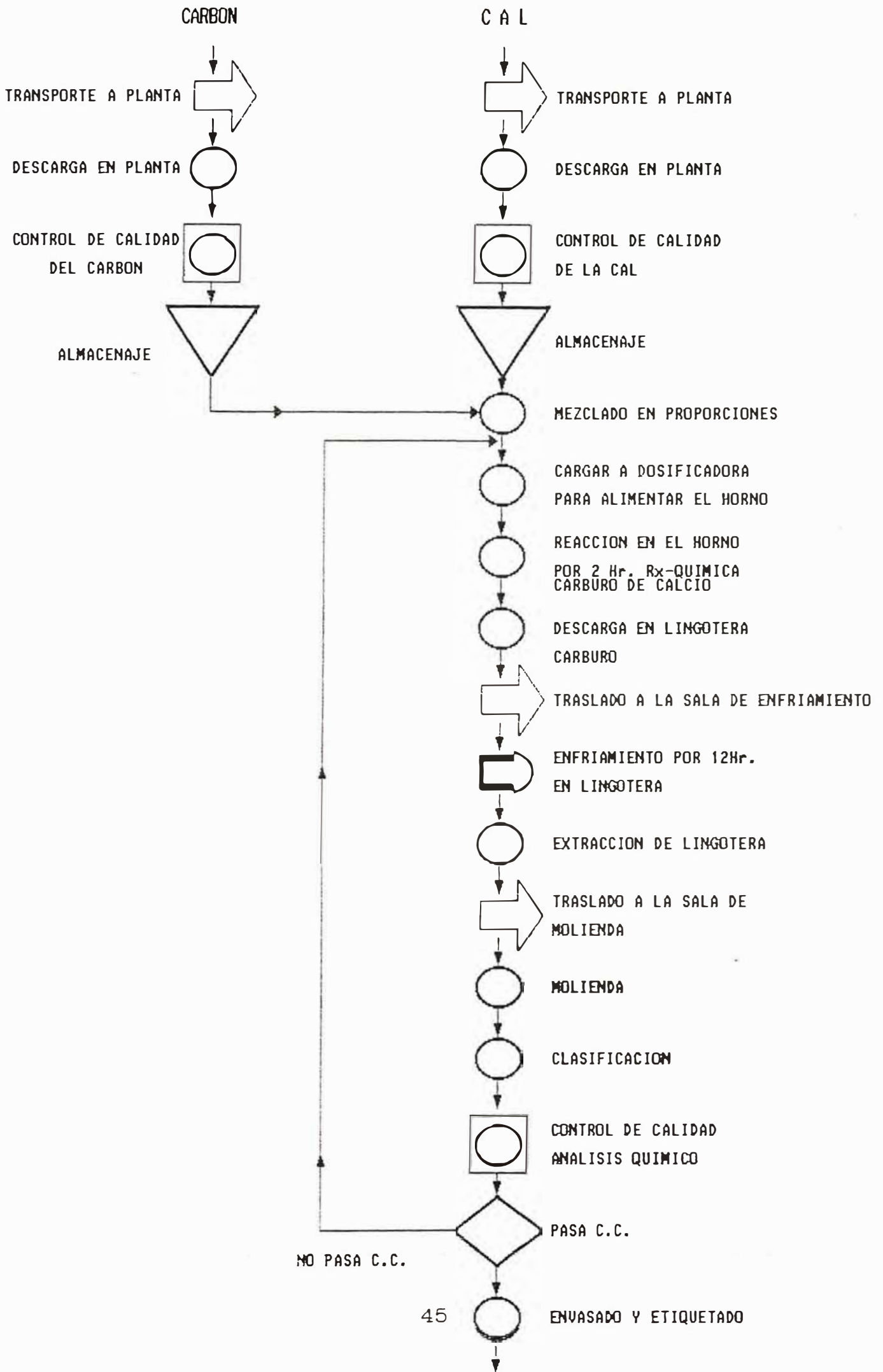
El carburo fundido además de las impurezas de la materias primas contiene exceso de cal. Por otro lado, una temperatura demasiado alta causa la disociación de una parte del carburo en vapor de calcio y carbono. La temperatura en la zona de reacción es aproximadamente de 2 000 a 2 200°C, el buen funcionamiento del horno depende de la continuidad de calor que recibe la carga.

El monóxido de carbono formado asciende a través de la carga del horno y ésta la calienta. La carga tiene la porosidad correspondiente para que los gases formados escapen a la presión normal (aquí la importancia de la granulometría de la mezcla).

Si bien la mezcla se carga al horno casi continuamente, el carburo formado se extrae con intermitencia, la frecuencia del sangrado depende del tamaño del horno (puede ser de media hora para hornos de 10 MVA a 12MVA y de 2 horas para hornos pequeños 500 KVA a 1 500 KVA)<sup>(13)</sup>.

#### 4.1.2.1. Diagrama de Operaciones del Proceso de Producción del $\text{CaC}_2$

Las operaciones del proceso de producción van a ser diferente para cada fabricante, ya que las materias primas por ejemplo provienen de diferente regiones del país.



En cuanto a las operaciones de fabricación del  $\text{CaC}_2$ , estos son pasos mínimos para todas las plantas de carburo para otras fábricas éstas pueden variar acentuando en algunas operaciones.

El cuello de botella se encuentran ubicada en el enfriamiento del  $\text{CaC}_2$ , ya que estas no pueden pasar a la siguiente operación si la temperatura de la lingotera no está por debajo de los  $200^\circ\text{C}$ . El enfriamiento de violento genera un tipo de  $\text{CaC}_2$  metaestable por eso se prefiere el enfriamiento lento además facilita el manipulo del mismo.

#### 4.2. FERROALEACIONES

Las ferroaleaciones son producidos por reducción de metales de sus óxidos respectivos. En principio los materiales son minerales o minerales concentrados. El ferro-silicio, el ferro-manganeso y ferro-cromo son fabricados de minerales, los cuales deben tener un alto contenido del elemento a ser reducido. Los minerales usados para fabricar ferro-tungsteno, ferro-molibdeno, ferro-vanadio y ferro-titanio, son pobres en el elemento útil y deberán ser concentrados.

Las reacciones de reducción están caracterizados por la estabilidad de los óxidos formados a elevadas temperaturas.

Los reductores más comunes en la fabricación de ferroaleaciones son el carbono, el silicio y aluminio. El carbono es el más barato entre ellos y debido a esto es usado en la fabricación de aleaciones de silicio, de ferro-manganeso de alto carbono y ferro-cromo de alto carbono. El inconveniente es que el fierro, manganeso, cromo, molibdeno, vanadio, titanio y otros elementos pueden formar carburos. En fundiciones para ferro-cromo o ferro-manganeso con carbono como reductor, las aleaciones producidas tienen elevado contenido de carbono.

El silicio puede formar siliciuros (con el fierro, cromo y manganeso) los cuales son más fuertes que el carburo respectivo,

por esta razón las aleaciones de alto silicio son usualmente bajas en carbono. Todas las reacciones de reducción de metales de sus óxidos respectivos son endotérmicos.

La fabricación de muchos aceros inoxidable resultan del uso de las ferroaleaciones de muy bajo carbono tales como ferro-cromo de extra bajo carbono, ferro-manganeso y ferro-titanio. Estas aleaciones son hechas con silicio o aluminio como reductor y el proceso correspondiente es llamado silicotérmico o aluminotérmico<sup>(14)</sup>.

Muchos óxidos cuando son reducidos con silicio o especialmente con aluminio desarrolla mucho calor así estas reacciones pueden continuar afuera del horno debido a su calor intrínscico.

Puede verse en la fig. N°9, que la capacidad reductora del carbono se incrementa con la temperatura, mientras que la fuerza del óxido que está siendo reducido disminuye. En las reacciones exotérmicas, un incremento de la temperatura puede resultar en alguna menor recuperación del producto, pero tiene un efecto positivo en el proceso cinético resultado que, disminuye el espesor de la escoria, lo cual es favorable para el resultado final del proceso.

#### 4.2.1. FERRO-SILICIO

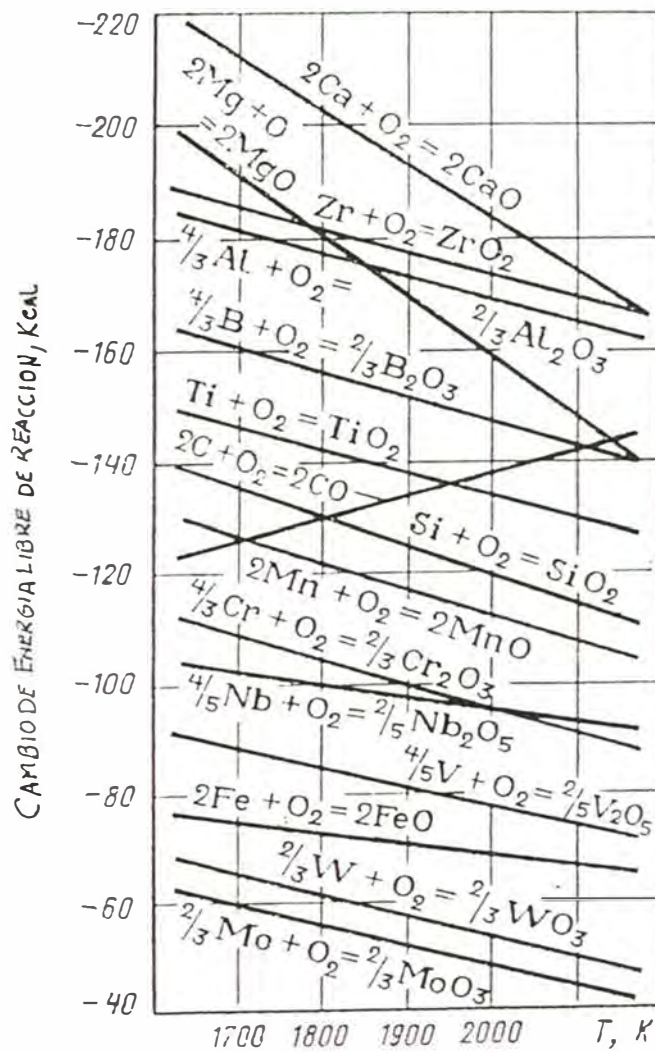
##### 4.2.1.1. Materias primas

Los minerales, componentes de la carga para fabricar ferrosilicio deben tener un alto contenido en sílice, como son; cuarzo, cuarzita y calcedonia. El fierro proviene de desechos de acero al carbono, el cual debe tener un bajo contenido de fósforo (0,8%)

El material para el silicio es la cuarzita. Un buen grado de cuarzita contiene de 96-97% de  $\text{SiO}_2$ , alrededor de 1% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , aproximadamente 1% de  $(\text{CaO} + \text{MgO})$  y no más de 0,02%  $\text{P}_2\text{O}_5$  <sup>(15)</sup>



FIG. N°9: CAPACIDAD REDUCTORA DEL CARBONO VERSUS TEMPERATURA



Los óxidos de aluminio y fósforo son impurezas perjudiciales para la carga.

Los mejores reductores son el carbón de madera, brea y coque de petróleo, con pequeños contenidos de ceniza siendo estos relativamente caros. Por esta razón el carbón de madera es usado solamente para fabricar sílice cristalino. Cierta grado de antracita y coque pueden ser aplicables para tal fin, pero principalmente en combinaciones con otros reductores.

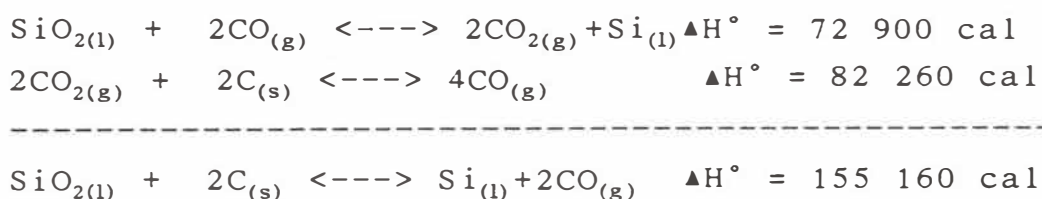
El material más usado comúnmente como reductor para la fabricación del ferro-silicio es el cisco de coque.

Una gran desventaja del cisco de coque es su alto contenido de humedad, algunas veces llega a 25%. Esto puede causar un funcionamiento inestable del horno.

El coque de petróleo es más barato que el coque, contiene pequeñas cantidades de ceniza y tiene una conductividad eléctrica relativamente baja.

#### 4.2.1.2. Procesos de Producción

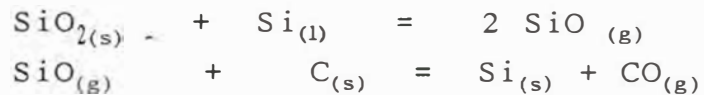
La reacción de reducción de silicio a partir de la sílice, ocurre con carbón sólido:<sup>(16)</sup>



El curso de la reacción de reducción del silicio es determinado por la presión del monóxido de carbono. En un horno industrial para fundición de ferrosilicio, la presión en el tope es igual a la presión atmosférica y la presión parcial  $p_1$  del CO en la zona de reducción es ligeramente encima de la atmosférica.

Las ecuaciones anteriores no describen el mecanismo de reducción de la sílice, se sabe que hay compuestos intermedios como un óxido intermedio monóxido de silicio y carburo de silicio que pueden usar en el proceso.

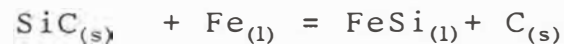
La reducción a altas temperaturas es típica en el proceso del ferro-silicio, el proceso de reducción de  $\text{SiO}_2$ , a silicio a la presión atmosférica, es más probable que ocurra en 2 etapas:



El carbón causa una reducción final de la sílice. La última reacción con el carbón ocurre en la superficie y en el interior de los bloques remanentes.

Las muestras tomadas de los niveles inferiores del horno, usualmente contiene mucho carburo de silicio.

A una cierta temperatura el carburo de silicio, puede ser descompuesto por metales y óxidos, la descomposición por el hierro es:



A altas temperaturas y en la presencia de un solvente (hierro con silicio), el aluminio y el calcio están presentes en la carga son reducidos por el carbón y el silicio.

El grado industrial del ferro-silicio puede contener alrededor del 2% de aluminio y 1,5% de Calcio.

CUADRO Nº 25 CARGA PARA EL PROCESO DE PRODUCCION  
DEL FERROSILICIO

CUARZO Kg	CARBON Kg	HIERRO Kg	RECUPERACION DE Si, % Kg/Tn Fe-Si
1 170	635	580	46,8
1 120	600	530	48,9
1 200	570	600	50,00
2 150	1 110	185	79,0
2 300	1 180	160	78,5
2 700	1 900	-	90,0
2 500	950	10	93,0
2 800	1 200	5	96,0-98,0

#### 4.2.2. FERRO-CROMO

##### 4.2.2.1. Materias Primas

Los minerales de cromo consisten principalmente de cromopinelidos (Mg,Fe)  $Cr_2O_4$  (magnesio-cromita),  $Fe(CrAl)_2O_4$  (aluminocromita)<sup>(28)</sup>, etc. Los cromopinelidos puede contener encima del 62% de  $Cr_2O_3$ , en el balance usualmente existe óxidos de fierro, aluminio y magnesio.

Los factores decisivos para la estimación de la calidad de los minerales de cromo son los siguientes:

- El contenido de óxido crómico, en el mineral para producir ferrocromo de elevados índices técnico-económicos, deberá ser al menos 45%.
- La razón de la concentración de óxido crómico a la de óxido ferroso; no deberá ser menos de 2,5 para asegurar que la aleación contenga 60% de Cr.
- La proporción y composición de la ganga, determinará la cantidad de la escoria formada en la fundición. La escoria ocasiona mucho gasto de energía y también una gran pérdida de cromo.

#### 4.2.2.2. Procesos de Producción

El ferro-cromo puede ser producido por varios procesos, dependiendo del contenido específico de carbón.

Los ferrocromos de alto carbono son hechos de minerales de cromo por reducción. Como reductor se usa la carbonilla de coque.

Los ferro-cromos de medio, bajo y extra-bajo carbono son fabricados por procesos más complejos, pueden emplear varias operaciones y hornos. A continuación detallamos un método:

El primer horno sirve para producir fundición de ferrocromo el cual tiene un incremento en el contenido de sílice (alrededor de 3%) en comparación con el ferro-cromo de alto carbono.

El segundo horno opera con una carga compuesta de cuarcita, carbonilla de coque y fundición de ferro-cromo, para hacer una aleación con 30-50% Cr, 30-40% de Si, 20% de Fe y 0,03-0,7% C (Ferro-sílice-cromo) <sup>(17)</sup>

Finalmente en el tercer horno el mineral de cromo es reducido con el silicio proveniente del ferro-sílice-cromo y el producto es el ferro-cromo con el contenido de carbono procedente del ferro-silicio-cromo usado para la fundición final.

El ferro-cromo especial de extra-bajo carbono con solamente 0,01-0,04% de carbono es producido por reducción de fierro y cromo partiendo de la fundición del mineral y cal con ferro-silicio-cromo líquido o reducción del mineral de cromo con aluminio.

#### Cargas para el Proceso de Producción del Ferro-Cromo de alto carbono.

El consumo de energía eléctrica para una base de 1 ton (60% de Cr) de ferro-cromo de alto carbono es de 3 300 - 3 400 Kwh con la recuperación de 92% de cromo <sup>(18)</sup>.

La siguiente es una carga de materias primas para producir 1 Tn de ferro cromo de alto carbono.

MATERIALES	Kg
Mineral de cromo(50%Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1 850
Carbonilla de Coque	450
Cuarcita	50

El fierro proviene del mineral de cromo en forma de FeO.

#### 4.2.3. FERROMANGANESO

##### 4.2.3.1. Ferro-Manganeso de Alto Carbono

###### Materias Primas

Los minerales de manganeso a ser usados para la fundición del ferro-manganeso deberá satisfacer las siguientes condiciones del proceso:

El contenido de manganeso en el mineral será al menos 45%; un alto contenido de manganeso asegura una superior productividad del horno con menor uso de energía eléctrica por tonelada de aleación.

El contenido de sílice en el mineral deberá ser tan baja como sea posible; la sílice incrementa la proporción de escoria y causa grandes pérdidas de manganeso con elevado consuso de energía eléctrica.

Usualmente el reductor para el proceso es carbonilla de coke (debe contener 12% de ceniza, 11% de humedad, 2% de volátiles, 0,02% de fósforo, con un tamaño de grano de 3-15mm).

## Proceso de Producción de Ferro-Manganeso de alto Carbón.

El Ferro-Manganeso de alto carbono es fundido en un proceso continuo, incluye las siguientes etapas:

- Precalentamiento de materiales
- Secado y remoción de volátiles
- Reducción de óxidos y fundición del metal y la escoria.

La humedad higroscópica de los materiales cargados es removida en 10-15 minutos sobre la carga. Los volátiles son eliminados de la carga en un rango de temperatura de 200 a 1000 °C.

El fierro contenido en el mineral de manganeso es reducido extensamente en el proceso. El óxido férrico es reducido con monóxido de carbono e hidrógeno a temperaturas menores. El óxido ferroso es reducido primero con monóxido de carbono e hidrógeno a 500-600 °C y después con el carbón sólido en las zonas profundas del batch.

La reducción del manganeso ocurre en los siguientes pasos:



Con una atmósfera reductora en el horno, la disociación de los óxidos de manganeso pueden ocurrir a bajas temperaturas.

El monóxido de carbono e hidrógeno puede también reducir  $\text{Mn}_3\text{O}_4$  a  $\text{MnO}$  a bajas temperaturas.

A continuación detallamos las cargas para diferentes Ferromanganesos.

### Carga para el Proceso de Producción de Fe-Mn Alto Carbono

La carga para la fundición del ferro-manganeso de alto carbono es hecho de: <sup>(20)</sup>

MATERIALES	Kg
Mineral de Manganeso	300
Coque de carbonilla	60 - 70
Viruta de fierro	15 - 20

### Carga para Ferromanganeso de alto carbono-bajo Fósforo (Fe-Mn 78%)

MATERIALES	Kg
Escoria de manganeso	450
Coque de carbonilla	80-100
Viruta de acero	20-30
Caliza	280-300

### Carga para Fe-Mn(76%) alto Carbono

En el proceso sin fundente por tonelada de ferro-manganeso al alto carbono que contenga 76% de Mn, se usan:

MATERIALES	Kg
Mineral de Mn	2600
Carbonilla de coke	490
Viruta de Fierro	100
Energia Eléctrica	2600-2700Kw
Recuperación	60%



Carga para el Proceso de Producción del Fe-Mn de Medio-Bajo Carbono<sup>(21)</sup>

Material	Cantidad Kg
Mineral de manganeso (48% Mn)	1 420
Silico Manganeso (20% Si)	1 000
Cal	800
Energía eléctrica	1 700 Kwh
Recuperación de Manganeso	60-61%

4.2.4 SILICO - MANGANESO

El silico-manganeso es una aleación de Mn con silicio y fierro, es un producto intermedio usado para la fusión del ferro manganeso de medio y bajo carbono. Los más corrientes son los que contienen 65% de manganeso y 20% de silicio.

El ferro silico-manganeso es también empleado como un desoxidante complejo en la fabricación de aceros.

Los grados del silico-manganeso SiMn17, SiMn14 y SiMn10 deben contener fosforos menor del 0,15%.

Los silico-manganeso grado SiMn17, SiMn14 y SiMn20 es fundido en procesos continuos en hornos de tres etapas con una potencia de 10 500 KVA.

La carga para la fundición del silico-manganeso esta compuesto de escoria rico en manganeso, cuarcita y coke.

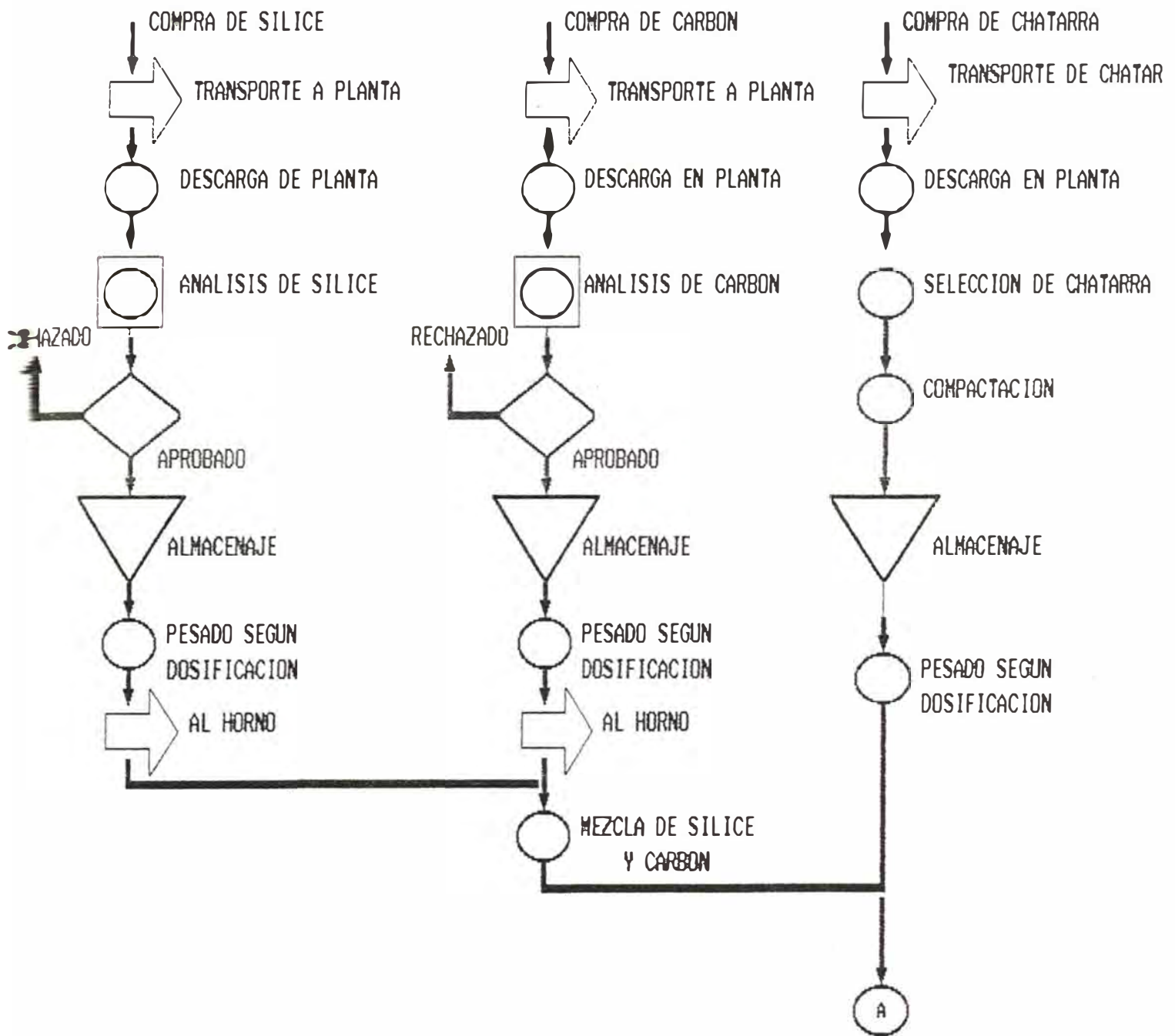
La carga para la fabricación comercial del ferro Sílico-manganeso es mineral de manganeso, fierro y coke.

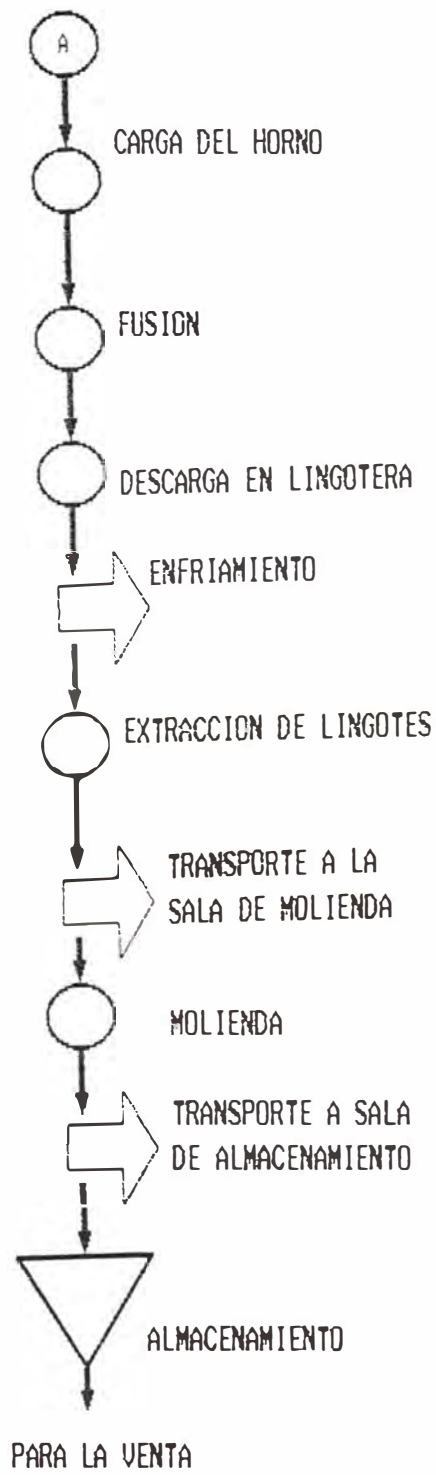
DIAGRAMA DE OPERACIONES PARA LA PRODUCCION DE FERROSILICO

En el diagrama N<sup>o</sup> 2 para el proceso de producción de Fe-Si se puede observar 3 líneas, previas a la fusión:

- Línea Sílice
- Línea Carbón
- Línea chatarra
- Línea de fusión

## DIAGRAMA N. 2: OPERACIONES PARA LA PRODUCCION DE FERROSILICIO





La línea de la Silice se inicia con la adquisición del mineral con contenido de Silice, la operación importante es el análisis de la calidad y granelometria.

La línea del carbón, se inicia con la adquisición del carbón.

La operación importante es en el análisis de calidad y granulometria, también en esta línea la operación importante es el almacenaje.

La línea de Fierro se inicia con adquisición del fierro como dranura, la operación importante en esta línea es la clasificación de la .

La línea de fusión se inicia con la carga del horno, la operación principal es la fusión del ferrosilicio quedando en esta operación el cuello de botella.

## CAPITULO 5

### HORNOS ELECTRICOS EN LA FABRICACION DE CARBURO DE CALCIO Y FERROALEACIONES

#### 5.1. GENERALIDADES.

El siguiente estudio presenta el diseño de un horno multifuncional para ferroaleaciones y carburo de calcio. Aleación el primero y compuesto el segundo que requieren de elevadas temperaturas (1 200°C, 2 500°C respectivamente), lo que hace necesario el empleo de la energía eléctrica para el calentamiento, por las elevadas temperaturas que se alcanzan.

Este método es más flexible que los procedimientos que compiten con él, quemando un combustible gaseoso o sólido.

La flexibilidad se refiere a la aplicación del calor en los puntos que se necesitan con una mayor rapidez, con un rendimiento relativo más alto y con el gradiente de temperatura entre la fuente y el punto de aplicación menor.

Lo novedoso de este diseño es la funcionalidad del horno, la cual será para ferroaleaciones y carburo de calcio. Así mismo la utilización de recursos hidroenergéticos que cuenta el Perú.

En lo que respecta a ferroaleaciones es novedoso ya que estas aleaciones están incrementando su demanda (ver estudios de mercado) su aplicación en la siderurgia para la fabricación de aceros especiales en forma fácil. Estas aleaciones son ferro-silicio, ferro-cromo, ferro-manganeso, FerroSilico-Manganeso, etc.

Las condiciones exigidas de los aceros en sus diversos usos, son cada vez más rigurosos, de modo que se recurren a las ferroaleaciones para cumplirlos.

Los hornos para la fabricación de carburo de calcio han realizado grandes progresos en los últimos años, perfeccionándolo en el tipo de sangrado, en la utilización del electrodo, en la recuperación del monóxido de carbono en hornos cerrados, en el tipo de alimentación, en la utilización de refractarios, boca de colada, etc.

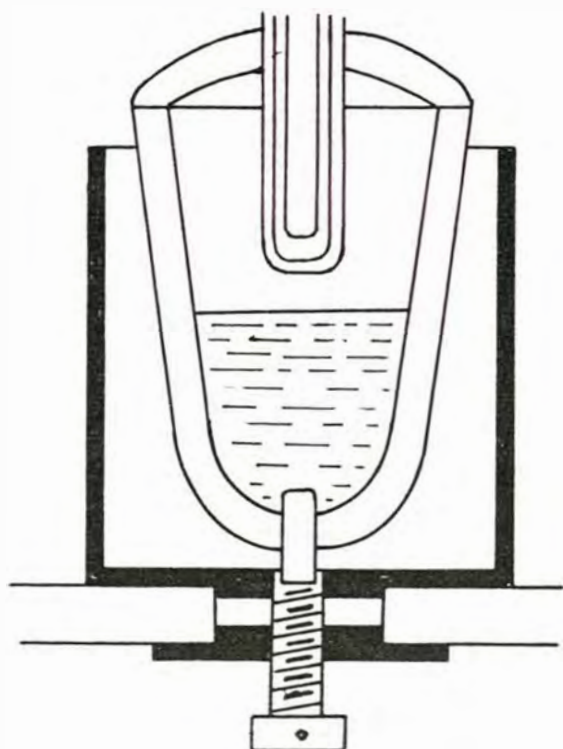
Antes de 1890 <sup>(22)</sup>, las ferroaleaciones se obtienen en altos hornos o de crisol y algo en hornos reverberos. La introducción del horno eléctrico fue el principal activador de la industria de las ferroaleaciones.

## 5.2. HISTORIA

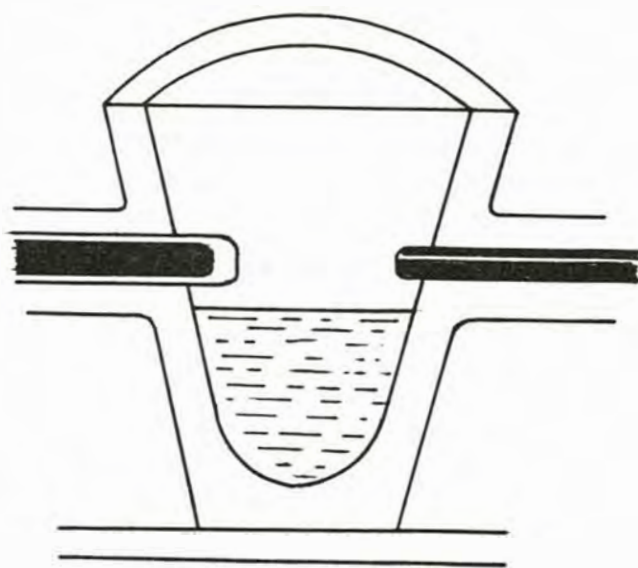
La historia de los hornos eléctricos es importante porque con ello podremos apreciar las fases de desarrollo que ha alcanzado el horno de ferro-aleaciones y el de carburo de calcio, hasta su grado de perfeccionamiento que hoy en la actualidad ha alcanzado. Siguiendo un orden cronológico resumido tenemos lo siguiente:

- 1845 Napier y Depretz precursores del horno eléctrico, produjeron el arco en un crisol <sup>(23)</sup>
- 1878 Sir Willams Siemens. Horno de solera conductora, (Fig. Nº 10a) y hornos de radiación para aceros (Fig. Nº 10b) <sup>(23)</sup>
- 1883 Faure. Horno eléctrico de resistencia<sup>(23)</sup>.
- 1887 Hnos. Cowles perfeccionan el horno de Faure <sup>(23)</sup>
- 1890 Colby en America horno de inducción.
- 1892 MOISSAN en Francia y WILSON en los Estados Unidos, comenzaron la producción comercial e industrial del carburo de calcio, independientemente el uno del otro.  
MOISSAN, Fabricación del diamante. Reducción de los metales de sus óxidos, por medio del carbón.  
WILSON, Horno de arco para carburo de calcio (Ver fig. 11)<sup>(2)</sup>.

**FIG. N°10a: HORNO SOLERA CONDUCTORA SIR  
WILLIAMS SIEMENS**



**FIG. N° 10b: HORNO RADIACION SIR  
WILLIAMS SIEMENS**



- 1899 HEROULT, estudió la manera de aplicar el horno inventado por Siemens a la fabricación de aceros en marzo de 1900, patentó su primer horno de arco, que hoy es el más extendido en el mundo (Fig. N<sup>o</sup> 12a). Los empleados para Ferroaleaciones que el mismo Heroult perfeccionó se muestra en la Fig. N<sup>o</sup> 12b.

### 5.3. CLASIFICACION DE LOS HORNOS ELECTRICOS

De acuerdo a la forma de aplicación de la energía eléctrica para generar calor, se dispone de:

- a. Hornos de Resistencia; emplean la resistencia en todas sus formas, para la producción de calor y alcanzan temperaturas bajas, (ver fig. N<sup>o</sup> 13) <sup>(24)</sup>
- b. Hornos de Inducción; puede describirse como un transformador reductor de voltaje, en el que el metal sometido a tratamiento es la bobina o las bobinas en corto circuito del secundario, (Ver fig. N<sup>o</sup> 14) <sup>(24)</sup>
- d. Hornos de Arco; la producción del calor, se realiza principalmente por radiación desde uno o varios arcos. El arco se forma entre dos electrodos de carbón, por la diferencia de potencial que existe en los bornes, obteniéndose temperaturas muy elevadas (Ver Fig. N<sup>o</sup> 15)<sup>(24)</sup> Sólo han sido superado por los hornos de Plasma.



FIG.N° 11: HORNO WILSON



FIG.N° 12a: HORNO HEROULT

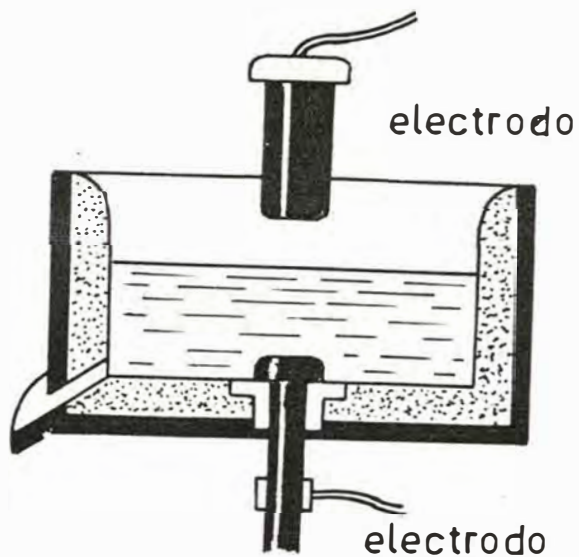


FIG.N° 12b: HORNO HEROULT CON BASCULACION

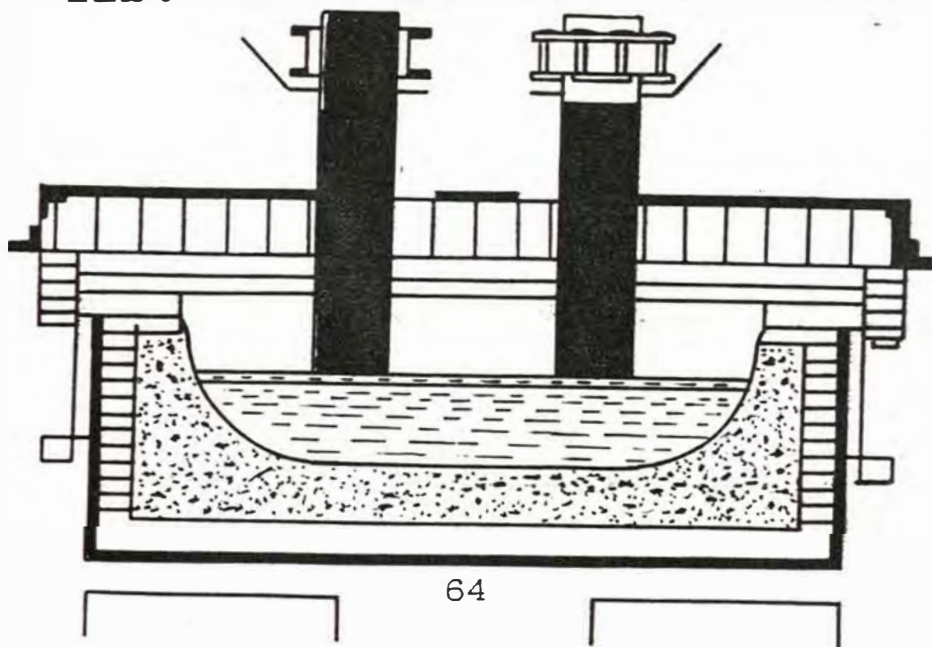


FIG.N° 13 HORNO DE RESISTENCIA

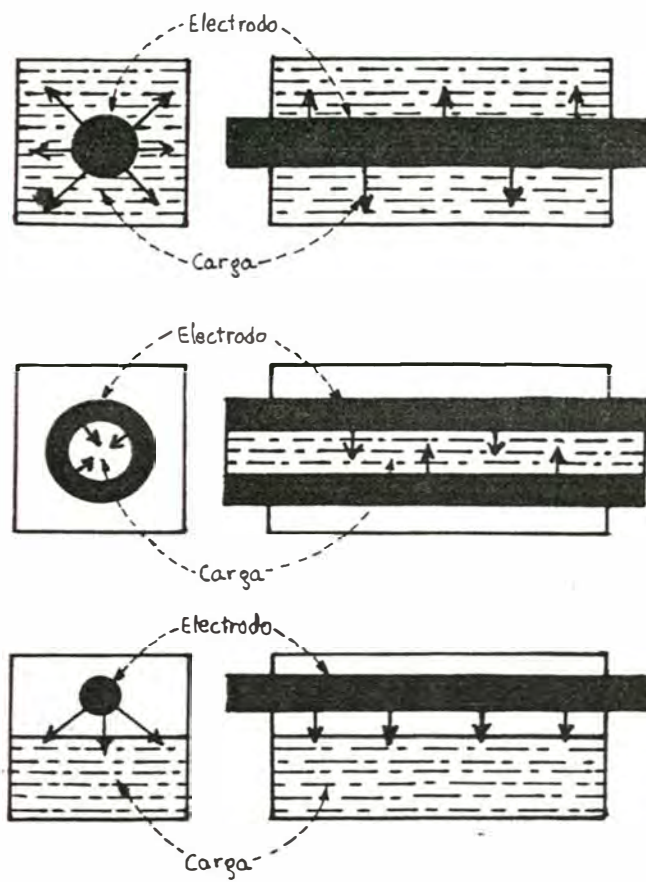


FIG.N° 14 HORNO DE INDUCCION

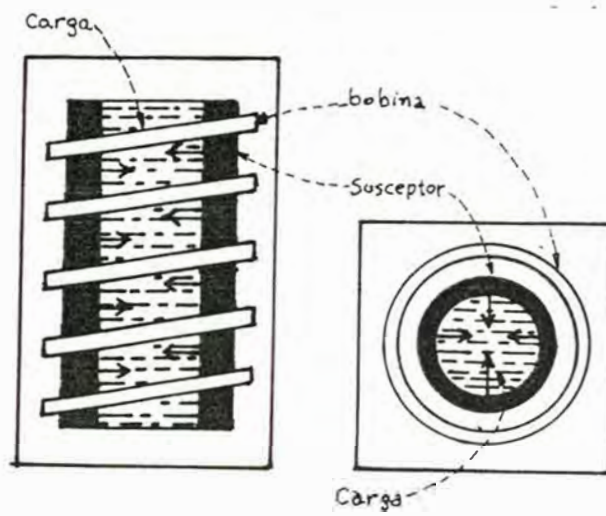
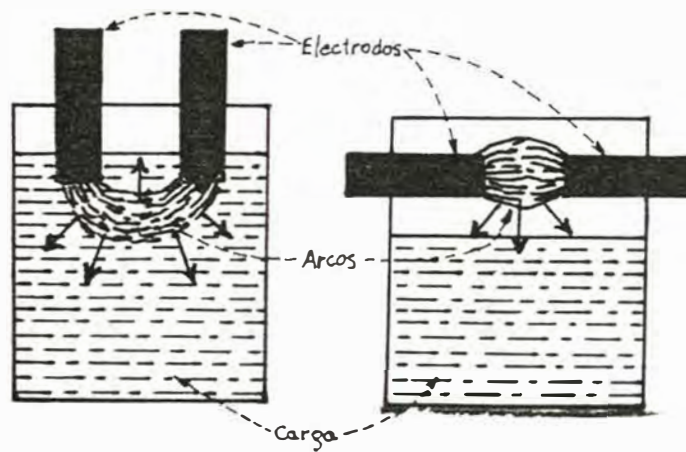


FIG.N° 15 HORNO DE ARCO



### 5.3.1 CLASIFICACION DE HORNOS DE ARCO

Los hornos de arco se clasifican de acuerdo a los siguientes consideraciones:

#### FUNCIONAMIENTO :

De acuerdo al funcionamiento que se realiza los hornos de arco pueden ser hornos continuos y hornos discontinuos. En el caso de los hornos discontinuos, se introduce la carga a la cuba y se realiza la fusión luego, se procede al colado, terminando esta operación se carga nuevamente el horno (llamado también horno de sangrado discontinuo o batch). En el caso de los hornos continuos el horno nunca queda vacío, siendo la colada y la carga realizadas sincronizadamente.

#### POR SU CONSTRUCCION

Según su tipo de construcción se puede clasificar en: Hornos abiertos, Hornos Cerrados y Hornos Semicerrados.

Estos a su vez por la forma de la cuba pueden ser: Rectangulares, Circulares y Elípticas. Ejemplo: un horno abierto puede ser a la vez rectangular, circular o elíptico.

#### DE ACUERDO AL ARCO

a. Hornos de arco directo. - Es aquel donde el arco eléctrico se forma entre uno o más electrodos y la carga, el circuito se cierra a través de la propia carga o bien utilizando un contraelectrodo situado en el fondo de la carga. Estos hornos difieren en la manera como se introduce la corriente en el horno y como sale de el.

A su vez puede clasificarse en:

*Hornos de Arco Directos en Serie.* - En estos hornos los electrodos estan soportados encima de la cubierta del horno y penetran hasta llegar a unos 3 centímetros de la carga, estando los electrodos adecuadamente ~~separados~~ ~~entre si~~ para

impedir que se produzcan arcos entre ellos, el arco se forma entre el electrodo y la escoria (carga) y entre la escoria y la carga de abajo, transmitiéndose así la corriente en serie hasta el electrodo próximo, pero pasando a través de la carga y formando un segundo arco al saltar entre la escoria y el otro electrodo.

- *Hornos de Arco Directo con Electrodo en la solera descubierta.*- En estos hornos en el fondo se coloca un electrodo, obteniéndose así un horno de arco directo y al descubierta, pudiendo ser el electrodo metálico o de material especial. En estos hornos el arco se forma entre la parte baja del electrodo superior y la carga, pasando a través de la carga y finalmente sale por uno o varios electrodos en la solera y estos que a su vez están conectados a una placa conductora de cobre.
  
- *Hornos de Arco Directo con Electrodo Enterrados en la Solera o Solera Conductora.*- En estos hornos un electrodo es el piso de la cuba siendo la solera una mezcla de los componentes del electrodo que son aprisionados en el mismo horno con un ligante de alquitran o brea y se encuentra sobre una placa de cobre puesta en el fondo de la Cuba.

En estos hornos el arco se forma de la parte inferior del electrodo superior a la carga y finalmente de la carga a la solera para cerrar el circuito.

b. Hornos de Arco Indirecto.- En estos hornos, el arco se establece entre los electrodos que puede ser 2 o más, colocados horizontalmente por encima de la carga, los electrodos penetran al horno por los costados. En el diagrama N°3 se muestra un esquema resumen.

#### 5.4. DESCRIPCION DE HORNOS ELECTRICOS DE FERROALEACIONES Y CARBURO DE CALCIO

La descripción de los hornos de arco para ferroaleaciones y carburo de calcio se integra en uno solo. Esto es porque sus principales partes son iguales para ambos como son:

- Cuba.
- Electrodo.
- Bóveda.
- Sistema Eléctrico.
- Transformador.
- Elementos de basculación.
- Sistema de Carga.
- Descarga de los humos.
- Mecanismo de la regulación de electrodos.

Las diferencias específicas entre hornos para ferroaleaciones y carburos de calcio están en :

- Las temperatura de trabajo
- Los refractarios para la cuba y la bóveda
- La potencia del Transformador.

# DIAGRAMA N. 3: CLASIFICACION DE HORNOS

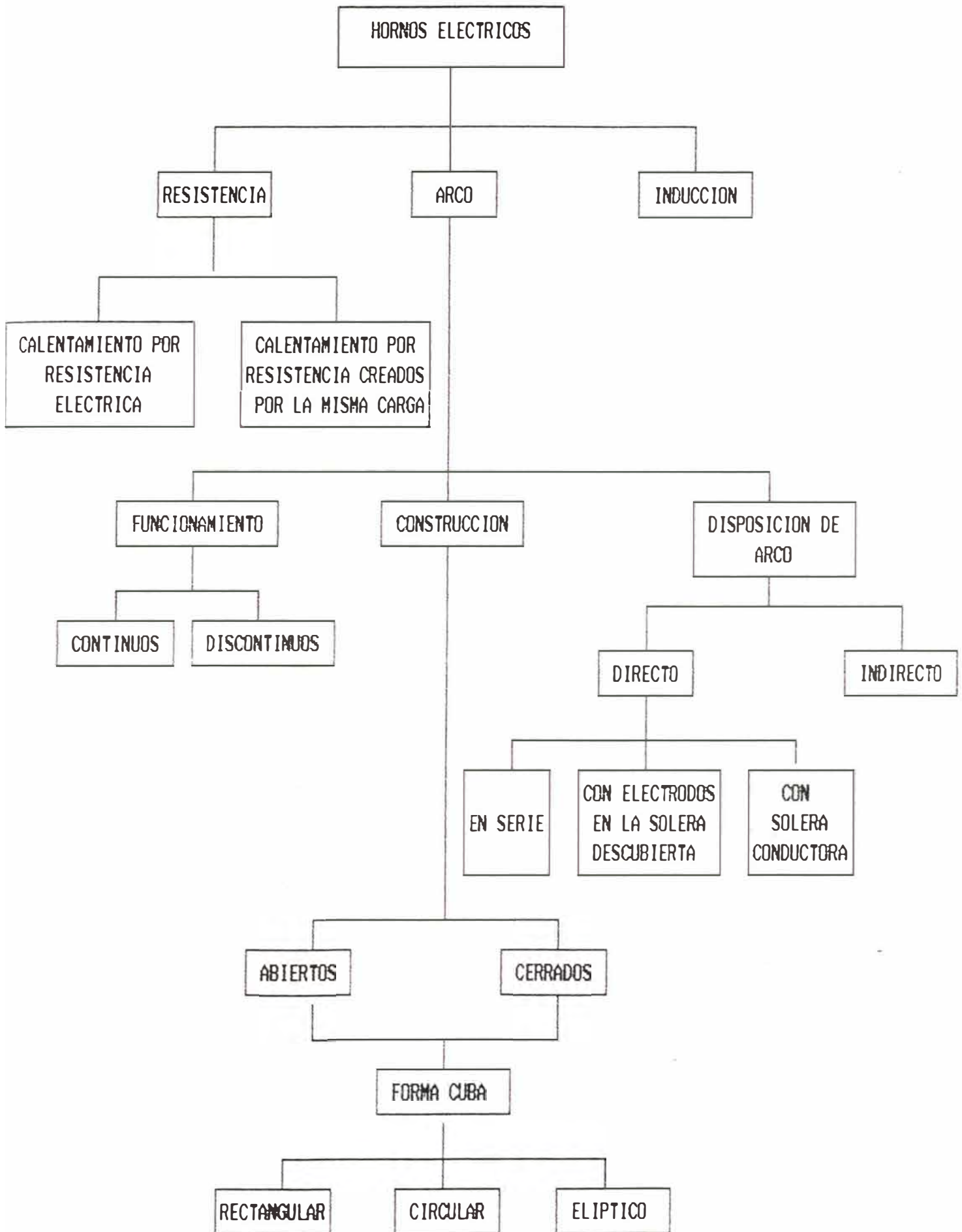


FIG. No 16

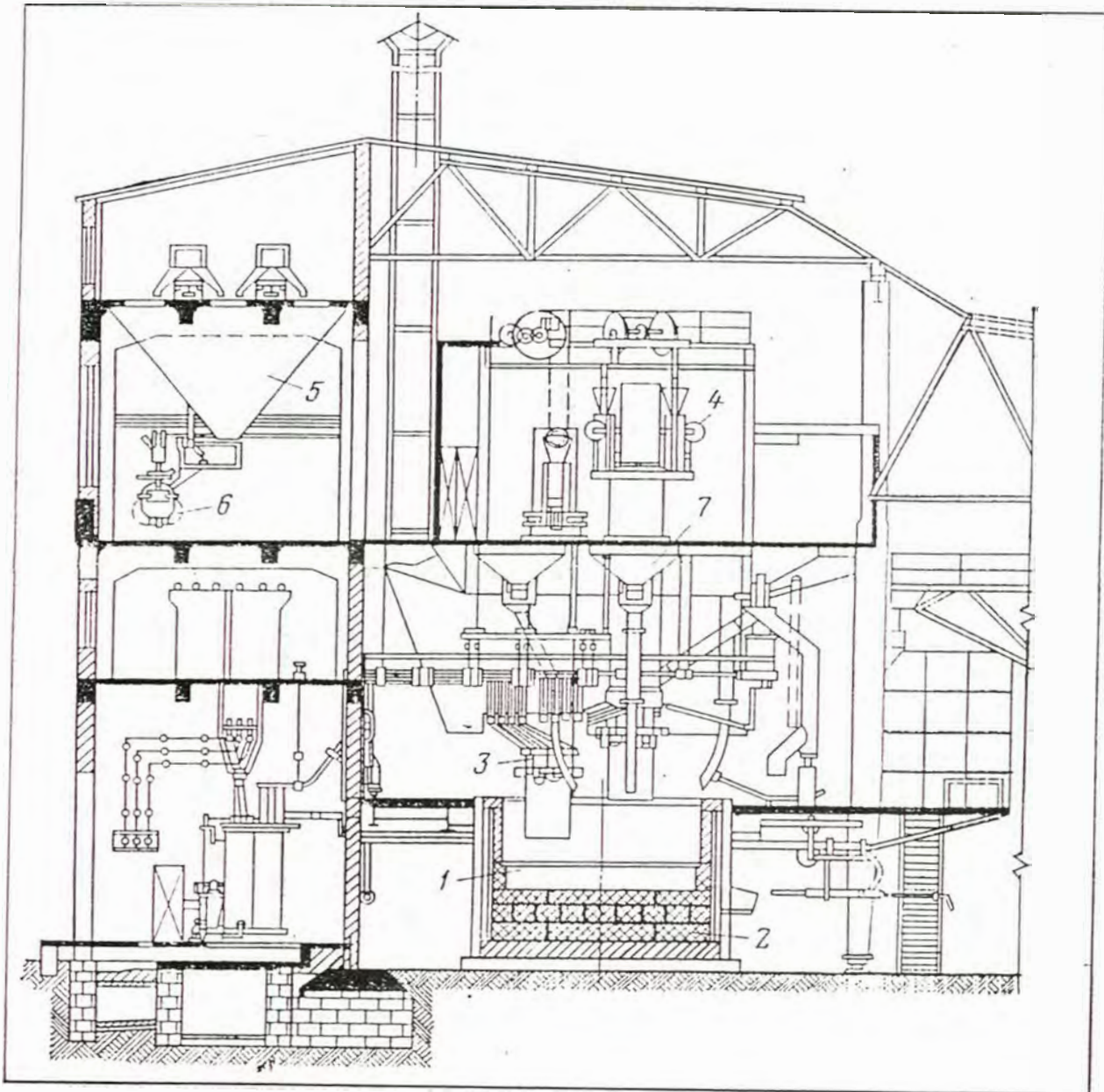
A continuación se detalla a cada una de las partes y en la fig. N°17 se resaltan algunas de ellas<sup>(25)</sup>.

CUBA.- Puede ser de forma variada, existiendo cubas cuadradas, circulares y las elípticas que son las más comunes. La forma depende básicamente del número y distribución de los electrodos con que va a funcionar el horno, y así evitar las pérdidas de calor. El volumen es un dato técnico que se ha obtenido a través de los años con el avance y desarrollo de diferentes tipos de hornos, el cual considera que la cuba vacía debe ser igual a cinco veces el volumen que ocupa el baño después de terminada la fusión. Para este volumen se parte del peso de la carga alimentada.

Los materiales para la parte interior de la cuba (que está en contacto con la carga) deben ser refractarios muy bien seleccionados ya que deben soportar los rigores a los que va estar sometidos como la elevada temperatura, el posible ataque químico, los esfuerzos a los que va estar sometidos, etc. Después de ellos van los ladrillos aislantes, los cuales impiden las pérdidas de calor. Por último va el soporte de la cuba, el cual por lo general es una chapa de hierro. Como observación diremos que los refractarios y aislantes no son de un solo tipo (ver Sección Refractarios), sino que están conformados por capas sucesivas de diferentes materiales.



**FIG. N° 17: PARTES DE UN HORNO PARA CaC<sub>2</sub> Y FERROALEACIONES**



1. CUBA DEL HORNO
2. SOLERA (LADRILLOS REFRACTARIOS, BLOQUES DE CARBON)
3. ELECTRODO (SODERBERG)
4. SISTEMA DE DESLIZAMIENTO DE ELECTRODO

5. TOLVAS DE ALIMENTACION
6. BALANZA AUTOMATICA
7. TOLVA DE CARGA MEZCLADO
8. SALA DE TRANSFORMACIONES
9. SISTEMA AUXILIAR DE DESCARGA

Para la cuba del tipo fijo, dispone de un agujero para la sangra (descarga del producto). En casos especiales de los hornos de cuba fija para carburo de calcio, no se necesita de ningún dispositivo especial para tapar el agujero de sangrado, ya que este es taponado automáticamente por el endurecimiento del carburo en contacto con el aire. Por el contrario los hornos para ferroaleaciones (de cuba fija) si necesitan que el agujero de sangrado este tapado por algún sistema, debido a que no se endurece tan rápidamente como el carburo.

Ultimamente los avances técnicos han desarrollado hornos de arco eléctrico de cuba giratoria, lo cual permite una mayor capacidad de producción debido al ensanchamiento del campo de acción de los electrodos (además de la agitación del baño de fusión que permita un producto más homogéneo).

Generalmente los hornos que poseen electrodos en el fondo son monofásicos.

ELECTRODOS. - Estos son los elementos terminales a donde llega el fluido eléctrico y es transformado en energía calorífica por efecto Joule<sup>(26)</sup>.

El arco eléctrico se establece inicialmente por el contacto de los electrodos (cuando el horno esta frio) y cuando esta caliente utilizando la carga como medio para el paso de la corriente (hornos de arco resistencia).

Por las elevadas temperaturas de trabajo, los electrodos son únicamente fabricados de carbón en sus diferentes formas (habiéndose descartado totalmente los electrodos de metal que se llegaron a usar cuando recién se inventaban los primeros hornos de arco). Los electrodos más usados son de 2 tipos: De grafito, y los electrodos de autococción (Söderberg) (este último muy difundido en el mundo actualmente)<sup>(27)</sup>.

El diámetro de los electrodos está en función directa a la potencia a ser suministrada (que a su vez depende de la temperatura de funcionamiento), y no se puede aumentar o disminuir a voluntad, sino que debe buscarse un reparto uniforme de la corriente y tener muy en cuenta las propiedades del material. La densidad de corriente que puede soportar un electrodo depende básicamente del material del que está hecho los electrodos. Los electrodos de grafito permiten mayores densidades de corriente.

Los electrodos más usados son los de autococción llamados también Söderberg, estos facilitan la operación de los hornos ya que permiten renovarlos, sin parar la producción. La renovación se realiza agregando pasta de electrodo por la parte superior del portaelectrodo y su cocimiento se realiza gradualmente por efecto del calor a medida que va descendiendo hasta la cuba, mostrado en la fig. 18 y fig. 19.

LA BOVEDA. - Lo llevan los hornos de tipo cerrado o los hornos de reducción. La bóveda permite un ahorro de energía ya que reducen las pérdidas de calor, por la parte superior del horno, además facilita la captación de los humos, los cuales pueden aprovecharse por su elevada temperatura y por el contenido de CO ya CO<sub>2</sub>.

Los materiales para la bóveda deben seleccionarse adecuadamente, de igual forma que para la cuba, generalmente se utilizan ladrillos moldeados de sílice, de corindón, o de tierra refractaria. Tienen un soporte metálico y están refrigerados por agua para evitar su recalentamiento.

La forma de la bóveda se diseña de acuerdo a las condiciones que se requieren para cada situación, pudiendo ser semicirculares y planas. Llevan entradas para los electrodos y la chimenea, son cerradas herméticamente.

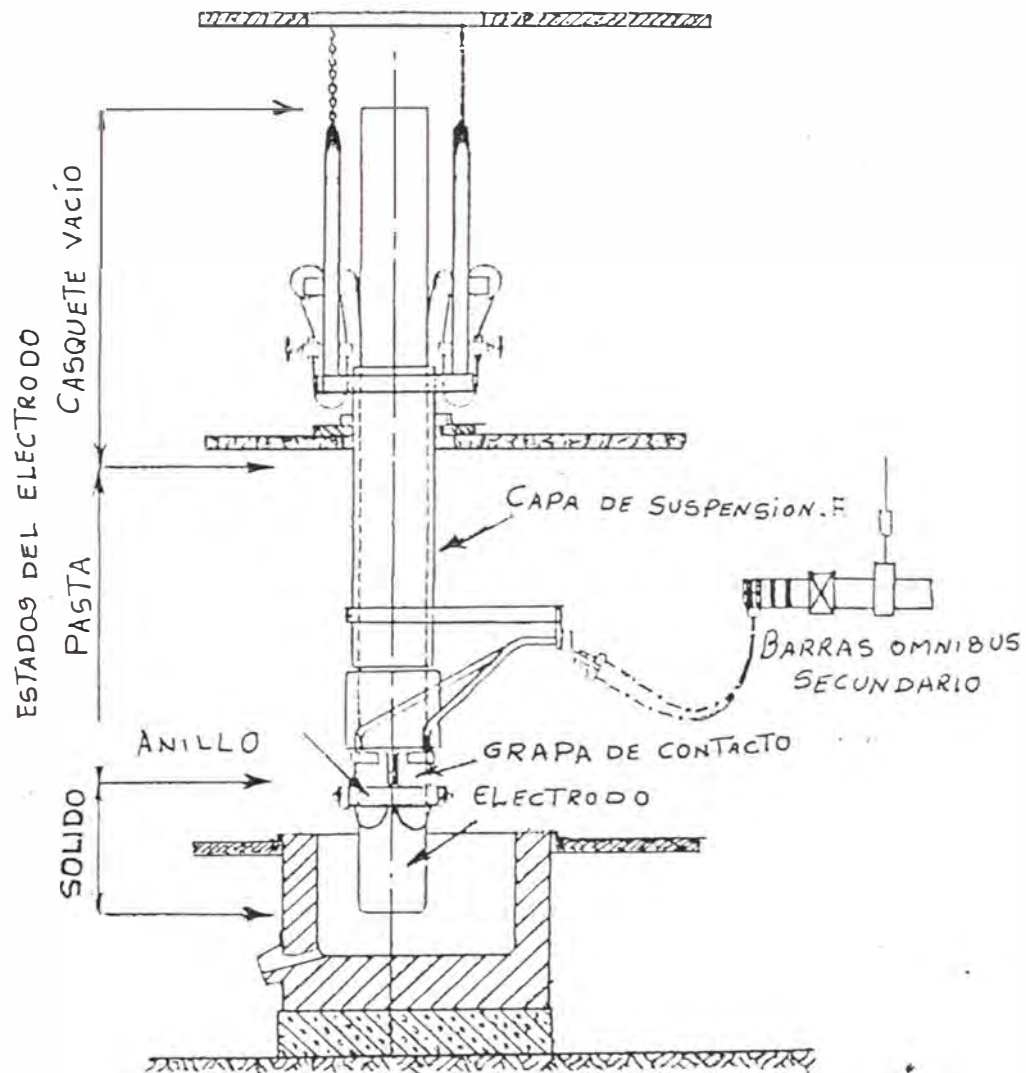
EL SISTEMA ELECTRICO Y PIEZAS DE CONTACTO.- Son los cables los encargados de transportar la corriente eléctrica a los electrodos, a estos cables también se les conocen con el nombre de "barras omnibus", estas barras omnibus pueden ser de cobre o de aluminio y tienen la forma de placas planas o son de sección circulares huecos, y refrigerados por agua. Los 5 conductores fijos son de corta longitud.

Los cables flexibles deben tener una longitud suficiente para el desplazamiento de los electrodos, y para desplazar la bóveda (si es un horno del tipo cerrado).

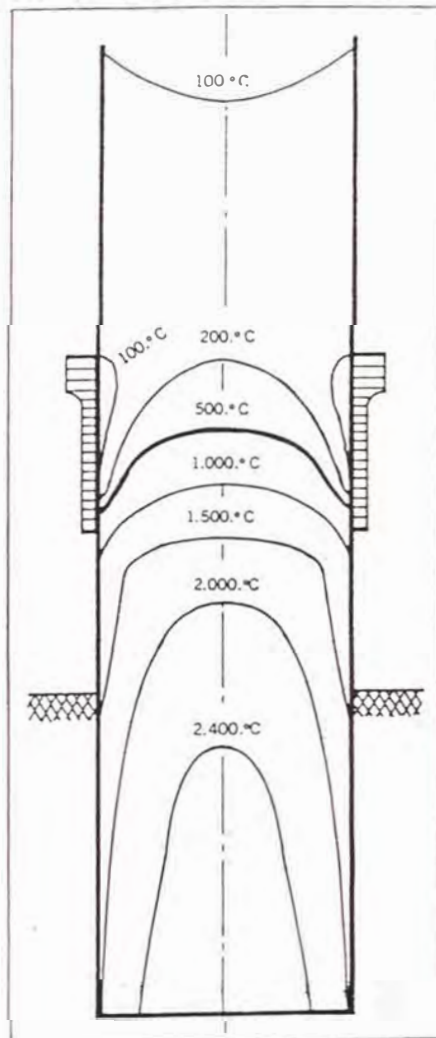
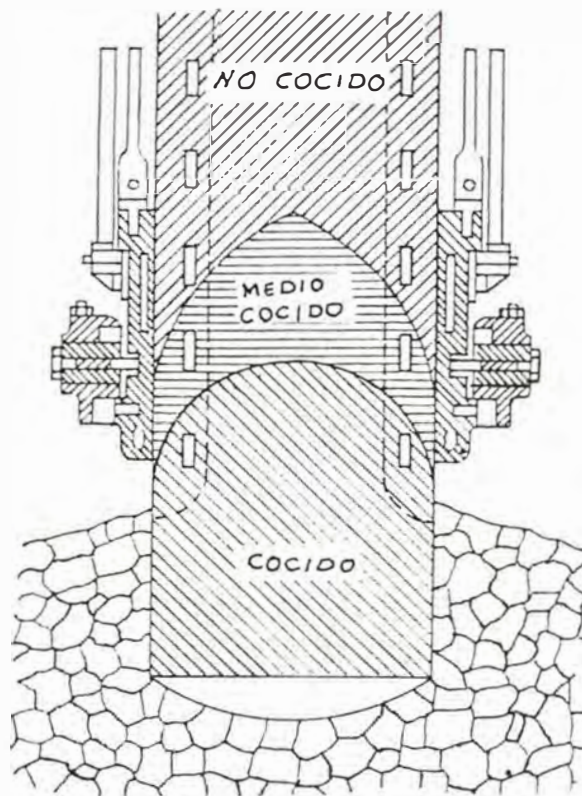
Las piezas de contacto deben tener una gran sección para el paso de la corriente, terminando este en el anillo metálico portaelectrodo y el electrodo que generalmente están refrigerados por agua, para evitar su sobrecalentamiento. Todas las piezas de contacto deben estar firmemente acoplados, para evitar recalentamiento por falso contacto.

Los materiales que se usan preferentemente, es el cobre puro, para intensidades de corriente superiores a los de 30 000 A y cobre, bronce o acero para intensidades menores a 30 000 A. Los materiales que se emplean para los contactos debe ser protegido contra la oxidación (Aleaciones especiales de cobre).

FIG. N° 18: ELECTRODO TIPO SODERBERG



**FIG.N°19: DISTRIBUCION DE TEMPERATURAS  
EN LOS ELECTRODOS SODERBERG**



TRANSFORMADOR.- La función del transformador, es darle al horno las condiciones eléctricas requeridas para la que a sido diseñada, las funciones son adecuar el voltaje, la de estabilizar el voltaje para el horno y la de rectificar el voltaje.

Cuando aumentan las dimensiones del horno y la potencia del transformador, el problema principal que se presenta no es aumentar la tensión del arco, sino garantizar las intensidades de corriente que se necesitan para producir el calor deseado. Los transformadores para los hornos de arco trabajan con voltajes comprendidos entre 40 V a 250 V, e intensidades que van desde 5 000 A a 100 000 A y con unas potencias que van desde 550 KVA hasta 50 000 KVA.

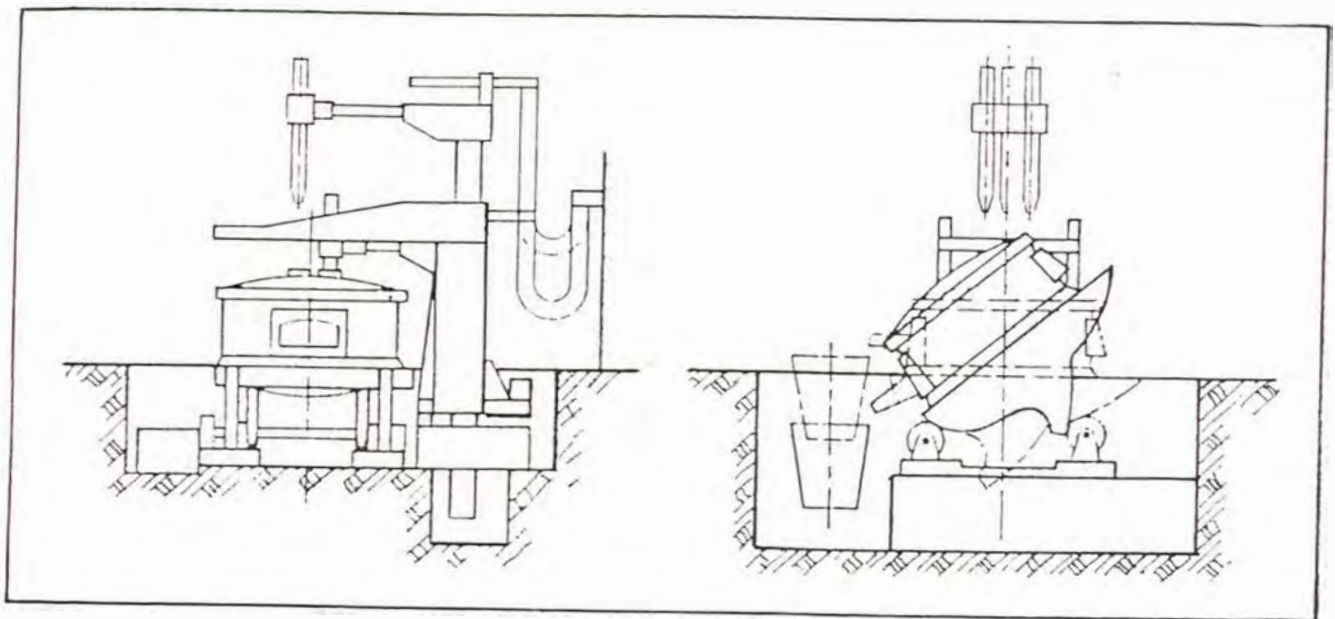
Estos transformadores estan siempre refrigerados por aceite y con aletas. Existen en el país compañías como la Brown Boveri con gran capacidad y garantía para su construcción.

ELEMENTOS DE BASCULACION.- Generalmente disponen de este sistema los hornos modernos. El sistema empleado es mecánico, pero su finalidad es doble, por un lado permitir una ligera agitación del baño y por otro lado efectuar la colada.

Ultimamente, junto al sistema basculante se acopla otro, que permite que la cuba realice un movimiento lento de rotación. Durante este último movimiento la bóveda debe levantarse; pero debe ser lo mínimo posible, para minimizar las pérdidas de calor. La carcaza del horno debe de estar completamente soldadas y provistas de los dispositivos necesarios para realizar los movimientos basculantes y de rotación. Este movimiento permite una fusión uniforme en toda la carga, evitando focos de fundición.

Durante el movimiento de basculación (colada) no existen mayores riesgos, pero cuando se realiza el movimiento de rotación se debe proceder con sumo cuidado ya que los electrodos pueden romperse por desplazamiento de la carga, presentado en la Fig. N<sup>o</sup> 20.

**FIG.N°20: SISTEMA DE BASCULACION  
(COLADA)**





SISTEMA DE CARGA.- Tanto en los hornos abiertos como cerrados se puede realizar la carga en forma manual por la parte superior del horno.

Los hornos cerrados deben contar con una bóveda desplazable o una cuba desplazable y basculante. En estos hornos la carga manual no llega a cubrir toda la parte utilizable de la cuba, por esto se prefiere otros sistemas. El más utilizado es el de cesta, mediante el cual la carga se amarra a tacos de madera mediante cuerdas, al ser expuestas así al horno los tacos y la cuerda con la cesta (carga) se deposita en el horno.

En los hornos de funcionamiento continuos, la carga llega constantemente al horno por medio de unas vertederas y se reparten uniformemente en la sección de la cuba.

DESCARGA DE LOS HUMOS.- La energía que se llevan los humos es un problema importante. Esta representa entre el 3% y el 5% del consumo total de energía. En los hornos abiertos se pierde toda la energía de los humos.

En las instalaciones modernas se utilizan y se aprovechan en forma total los gases generados en los hornos.

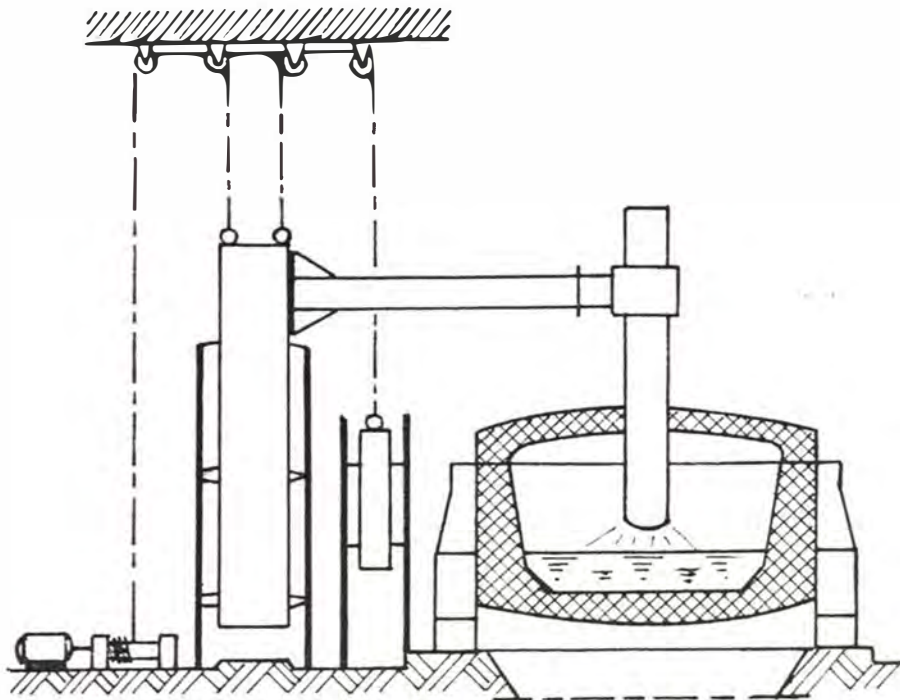
Para los cuales se instalan unas chimeneas, con aspiradoras de humos y el montaje de ventiladores en el techo.

Parte de la energía contenida en los gases se pueden aprovechar usando para el secado de la carga o principalmente de un precalentamiento o una pre-reducción.

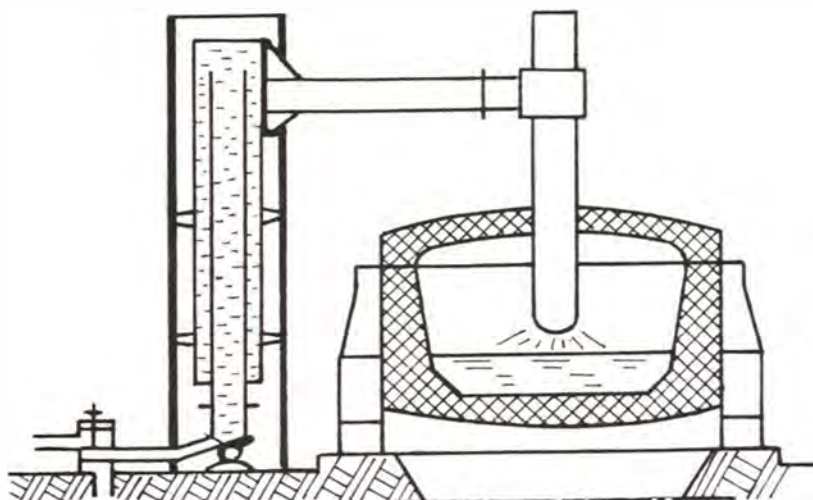
Los gases como el CO y CO<sub>2</sub> se pueden usar como combustible u otros usos.

REGULACION DE LOS ELECTRODOS.- Estos dispositivos permiten el desplazamiento vertical de los electrodos durante el funcionamiento del arco. La regulación propiamente dicha de un horno es una operación muy delicada, cuya misión consiste en mantener constante la potencia (I) absorbida por el horno, actuando sobre la posición de los electrodos. Recientemente se han puesto a punto varios tipos de dispositivos para regular la posición de los electrodos, que se diferencia fundamentalmente unos de otros por el mecanismo de mando: Los dispositivos mandados por un motor eléctrico y un dispositivo de funcionamiento magnetohidráulico, puede verse en la fig. NQ21a y NQ21 b . En los hornos pequeños las regulaciones se hacen en forma manual.

**FIG.N°21a: SISTEMA DE REGULACION DE ELECTRODOS MOTOR ELECTRICO**



**FIG.N°21b: SISTEMA HIDRAULICO**



## 5.5. MATERIALES DE CONSTRUCCION

### 5.5.1. LADRILLOS REFRACTARIOS

La selección de los materiales refractarios es el primer problema que debemos resolver, para el montaje de los hornos.

Los factores que tiene influencia en la selección de los materiales refractarios se puede considerar dos:

#### 1.- LOS FACTORES QUE TIENEN RELACION CON EL FUNCIONAMIENTO.

- Naturaleza química de los materiales y productos que se tratan en el horno.
- Resistencia a las tensiones y compresiones elevadas.
- Ataques corrosivos por las escorias.
- Vapores metálicos de naturaleza ácida o básica.
- Temperaturas de operación y los cambios de éste.

#### 2.- FACTORES QUE DEPENDEN DE LAS PROPIEDADES

Debe considerarse los siguientes factores que afectan a las propiedades de los refractarios.

- Punto de Fusión (No existe un punto definido sino un rango)
- Resistencia al fuego bajo carga.
- Resistencia a la corrosión.
- Resistencia a los cambios bruscos de temperatura.
- Dilatación térmica reversible.
- Conductividad térmica.
- Resistencia al desgaste mecánico.

### CLASES DE LADRILLOS REFRACTARIOS

Los más conocidos son:

Arcillosos (sílico-aluminosos)

Aluminosos (Alta Alúmina)

Acidos (sílice)

Básicos (magnesita, cromita, dolomita)

Ladrillos especiales (Carborundum, carbón)

En el siguiente cuadro se menciona las características principales de los refractarios.

CUADRO Nº 26: CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE REFRACTARIOS

Arcillosos Silico-Aluminoso	T. de Trabajo °C 1350-1450	Comp. aprox. SiO <sub>2</sub> = 52% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 43%
Aluminosos Alta - alúmina	1 450 - 1 600	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 50% - 90% SiO <sub>2</sub> = 8 - 26%
Acidos Silice	1 660 - 1 700	SiO <sub>2</sub> = 96% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 1.0% CaO = 2.0%
Básicos Magnesita magnesita-cromo	1 480-1 680 1 480-1 590	MgO = 86 SiO <sub>2</sub> = 3% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 6% CaO = 3%
Cromo Cromo-Magnesita	1 290-1 430 1 480-1 680	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 38% MgO = 17% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 23% FeO = 15%
Especiales Carburundum Carbono		SiC = 85-9% SiO <sub>2</sub> = 7%-9% C = 70- 90%

### 5.5.2 REVESTIMIENTO DE LOS HORNOS

Los revestimientos de los hornos tienen la misión de contener la carga y de retener el calor, impidiendo su pérdida.

Las propiedades que deben reunir son:

- Punto de reblandecimiento elevado.
- Resistencia a la abrasión.
- Resistencia mecánica a toda temperatura.
- Coeficiente de dilatación reducido.
- Escasa conductividad térmica.

Para las paredes y bóvedas de los hornos suele convenir el empleo de materiales refractarios de baja conductividad eléctrica.

De los ladrillos enunciados anteriormente, se escogerán de acuerdo al tipo de ferroaleaciones a producir. (La mayoría de hornos eléctricos tiene un revestimiento básico, consistente en materiales de  $MgO$ )<sup>(28)</sup>.

Las principales partes donde van revestimiento en estos hornos :

- La solera del horno,
- Las paredes
- La bóveda.

Para la construcción de la pared se usa planchas de fierro, sobre éstas se coloca hojas de amianto, sobre el amianto una chapa de chamota y finalmente la capa de ladrillos principal.

Las dimensiones de estos materiales son de acuerdo al diseño así tenemos:

Los refractarios para dos aleaciones de fierro

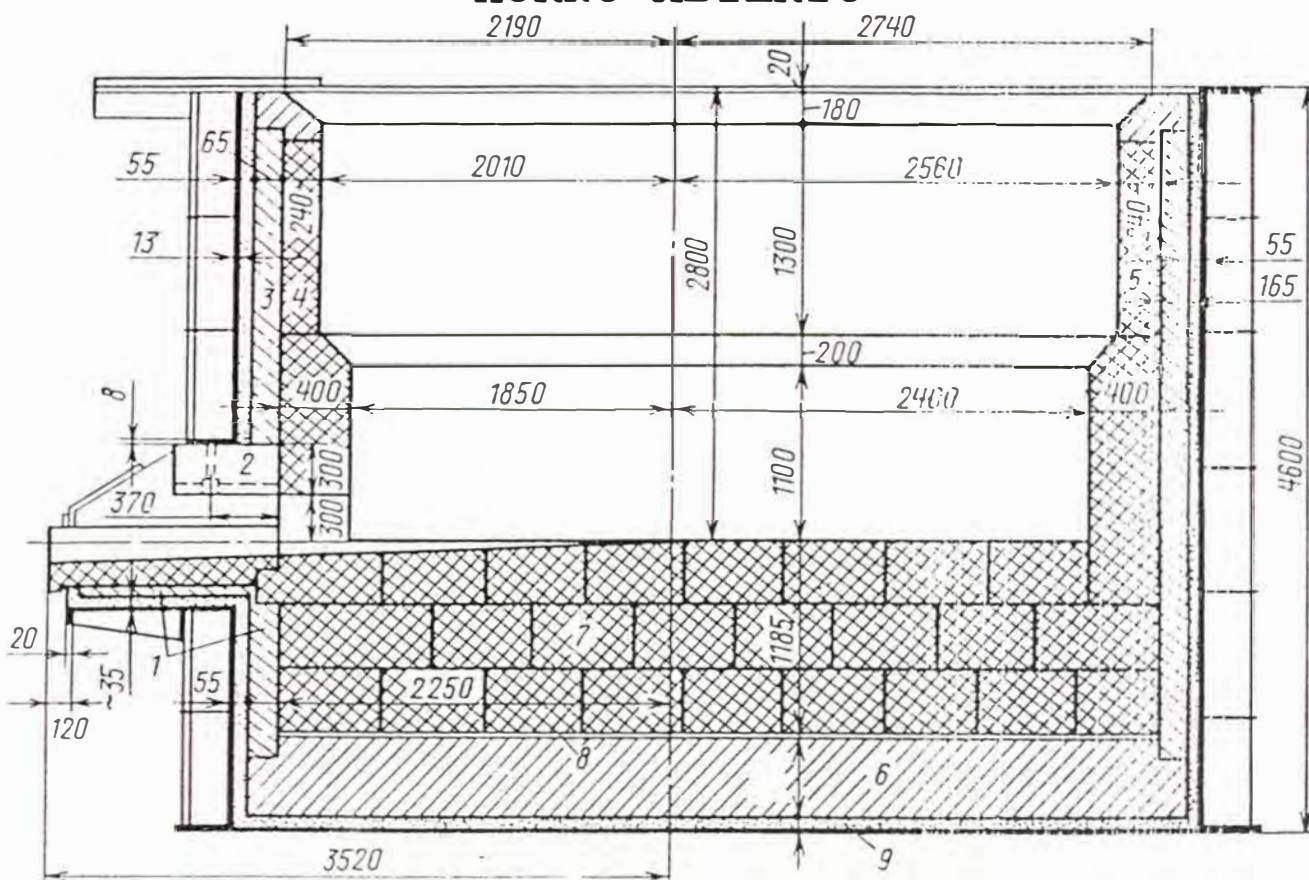
Para fusiones de aleaciones del ferro-silicio y de ferro-manganeso al carbono se emplea ladrillo de carbono.

Para fusiones del ferro-cromo se usa ladrillo de magnesita y cromo magnesita.

En general para casi todas las ferroaleaciones se usa ladrillos de carbono, el autorevestimiento es la parte más importante y este esta formado por la parte de la carga en una etapa intermedia de fusión.

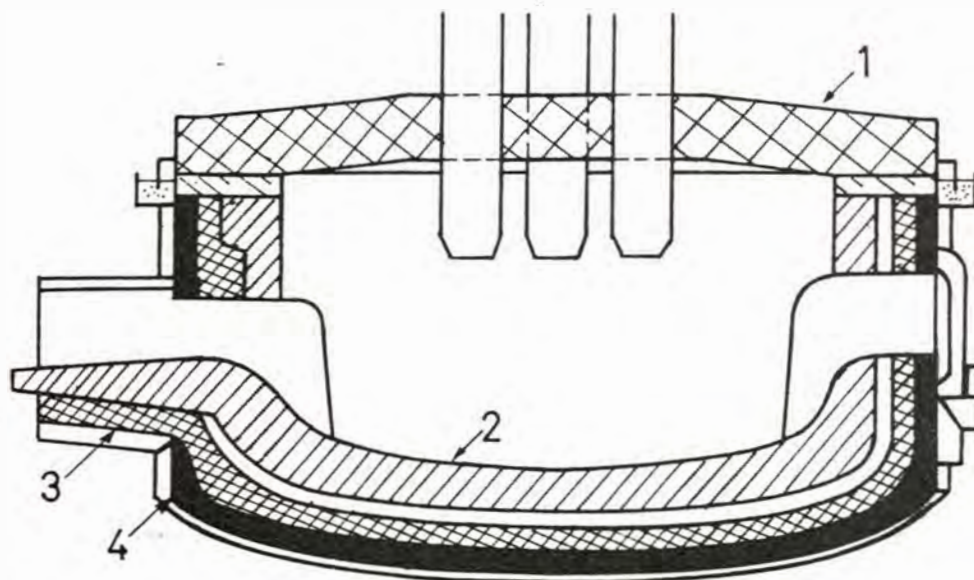
En las figuras 22a y 22b se pueden ver estructura, ladrillo y revestimiento de los hornos.

**FIG.N°22a: UBICACION DE LOS LADRILLOS EN UN HORNO ABIERTO**



- a) 1,2,3,4,5,6 LADRILLOS DE CROMO - MAGNESITA
- 7 BLOQUES DE CARBONO
- b) 1 ALTA ALUMINA
- 2 BLOQUES DE CARBONO
- 3 LADRILLOS DE MAGNESITA
- 4 LADRILLO DE ARCILLA

**FIG.N°22b: UBICACION DE LOS LADRILLOS EN UN HORNO CERRADO**



### 5.5.3. ESTRUCTURAS METALICAS DE LOS HORNOS

Existen dos estructuras básicas:

1.- La caja de la cuba, la cual es de planca de acero o fierro fundido previamente roladas de tal forma que adopten la forma de la cuba. Generalmente esta caja de la cuba no es soldada sino que queda una separación para la dilatación. (Resaltadas en la fig. N<sup>o</sup> 23)

2.- La segunda estructura metálica lo forma un conjunto de mecanismos del porta-electrodo, el cual está constituido por los ejes, vigas, platinas, columnas, y elementos de unión. Todos los materiales son de fierro pueden verse algunos perfiles en la fig. N<sup>o</sup>24.

### 5.5.4 MATERIALES PARA EL TECHO (Hornos Cerrados)

La finalidad principal de la bóveda es impedir las pérdidas de calor y canalizar los humos, gases, partículas finas para su tratamiento posterior.

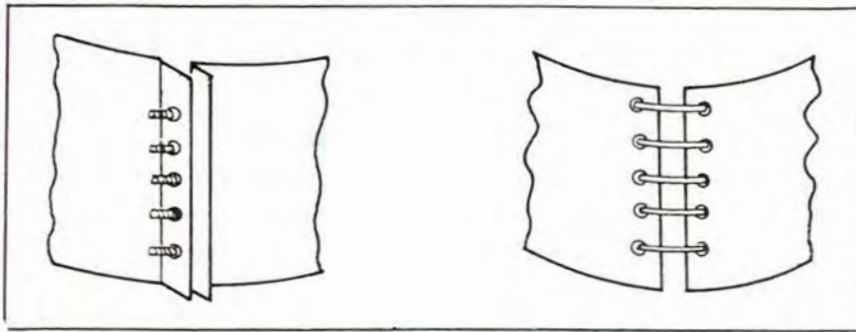
La bóveda adquiere la forma de la Cuba. El borde de la bóveda que hace contacto con la bóveda de la cuba es de fierro y esta refrigerada para que no se recaliente. La bóveda y un corte seccional del anillo se ve en la fig. N<sup>o</sup> 25.

Sobre el anillo se asientan los ladrillos refractarios los cuales por su diseño permiten dar la forma adecuada que se desea (generalmente tiene forma de casquete).

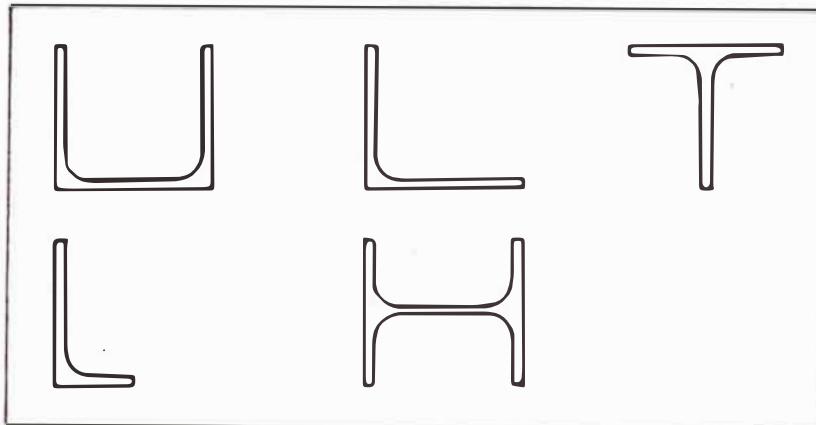
La bóveda tiene varias entradas para carga de los reactantes, las salidas para los humos calientes (chimenea) y la entrada para el o los electrodos.



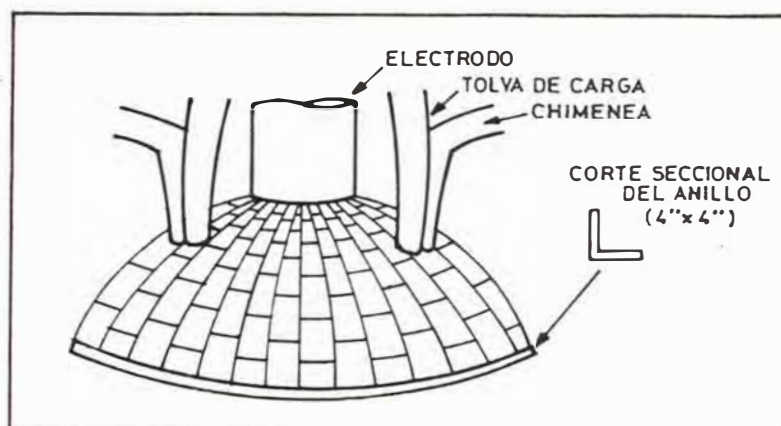
**FIG.N°23: FORMAS DE UNIONES PARA LA CUBA**



**FIG.N°24: TIPOS DE PERFILES USADOS PARA EL PORTAELECTRODO**



**FIG.N°25: BOVEDA (MOSTRANDO 4 PARTES)**



La chimenea es importante para los hornos cerrados y abiertos ya que impide la dispersión de los humos, permite su captación y tratamiento. Recordemos que los humos contienen gases y polvos lo cual hace necesario su purificación para no contaminar el medio ambiente.

**5.5.5 CIRCUITOS ELECTRICOS.-** Para la producción de Carburo de Calcio, como de las ferroaleaciones el horno eléctrico necesita de elevadas intensidades (del orden de los 10 000 A a 30 000 A y en los modernos hornos hasta los 100 000 A); el voltaje varía dentro de un rango de 45 V a 250 V, dependiendo del diseño del horno.

El circuito eléctrico se inicia en la subestación de la sub-estación (transformadores primarios) sale el fluido eléctrico con un alto voltaje (10 000 V ó más) y un bajo amperaje (50 A aprox.). De aquí la corriente se dirige a un transformador secundario de donde sale el fluido eléctrico con elevada intensidad (10 000 A o más) de acuerdo a lo que requiere el diseño del horno y bajo voltaje (pudiendo ser de 45 V a 250 V). Los transformadores secundarios son diseñados de acuerdo a las necesidades y condiciones del horno.

Para la salida del transformador secundario se emplean barras-omnibus (barras fijas) luego las barras flexibles las que se empalman hasta los soportes del electrodo. Estas barras-omnibus conducen la corriente desde el transformador hasta los electrodos. Existen dos formas de barras-omnibus, pudiendo ser de sección rectangular o de sección circular, el material en lo general es de cobre, bronce (80% de Cu y 20% de Zn) ó aluminio.

Con la excepción de E.E.U.U., la mayoría de países utiliza el cobre puro y la forma más usada es la sección rectangular, ya que permite mejores uniones y mayores facilidades de instalación. El espesor de estas barras no sobrepasan los 6 mm y su ancho puede ser de hasta 25 mm. Las dimensiones adecuadas deben calcularse en base a la densidad de corriente que deben soportar. La

disposición de las barras también es importante y debe ser tal que minimize la generación de corrientes parásitas las barras flexibles son las que se empalman al anillo porta-electrodo. Los conductores eléctricos necesitan ser refrigerados para evitar el recalentamiento y su deterioro.

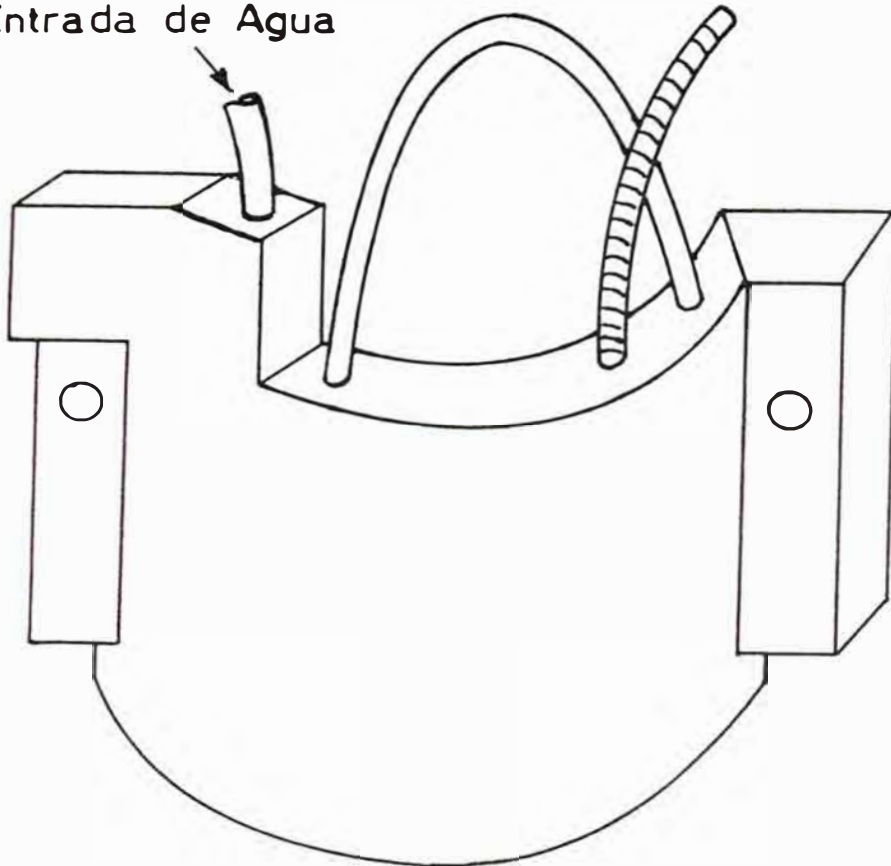
Así algunos cables que pasan por zonas muy calientes son del tipo coaxial y enfriados interiormente por aceite.

Para formar el arco la corriente llega a un porta-electrodo que tiene la forma de un anillo, (mostrado en la fig. N<sup>o</sup> 26a).

La corriente a la solera es transmitida por las barras omnibus fijas al electrodo interior, (resaltadas en la Fig.N<sup>o</sup>26b)

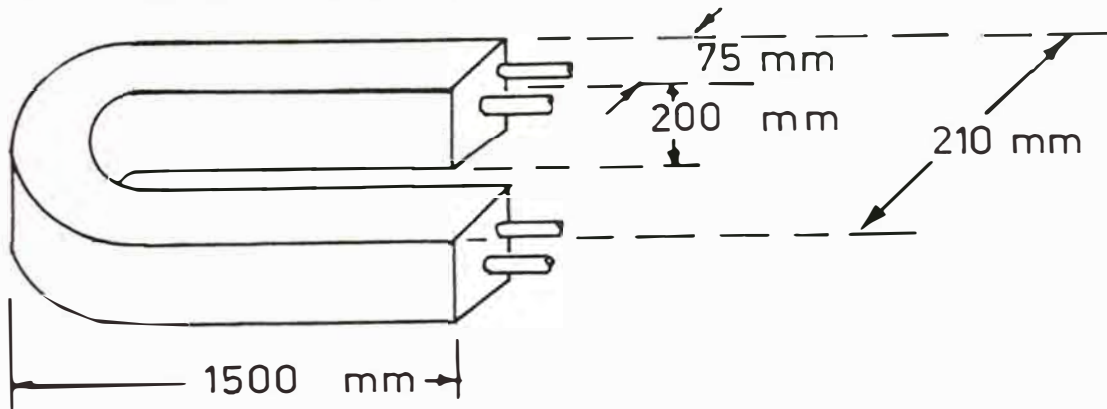
**FIG.N°26a: ANILLO PORTAELECTRODO**

Entrada de Agua



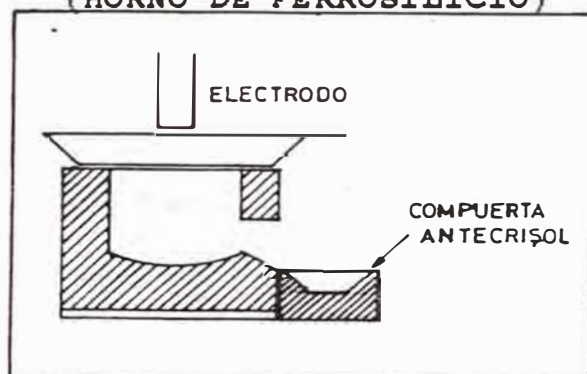
**FIG.N°26b: BARRA SOLERA**

MATERIAL BRONCE



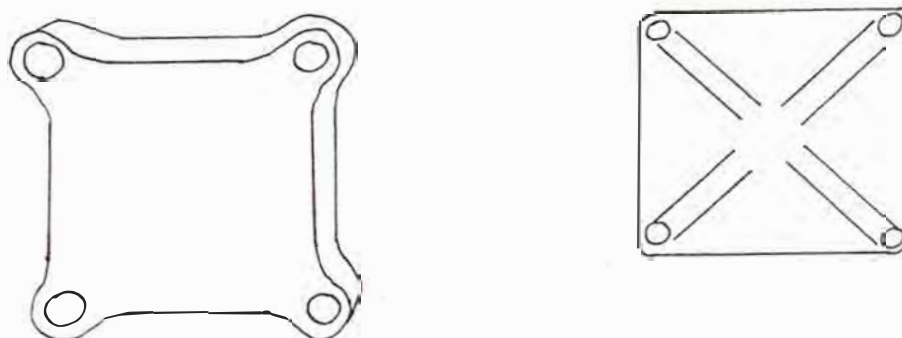
**FIG.N°28: PICO DE COLADA**

(HORNO DE FERROSILICIO)



Las uniones para empalmar los conductores son de cobre o de bronce, los más utilizados son los pernos y tuercas; pero también hay otros elementos diseñados especialmente para permitir un buen contacto, siendo una característica de ellos que no poseen puntas por donde pueda fluir la corriente. (mostrado en la Fig. N° 27).

**FIG.N°27: UNIONES PARA EMPALMAR LOS  
CONDUCTORES**



Los hornos de Carburo de Calcio y ferroaleaciones necesitan formas distintas de mecanismos para hacer el sangrado del producto. Así para el carburo de calcio se usa un arco secundario auxiliar, para perforar el autorrevestimiento y así sangrar el carburo de calcio.

Esta línea también se realiza con barras omnibus y las barras flexibles y su punto final queda cerca al pico de colada (esta línea viene del electrodo superior).

Este arco se forma haciendo contacto con una pertiga de fierro.

Generalmente las plantas contarán con indicadores de voltaje y amperaje para poder trabajar con parámetros adecuados.

### 5.5.6 ACCESORIOS

El tipo y cantidad de los accesorios depende básicamente de lo moderno que sea el horno, pero en términos generales podemos mencionar:

LINGOTERA.- Este es un recipiente de fierro en el cual se recibe el producto fundido. Su construcción debe ser maciza. Su forma puede ser variable.

PICO DE COLADA.- Canal de hierro fundido por donde sale el carburo o la ferroaleación a la lingotera. Para las ferroleaciones el pico de colada es distinto ya que el material fundido es muy fluido y no se solidifica tan rápido como el carburo. Un tipo de pico de colada para ferrosilicio se observa en la fig. N<sup>o</sup> 28. <sup>(29)</sup>

Los hornos grandes tienen varios tipos de colada.

Otros Accesorios pueden ser:

Enfriadores de agua, para reciclar el agua de los intercambiadores.

Balanzas automáticas de carga.

Elevadores de lingote.

Quebrantadoras de lingote.

## CAPITULO 6

### DISEÑO DE HORNOS PARA FERROCALEACIONES Y CARBURO DE CALCIO

#### 6.1. CALCULO DE LA CAPACIDAD DEL HORNO

La capacidad del horno lo calcularemos tomando como base la producción del carburo de calcio, ya que este tiene mayor demanda, tanto en el mercado interno como dentro del Pacto Andino en comparación de las ferroaleaciones, que su demanda es menor. Además en nuestro país ya existen fábricas que producen el carburo de calcio en poca escala y una sola que intenta producir ferroaleaciones. Hemos tomado como producción inicial 12 Tn/día por horno para el carburo de calcio, de acuerdo al estudio de mercado, considerando las importaciones, producción nacional y un crecimiento del mercado.

Con esta producción tendremos, una secuencia de lingotes, dándole un tiempo máximo para cada colada de 2 horas, entonces el peso de cada lingote por colada será:

$$\text{Producción diaria} = 12 \text{ Tn}$$

$$\text{Peso lingote} = 1 \text{ Tn}$$

Con el tiempo de 2 horas se obtiene un carburo comercial de 85% de pureza como mínimo. (Esto cumple con la especificación de la Norma N.T.P. (311,257 - 1 982) y JIS (K 1 901 - 1 983).

Para el cálculo del balance de materiales tendremos entonces que partir de la ecuación global de la reacción. Recordando que de los 1 000 kg. sólo 850 son de carburo de calcio puro:



El balance depende fundamentalmente de la pureza de los reactantes, así para cada reactante experimentalmente se ha encontrado la siguiente pureza promedio:

$$\text{CaO} = 85\%$$

$$\text{C} = 65\%$$

$$C = 65\%$$

La cantidad de Cal (CaO) y Carbón (C) que debe cargarse para una tonelada de Carburo de Calcio ( $\text{CaC}_2$ ) de 85% se hará, tomando en cuenta:

- En primer lugar calcularemos que cantidad de material puro será necesario.
- En segundo lugar consideraremos su pureza.
- Por último el exceso que se va agregar de cada material.

a. CAL (CaO) :

$$W_{\text{CaO}} \text{ puro} = 56 \cdot 1\,000 \cdot 0,85 / 64 = 743,7 \text{ Kg}$$

Considerando el grado de pureza

$$W_{\text{CaO}} = 743,7 / 0,85 = 875 \text{ Kg}$$

Con un 30% de exceso de carga se tendrá la siguiente cantidad de cal a utilizar:

$$W_{\text{Cal}} = 1137,5 \text{ Kg de carbón}$$

b. CARBON (C):

$$W_c \text{ puro} = 36 \cdot 1\,000 \cdot 0,85 / 64 = 478,1 \text{ Kg}$$

Considerando su grado de pureza (65%)

$$W_c = 735,6 \text{ Kg}$$

Finalmente con el 30% de exceso tendremos:

$$W_{\text{carbón}} = 956,3 \text{ Kg}$$

Conocidas las cargas de cal y carbón, en seguida se procede a calcular el volumen que ocupa esta carga, agregándole a ello el volumen que se produce al desplazarse con el electrodo.

En conjunto este volumen debe ser inferior al volumen total de la cuba.

Los volúmenes de la carga son calculados en base a las densidades aparentes (DA) de las mismas las cuales han sido tomadas en planta bajo normas ASTM, los resultados de las mismas son:



$$DA_{CaO} = 0,510 \text{ Kg/l}$$

$$DA_c = 0,367 \text{ Kg/l}$$

$$V_{Cal} = 2\,230,40 \text{ l} = 2,23 \text{ m}^3$$

$$V_c = 2,61 \text{ m}^3$$

El volumen total de la carga será:

$$V_{carga} = 2,23 + 2,61 = 4,84 \text{ m}^3$$

A este volumen de la carga hay que sumarle el volumen que desaloja el electrodo para lo cual se ha encontrado un diámetro de 0,85 m. (página 130).

$$d_e = 0,85 \text{ m}$$

$$V_{electrodo} = (\pi/4) d_e^2 h$$

El máximo volumen que desaloja el electrodo será cuando choque con la solera (lo cual se presenta solo cuando hay un arranque del horno). En este punto la altura es la misma que el de la cuba siendo este de 1,7 m (pág. 132).

$$h = 1,7 \text{ m} ; \quad V_{electrodo} = 0,965 \text{ m}^3$$

Debe notarse que el horno es semicontínuo, por lo cual en todo momento está a plena carga. El volumen total ocupado por la carga y el electrodo será:

$$V_{ocupado} = 4,84 + 0,965 = 5,805 \text{ m}^3/\text{batch}$$

El volumen de la cuba vacía con las dimensiones halladas en el capítulo VI es:

$$V_{vacío} = \pi/4 D^2 H ; D = 2,90 \text{ m (Pag. 132 cap. 6.6)}$$

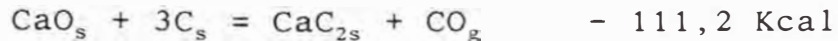
$$V_{vacío} = 11,23 \text{ m}^3 = V_{ocupado}$$

El volumen de la carga es tan solo casi el 52% de la capacidad máxima. La capacidad del horno es de 12Tn/día con un volumen de 2 veces (un batch) para cada colada lo cual es satisfecho por el volumen vacío de la cuba.

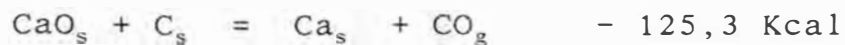
## 6.2. CINÉTICA DE LAS REACCIONES

A continuación se detalla un resumen sobre la cinética. La reacción transcurre en un sistema sólido-líquido<sup>(30)</sup>.

Las ecuaciones de la reacción para la fabricación del carburo de calcio son:



La primera etapa de la reacción para la formación del carburo de calcio es la producción de calcio metálico.



Gel'd<sup>(31)</sup>, considera que en adición a este camino para la producción de  $\text{CaC}_2$ , hay otro mecanismo envuelto a esta reacción entre fases líquidas y sólidas presentes.

Inoue<sup>(31)</sup>, considera que la cal ( $\text{CaO}$ ) y el carbón ( $\text{C}$ ) forman una solución sólida antes de reaccionar.

La reacción es reversible. La presión de equilibrio del vapor de calcio es 0,001 mm a 1 100<sup>0</sup>C, a 0,04 mm a 1 300<sup>0</sup>C y 0,7 mm a 1 500<sup>0</sup>C.

La reacción violenta es impedida si hay una presión alta de  $\text{CO}$ .

La energía de activación (para la reacción violenta de 2-3 mm de presión en el cual no hay una formación de  $\text{CaC}_2$ ) depende de la naturaleza del  $\text{CaO}$  y  $\text{C}$ .

El porcentaje de reacción es proporcional al área de contacto entre el  $\text{CaO}$  y  $\text{C}$ , hay por eso una altísima velocidad de reacción en los trozos comprimidos del polvo fino (lo cual explica las explosiones que se produce cuando se usa polvo lo cual es muy riesgoso para el personal que opera).

La segunda etapa de la formación del carburo de calcio es expresado.



La reacción es rápida a 1 600<sup>0</sup>C, pero es lenta a 1 300<sup>0</sup>C. El porcentaje (X) ha sido medido a 850<sup>0</sup>C en argón y expresado como:

$$X^2 = Kt + \text{Const.}$$

Con  $K=0,0155 \text{ min}^{-1(32)}$  para grafito y  $K=0,0077 \text{ min}^{-1}$  para carbón vegetal.

El factor controlante del avance es la velocidad de difusión de vapor del calcio, a través de las capas de carbono formado en la superficie del carbón. La reacción es reversible; la descomposición del  $\text{CaC}_2$  en sus elementos se incrementa con la temperatura y es rápida a 2 200<sup>0</sup>C.

La descomposición del carburo técnico se ha establecido a 2 - 3 mm de presión a 1 130 - 1 150<sup>0</sup>C. Con una energía de activación (sobre 1 500<sup>0</sup>C) de 57,6 Kcal/mol.

La cinética de la formación del carburo de calcio ha sido también estudiado por otro investigador<sup>(30)</sup> como una reacción sólido-sólido usando un balance térmico a 1 600 - 1 800<sup>0</sup>C y 50, 100, 200 mm de mercurio de CO.

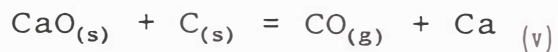
La cinética la ha expresado como:

$$(1 - (1 - X)^{1/3})^2 = Kt. (30)$$

La velocidad de reacción es frecuentemente dependiente de la presión de CO y es gobernado por la razón de difusión del gas a través de las capas del producto, también como por la difusión de sólido.

La descomposición del  $\text{CaC}_2$  ocurre en la superficie y es una reacción de orden cero, aproximadamente lineal con el tiempo.

La determinación del mecanismo de formación del carburo de calcio a partir de sus reactantes cal y carbón partiendo de una mezcla de composición  $\text{CaO}/3\text{C}$ , fué realizado en un horno eléctrico al vacío, bajo la presión de unos pocos mm Hg. La reacción es:



Empieza a 1 200<sup>0</sup>C, el  $\text{CaC}_2$  no se produce ligeramente por encima a 1 300<sup>0</sup>C el  $\text{Ca}$ (vapor) reacciona con el carbono para formar  $\text{CaC}_2$ . A 1 600<sup>0</sup>C la reacción es vigorosa, pero cuando el horno es bien evacuado la reacción no procede porque la presión de vapor de calcio es reducida.

Si la presión parcial del  $\text{CO}$ ,  $p_{\text{CO}}$  es demasiado alta, la primera reacción es reversible. Para preparar rápidamente  $\text{CaC}_2$  calentar  $\text{CaO}$  y  $\text{C}$  encima de los 1 500<sup>0</sup>C bajo presión total ( $p_{\text{CO}}+p_{\text{C}}$ ) de 30-100 mm Hg.<sup>(33)</sup>.

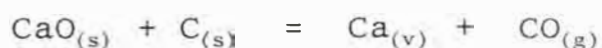
A continuación presentamos un mecanismo supuesto para la formación del carburo de calcio ( $\text{CaC}_2$ ), teniendo como sistema una reacción líquido-líquido.

Para este mecanismo partimos que la reacción procede en dos etapas:

### 6.3. MECANISMO DE LA CINÉTICA DE LA REACCIÓN (SUPUESTO)

Los investigadores han sugerido que las reacciones sucedan en 2 etapas, siendo la siguientes:

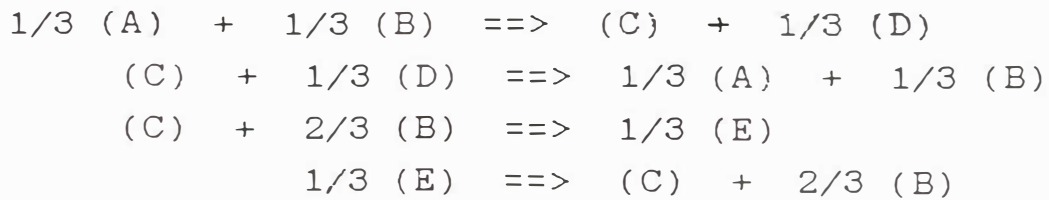
La primera etapa de la formación del carburo es:



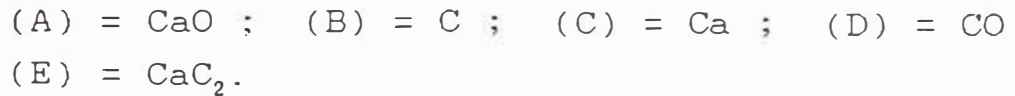
La Segunda etapa de la formación del carburo es:



Planteando el mecanismo de la siguiente forma:



Donde :



Encontramos la velocidad de cada ecuación:

$$\begin{aligned} r_1 & = K_1 (A)^{1/3} (B)^{1/3} \\ r_2 & = K_2 (C) (D)^{1/3} \\ r_3 & = K_3 (C) (B)^{2/3} \\ r_4 & = K_4 (E)^{1/3} \end{aligned}$$

Obtenemos la velocidad de formación de (E).

$$r_E = \frac{K_1 K_3 (B) (A)^{1/3}}{K_2 (D)^{1/3} + K_3 (B)^{2/3}}$$

Este mecanismo es considerado  $r_4 = 0$

#### 6.4. PARTE EXPERIMENTAL

OBJETIVO.- La parte experimental tiene por finalidad:

1. Comprobar el tiempo óptimo de reacción,
2. Obtener un producto de la mejor calidad,
3. Buscar el amperaje adecuado de trabajo para el horno.

La parte experimental se realizó en un horno de arco eléctrico de 550KVA (CIA CARBOTERMICA) destinado para la producción de carburo de calcio, teniendo los siguientes parámetros y variables:

- Tiempo : 2 horas
- Temperatura promedio del horno : 2 000<sup>0</sup>C
- Amperios de trabajo : 7 000, 8 000, 9 000 y 10 000
- Tensión de trabajo : 40 - 45v
- Fluido de refrigeración(agua), prom : 32,5<sup>0</sup>C
- Materias primas usados : cal (85%) y carbón(65%)
- Rendimiento del carburo : Resumido en el cuadro N° 30 (Analizado en el laboratorio)

Las condiciones de refrigeración del horno son:

a. Solera Conductora.

CUADRO Nº 27: FLUJO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO

Tubo superior V(cm <sup>3</sup> )	Tiempo (s)	T <sub>prom(salida)</sub> = 48°C (l/s)
3 620	14,0	0,258
3 900	14,2	0,275
2 425	9,0	0,269
Q = 0,2669 l/s		

Tubo inferior V(cm <sup>3</sup> )	Tiempo (s)	T <sub>prom(salida)</sub> = 42°C Q (l/s)
2 810	6,0	0,4683
3 160	7,0	0,4510
2 925	6,2	0,4720
Q = 0,4636 l/s		

El flujo de agua de enfriamiento para un tiempo de 2 horas:

$$Q = 3338,5 \text{ l/2hr}$$

### b. Anillo porta electrodo

El agua de enfriamiento para el anillo porta electrodo recibe el agua de dos pozos diferentes los cuales se encuentran a diferentes temperaturas:

$$T_1 \text{ (Pozo 1)} = 37^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 \text{ (Pozo 2)} = 28^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{prom}} = 32,5^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{prom(salida)}} = 53,5^{\circ}\text{C}$$

CUADRO N° 28: FLUJO DE AGUA DE ENFRIAMIENTO DEL ANILLO

PROM (SALIDA) = 53,5° C		
V (cm <sup>3</sup> )	t (s)	Q (l/s)
385	12,2	0,31557
3 810	12,0	0,31750
2 130	7,0	0,30420
Q = 0,312451 l/s		

$$Q = 2\ 249,6 \text{ l/2horas}$$

El Q<sub>prom.</sub> total de refrigeración:

$$Q_{\text{prom t.}} = Q_{\text{solera}} + Q_{\text{anillo}}$$

$$Q_{\text{prom t.}} = 5\ 588,1 \text{ l/2hr}$$

### COMPOSICION DE LOS REACTANTES:

CAL.- La cal usada en la reacción, es cal viva de una composición promedio de 85% de CaO (Cal útil).

CARBON.- El carbón es de naturaleza vegetal con una pureza promedio de 65% de carbono fijo.

Las cargas de reacción, proporciones, amperaje, etc. Son tabuladas en los cuadros resumen (cuadro N°29) los cuales darán los rendimientos (producción de acetileno) versus tiempo (cuadro N° 30).

**CAPÍTULO III: ESTADOS DE RESULTADOS DEL EJERCICIO  
DE RESULTADOS CONSOLIDADOS**

<b>CORRIENTES</b>	<b>CAMBIO (M\$)</b>	<b>IMPORTE CALIFICADO</b>	<b>RESERVA A</b>	<b>PESO PROP. (M\$)</b>	<b>IMPORTE DEL CORRIENTE</b>	<b>PROYECTA MILLAS</b>
1	392,90	216,00	9 000	192,00	48,90	3 334,00
2	393,40	236,00	10 000	212,00	54,40	3 382,10
3	396,30	227,00	7 000	170,00	52,00	3 252,70
4	394,20	216,00	7 000	186,00	47,20	3 240,40
5	412,20	236,00	8 000	236,00	57,20	3 527,00
6	432,00	236,00	9 500	250,00	57,00	3 420,00

FUENTE: DATOS CORRIDOS EN LA COMISIÓN CALIFICADORA S.A.

(\*) Los diagramas de comportamiento del honor a 95% exp. se muestran en los siguientes Figuras No 29, 30, 31.



FIG. N° 29 DIAGRAMA DE VARIACION DE CORRIENTE

CARBOTERMICA S.A.

Fecha: Jun. 15-07-91

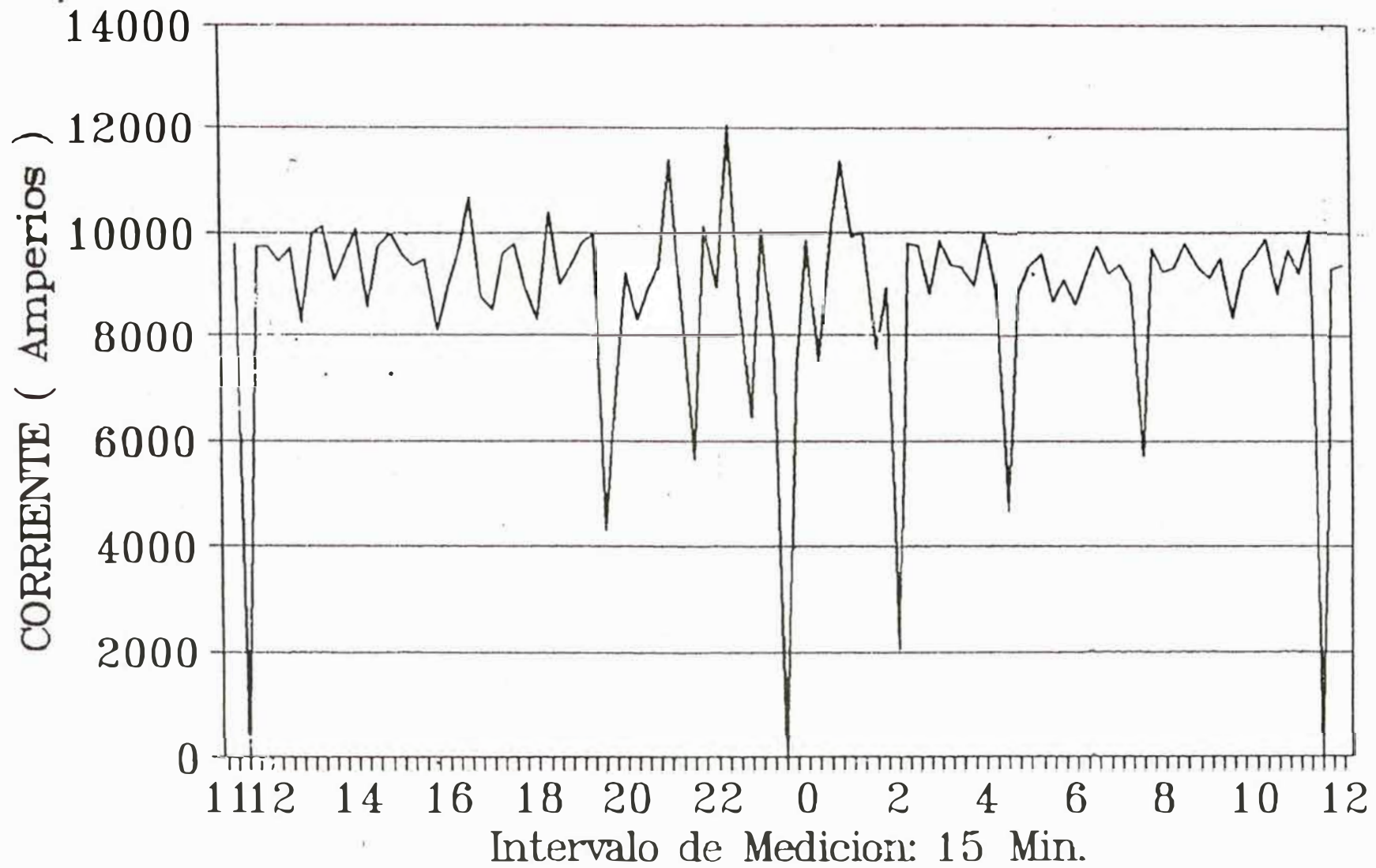
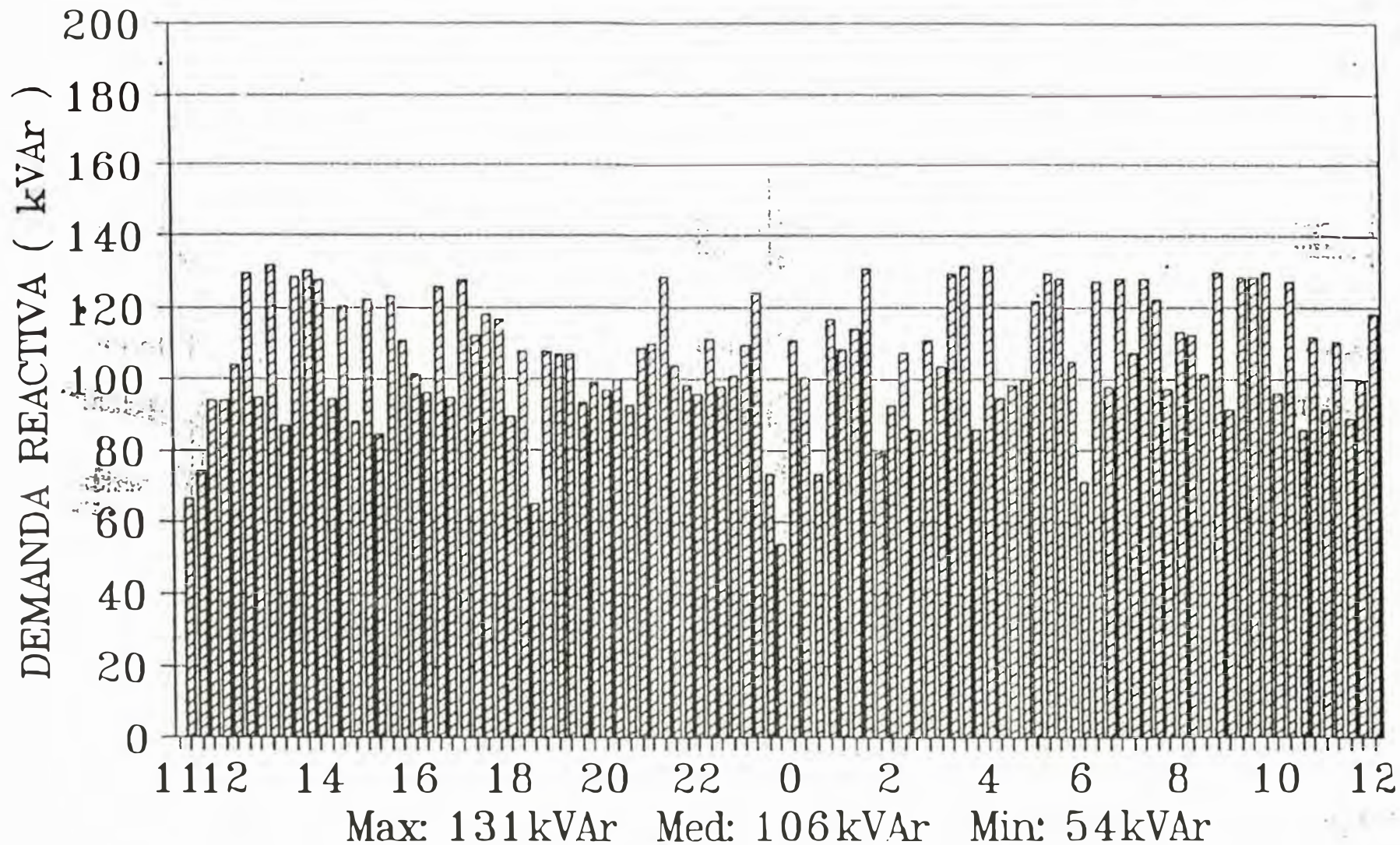
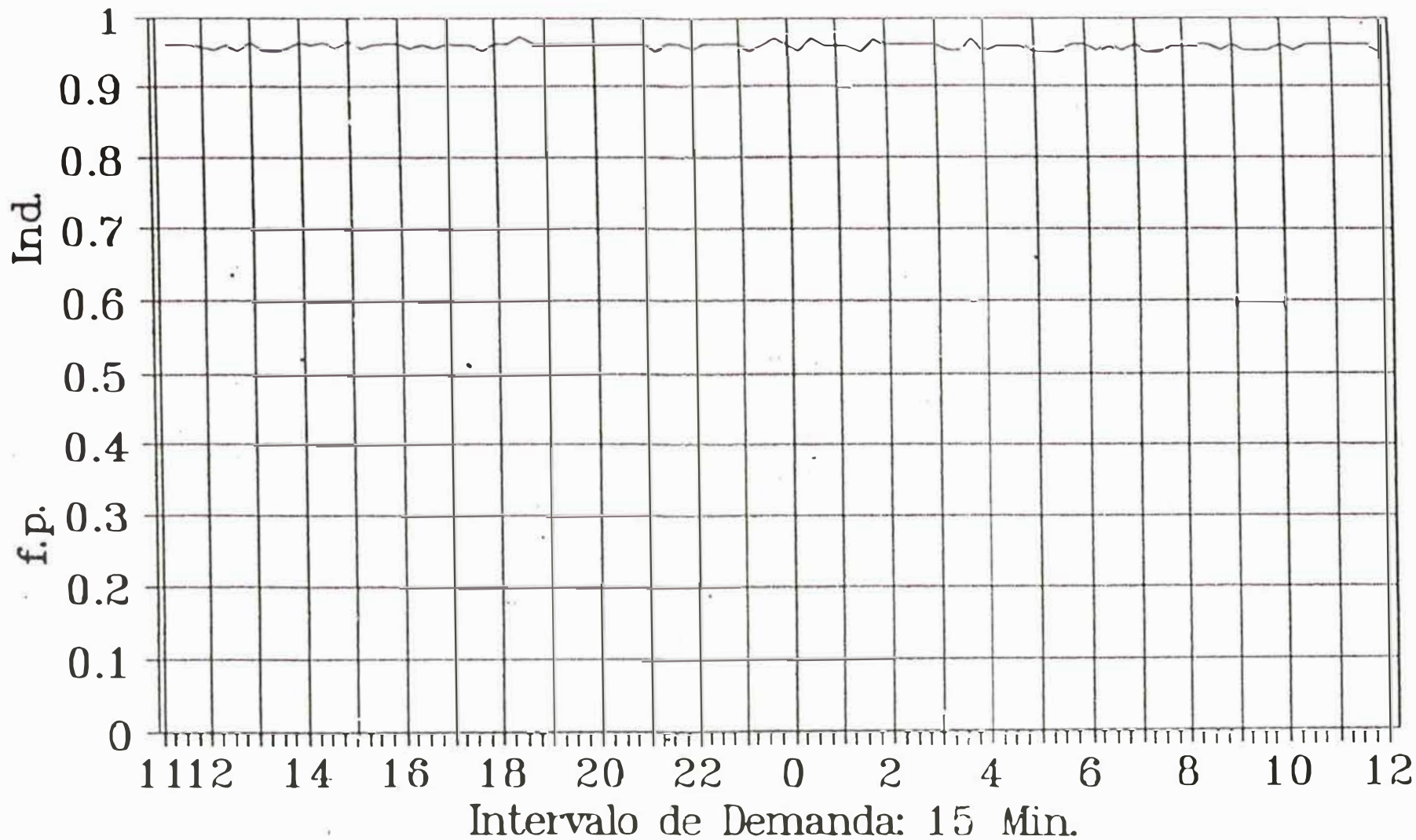


FIG. Nº 10 : DIAGRAMA DE REACTIVA HORNO 1



 E.R.: 2648kVArh-25H

FIG. N° 31: DIAGRAMA DE FACTOR DE POTENCIA



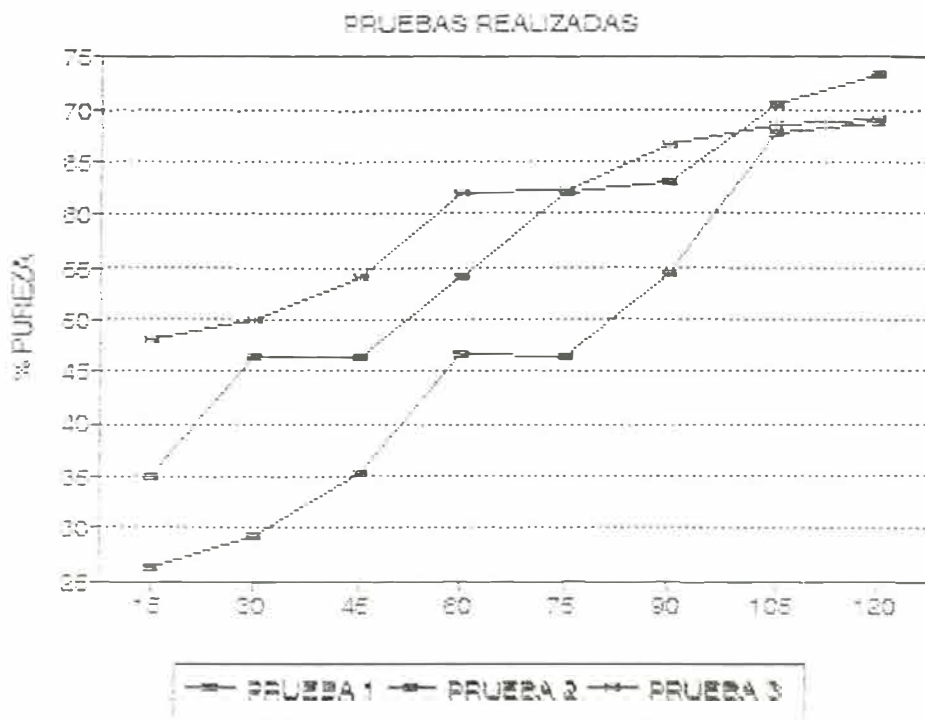
— FACTOR DE POTENCIA

CUADRO N°30: RESUMEN CINETICO DE LAS PRUEBAS DE RENDIMIENTO

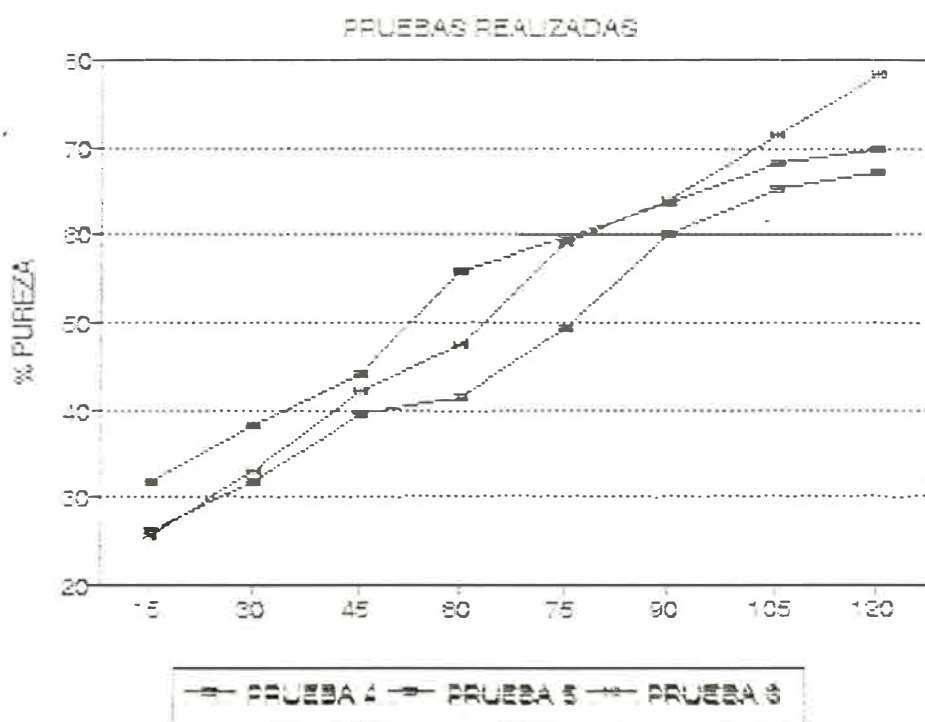
TIEMPO (min)	CORRIDA (1) % C2H2	CORRIDA (2) % C2H2	CORRIDA (3) % C2H2	CORRIDA (4) % C2H2	CORRIDA (5) % C2H2	CORRIDA (6) % C2H2
15	35,00	26,30	48,00	31,75	26,20	25,40
30	46,50	29,30	50,00	38,20	31,70	33,00
45	46,50	35,20	54,00	44,00	39,40	42,00
60	54,00	46,60	61,90	56,00	41,40	47,50
75	62,00	46,50	62,30	59,80	49,20	59,10
90	63,50	54,20	68,50	63,75	60,00	64,20
105	70,40	67,80	68,50	68,20	65,30	71,70
120	73,50	68,80	69,00	70,00	67,40	78,40
135						82,00
150						83,00
165						88,00
180						92,00

FUENTE: DATOS CORRIDOS DE LA COMPAÑIA CARBOTERMICA S.A  
(VER FIGURAS 32, 33)

**FIG.N° 32: RENDIMIENTO CINETICO I**



**FIG.N° 33: RENDIMIENTO CINETICO II**



## CONCLUSIONES:

Por los resultados hallados el horno debe trabajar bajo los siguientes parámetros:

Tiempo 2hrs

Rendimiento promedio(avance) 57,9 %

Calidad (medido como % de acetileno) de 78,4 %

Amperaje adecuado 9 500A

## 6.5. POTENCIA ELECTRICA NECESARIA A SUMINISTRAR AL HORNO

En este capítulo nos referimos al cálculo de la potencia del transformador, el cual será diseñado de acuerdo a las necesidades de producción tanto para carburo de calcio, como la de ferroaleaciones, eligiendo el que nos da la mayor potencia activa de ambos cálculos.

La producción y el volumen se calculará para el carburo de calcio debido a que sus reactantes tienen una baja densidad aparente y que por lo tanto nos dará el mayor volumen de la cuba.

Teniendo presente además que el volumen de el consumo de ferroaleaciones es poco a nivel nacional.

DATOS:

CUADRO N° 31: CONSUMO DE ENERGIA PARA  $\text{Ca}_2\text{C}_2$   
Y ALGUNAS FERROALEACIONES<sup>(34)</sup>

PRODUCTO	Kwh/Tn
Carburo de calcio comercial (80%)	3 000-3 500
Ferrosilicio (45% de Si)	5 500-6 000
Ferromanganeso (75-85% Mn)	3 500-4 000
Ferrocromo (70% Cr)	5 500-6 500

En los cuadros N° 32 y 33 se presentan el consumo de energía para la elaboración de varias ferroaleaciones, como comparación alternativos a otros productos.

**a. Análisis para los Ferroaleaciones**

Del cuadro N° 31 vemos que el mayor consumo específico de energía la posee el ferrocromo (de características indicadas en dicho cuadro).

Vamos a asumir que la máxima producción (es decir las 6 toneladas métricas) va ha ser de esta ferroaleación, aunque en realidad corresponde al ferrosilicio que es el que tiene el mayor consumo a nivel nacional.

Entonces haciendo uso de la siguiente fórmula<sup>(35)</sup>

$$P_t = \frac{F a}{24 K \cos(\alpha)}$$

Donde:

- F : Producción diaria = 6 Tn/día  
a : Consumo específico de energía = 5 500 Kwh/Tn  
K : Factor de carga transformador = 0,96  
Cos(α) : Factor de potencia = 0,87

Tomando como máximo 15 días de trabajo para mantenimiento (al año).

$$\cos(\alpha) = 0,87$$

Reemplazando en la Fórmula:

$$P_t = \frac{(6\text{Tn/día}) * (5\ 500\ \text{Kwh/Tn})}{(24\text{hr/día}) * (0,96) * (0,87)} = 1,646\ \text{Kw}$$

Dándole un 20% de sobredimensionamiento:

$$P_t = 1,646 * 1,2 = 1\ 975\ \text{Kw}$$

Redondeando el valor anterior:

$$P_t = 2\ 000\ \text{Kw}$$

b. Análisis para la fabricación de carburo de calcio.

Tenemos :

$$F = 12\ \text{Tn/día}$$

$$a = 3\ 500\ \text{Kwh/Tn}$$

$$K = 0,96\ (\text{similar a las ferroaleaciones})$$

$$\cos(\alpha) = 0,87.$$

Reemplazando valores en la fórmula :

$$P_t = \frac{(12\text{Tn/día}) * (3\ 500\ \text{Kwh/Tn})}{(24\text{hr/día}) * (0,96) * (0,87)} = 1\ 646\ \text{Kw}$$

$$P_t = 2\ 095\ \text{Kw}$$

Con un sobredimensionamiento del 20%.

$$P_t = 2\ 095 * 1,2 = 2\ 514\ \text{Kw}$$

Redondeando el valor anterior:

$$P_t = 2\ 500\ \text{Kw}$$

De los análisis el valor más alto de potencia del transformador corresponde al carburo de calcio, por lo cual será el valor que asumiremos para los otros cálculos.



CUADRO Nº 32: CONSUMO DE ENERGÍA NECESARIA PARA LA  
FABRICACIÓN DE ALGUNOS MATERIALES POR EL  
PROCEDIMIENTO CONTÍNUO<sup>(36)</sup>.

Carburo de calcio .....	3 000Kwh/tn
Fósforo.....	10 a 15 Kwh/tn
Escoria de titanio .....	3 500 a 4 000 Kwh/tn
Fundición .....	2 500 a 3 000 Kwh/tn
Ferromangan 75 a 80% de Mn ....	3 500 a 4 000 Kwh/tn
Silicomangan 70%/20%:Mn/Si ....	6 000 Kwh/tn
Ferrosilicio 45% de Si .....	5 000 a 6 000 Kwh/tn
Ferrosilicio 75% de Si .....	10 500 a 11 000 Kwh/tn
Ferrosilicio 90% de Si .....	14 500a 15 500 Kwh/tn

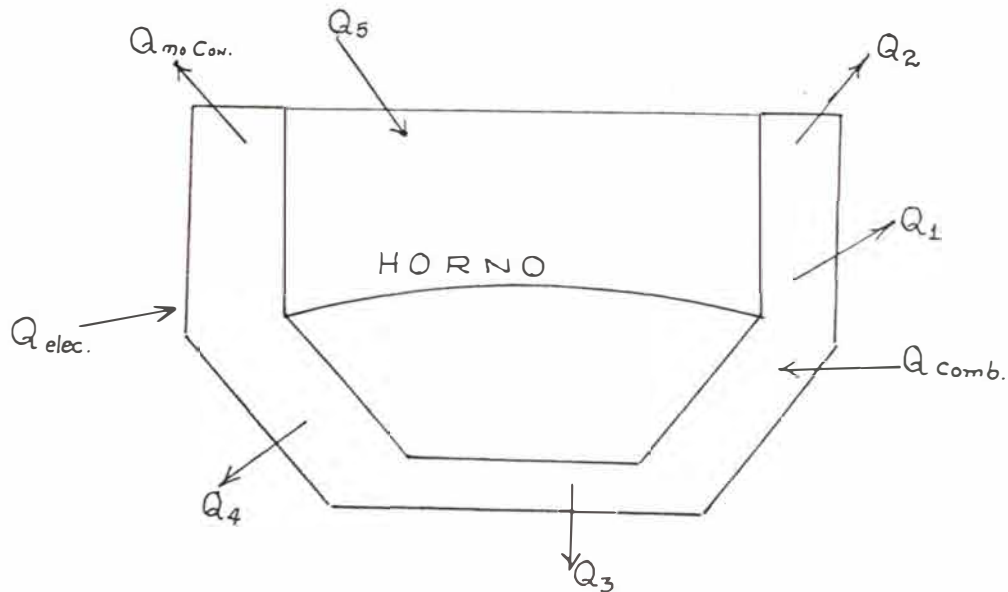
CUADRO Nº 33 : CONSUMO NECESARIO PARA LA ELABORACIÓN DE  
ALGUNOS MATERIALES POR EL PROCEDIMIENTO  
DISCONTÍNUO<sup>(36)</sup>.

Ferrocromo 4-8%/70%: C/Cr .....	6 500 Kwh/tn
Ferrocromo 1-4%/68%: C/Cr ....	8 000 a 9 000 Kwh/tn
Ferrocromo 0.02-0.1% de C ..	14 000 a 15 000 Kwh/tn
Ferromanganeso 1%/85%: C/Mn ...	8 000 a 9 000 Kwh/tn
Ferromolibdeno 0.1%/70%: C/Mo ..	7 000 Kwh/tn
Ferrotungsteno 1%/80%: C/W .....	8 000 Kwh/tn

## 6.6. BALANCE DE ENERGIA DEL HORNO

En este capítulo hacemos un balance de la distribución de la energía, tomando como sistema al horno teniendo a su alrededor al medio ambiente una temperatura promedio correspondiente. (Ver fig. 34).

**FIG. N° 34: BALANCE DE ENERGIA DEL HORNO**



### CALOR DADO AL SISTEMA

$Q_{elec.}$  = Calor que se produce por la formación del arco en la punta del electrodo.

$Q_{comb.}$  = Calor producido por la combustión del Carbón, que es parte de la mezcla de las materias primas (no se considera por ser pequeña)

$Q_5$  = Calor de reacción.

### CALOR QUE EL SISTEMA DA

$Q_1$  = Calor de los humos que salen del horno.

$Q_2$  = Calor perdido por las paredes laterales del horno.

$Q_3$  = Calor perdido por refrigeración con agua.

$Q_4$  = Calor de calentamiento de las materias prima.

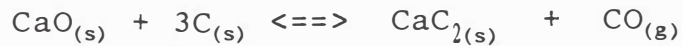
Para el balance de la energía en el horno debemos lograr que se cumpla:

$$Q_{elec.} + Q_5 + Q_{comb.} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

### CALOR DE LOS HUMOS (Q<sub>1</sub>)

Para el balance del calor de los humos lo haremos tomando como referencia los gases generados en el horno.

Del balance de materiales tenemos :



Tomando el peso real de materias primas y siguiendo las mismas proporciones en la ecuación estequiométrica, la cantidad de gas como CO generado en kilogramos es :

$$\text{CO} = 371,9 \text{ Kg}$$

Como la reacción empieza a 1 300<sup>0</sup>C, El CO formado sale a esta temperatura y se enfría a la temperatura del medio ambiente (25<sup>0</sup>C).

Este calor que se lleva el CO la evaluamos mediante la ecuación:

$$Q = m C_{pm} \Delta t$$

La capacidad calorífica es el promedio entre los dos extremos de temperaturas (25<sup>0</sup>C y 1 300<sup>0</sup>C)<sup>(38)</sup>, este calor específico ha sido evaluado de:

$$C_{pm} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} (A + Bt + Ct^2) dt}{T_2 - T_1}$$

El valor es :  $C_{pm} = 7,772 \text{ cal/mol gr } ^0\text{C}$

Entonces, reemplazando valores :

$$Q = [(371,9 \times 10^3) / 28] * 7,772 [(1 300 + 273) - (25 + 273)] * 10^{-3}$$

$$Q_1 = 131 617 \text{ Kcal} = 521 876 \text{ BTU/2hr}$$

## CALOR PERDIDO POR LAS PAREDES ( $Q_2$ )

Teniendo en cuenta la forma del horno que estamos diseñando el cual es de la forma cilíndrica (forma adoptada para la mayoría de hornos en el mundo), haremos los cálculos de transferencia de calor para cilindros coaxiales, también ciertas simplificaciones que permitan aproximarse razonablemente sin las cuales el cálculo sería bastante laborioso para resultados no siempre muy satisfactorios.

Para comenzar asumiremos que el calor que se disipa por las paredes es totalmente llevado por mecanismo de conducción, esto se debe a que la masa fundida que rodea al electrodo es muy viscosa y que por lo tanto el transporte de calor por convección es despreciable (este es el caso de un líquido estacionario).

$$\text{La ecuación es: } Q = (T_0 - T_1)/R$$

Donde R es la resistencia térmica (algo semejante a la resistencia eléctrica y puede adoptar una de las dos formas siguiente:

$$R_{\text{coa}} = \frac{1}{2 \pi r H h} \quad (\text{Si hay transf, por convección})$$

Donde : r = radio

H = Longitud del cilindro

h = Coeficiente de Transferencia de calor.

$$R_{\text{coa}} = \frac{1}{2 \pi H K} \quad (\text{Si hay transf, por conducción})$$

Donde: H = Longitud del cilindro

K = Conductiv. Térmica del calor del material.

Para los cilindros coaxiales se le añade otras capas de diversos materiales, entonces:

$$Q = \frac{T_0 - T_1}{R_1 + R_2 + R_3 + \dots} = \frac{T_0 - T_1}{R_t}$$

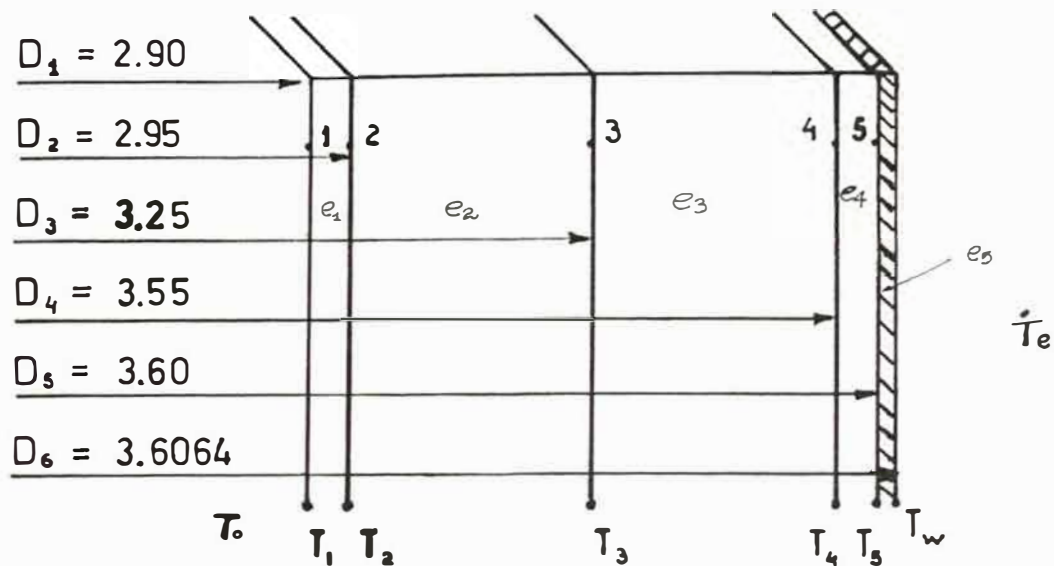
Donde :

$T_0$  = Temperatura interna

$T_1$  = Temperatura exterior

DIMENSIONES DEL ESPESOR DE PARED Y MATERIALES EN EL HORNO.

Fig. No 35 CORTE SECCIONAL DE LA PARED



ESPESOR DE LOS MATERIALES Y CARACTERISTICAS

1. Un refractario de alta-alúmina (REPSA CASTABLE 1- 76).

Máxima temperatura de trabajo : 1 750<sup>0</sup>C  
 Espesor de la pared :  $e_1 = 2,5$ cm  
 Conductiv. calorífica(BTU/hr ft <sup>0</sup>F) :  $K_1 = 0,4$

2. Un ladrillo refractario(REPSA CASTABLE SUPER)

Máxima temperatura de trabajo : 1 400<sup>0</sup>C  
 Espesor del ladrillo :  $e_2 = 15$  cm  
 Conductiv. calorífica(BTU/hr ft <sup>0</sup>F) :  $K_2 = 0,45$

3. Ladrillos refractarios (Magnesita)

Máxima temperatura de trabajo. : 1 100<sup>0</sup>C  
 Espesor del ladrillo :  $e_3 = 15$  cm Conductiv.

- Conductiv. calorífica(BTU/hr ft <sup>0</sup>F) :  $K_3 = 0,60$
4. Material Aislante
- Máxima temperatura de trabajo :  $850^{\circ}\text{C}$
- Espesor de la pared :  $e_4 = 2,5\text{cm}$
- Conductiv. calorífica(BTU/hr ft <sup>0</sup>F) :  $K_4 = 0,10$
5. Chapa de acero al carbono laminado
- Máxima temperatura de trabajo :  $300^{\circ}\text{C}$
- Espesor de la pared (1/4") :  $e_5 = 0,64\text{cm}$
- Conductiv. calorífica(BTU/hr ft <sup>0</sup>F) :  $K_5 = 28$

FUENTE : Estos valores se han obtenido por iteraciones sucesivas, siendo el valor inicial  $T_1$  (supuesto). Hasta obtener  $T_4$ .

#### CARACTERISTICAS Y CONDICIONES

- $T_e$  : Temper. medio ambiente exterior =  $28^{\circ}\text{C} = 82,4^{\circ}\text{F}$
- $T_w$  : Temper. pared, plancha de acero =  $160^{\circ}\text{C} = 320^{\circ}\text{F}$
- $H$  : Altura del horno =  $1,68\text{m} = 5,512\text{ft}$
- $a$  : Area lateral del horno( $\pi HDe$ ) =  $204,82\text{ft}^2$

#### CALCULOS

Transferencia de calor de la plancha de acero al ambiente. Para este caso la transferencia es por convección y radiación, por lo tanto la ecuación respectiva es:

$$Q_{\text{ex}} = h_{c+r} A (T_w - T_e)$$

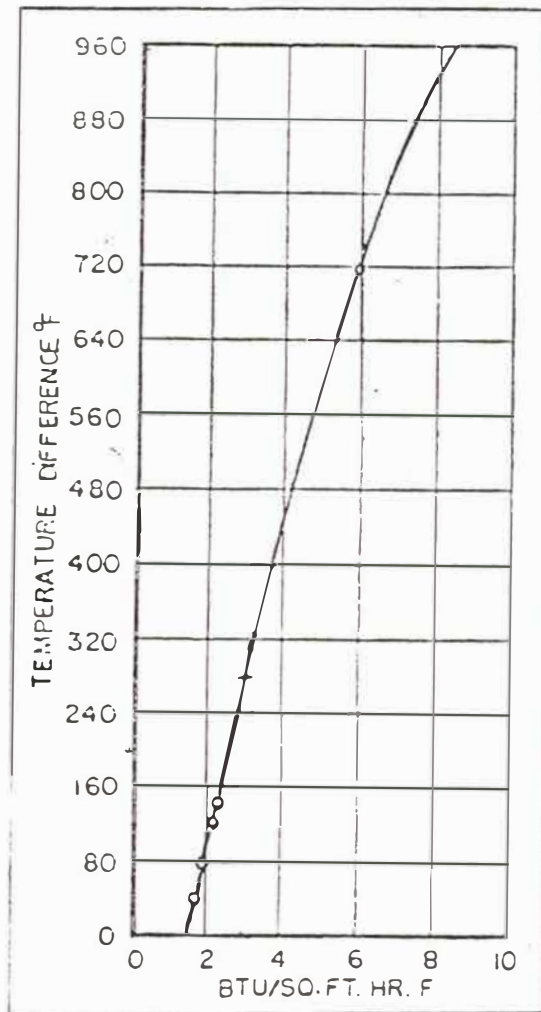
Donde :

$h_{c+r}$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección y radiación ( $h_c+h_r$ ), este valor fue hallado de la fig. N<sup>o</sup> 36 conociendo la diferencia de temperatura.

**FIG. N°36: COEFICIENTE DE  
TRANSFERENCIA DE CALOR**

(CONVECCION Y RADIACCION)

**▲T VS. °F**



De las condiciones :

$$T_w - T_e = 320 - 82.4$$

$$T_w - T_e = 237.6^{\circ}\text{C}$$

Del Gráfico :

$$h_{c+fr} = 2,9 \text{ BTU/hr ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

Reemplazando valores :

$$Q_2 = 2,9 \times 237,6 \times 204,88 = 141\,170,5 \text{ BTU/hr}$$

$$Q_2 = Q_{ex}$$

## CALCULO DE TEMPERATURAS DE LAS DIVERSAS ZONAS

1. TEMPERATURA DE LA PARTE INTERNA DE LA PLANCHA DE ACERO ( $T_5$ ).

Hacemos uso de la siguiente ecuación.

$$Q_2 = \frac{(T_5 - T_w)(2\pi)(K_5)H}{\ln(D_6/D_5)}$$

Entonces :

$$Q_2 = \frac{(T_5 - 320)(2\pi)(K_5)5,512}{\ln(3,6064/3,60)}$$

$$Q_2 = 141\,170,5 \text{ (de la ec. anterior)}$$

$$T_5 = 320,3 \text{ }^{\circ}\text{F. ; } T_5 = 160,1^{\circ}\text{C}$$

2. TEMPERATURA EN EL MATERIAL AISLANTE ( $T_4$ ).

$$Q = \frac{(T_4 - T_5)(2\pi)(K_4)H}{\ln(D_5/D_4)}$$

Entonces :

$$Q_2 = \frac{(T_4 - 320,3)(2\pi)(0,1)5,512}{\ln(3,60/3,55)}$$



$$Q_2 = 141,170.5 \text{ (de la ec. anterior)}$$

$$T_4 = 890.4 \text{ } ^\circ\text{F} \quad ; \quad T_4 = 476,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

3. TEMPERATURA EN EL LADRILLO REFRACTARIO (MAGNESITA) ( $T_3$ ).

Aplicando la ecuación conocida :

$$Q_2 = \frac{(T_3 - 890,4)(2\pi)(0,6)5,512}{\text{Ln}(3,55/3,25)}$$

$$Q_2 = 141\ 170,5 \text{ (de la ec. anterior)}$$

$$T_3 = 1\ 490,2 \text{ } ^\circ\text{F} \quad ; \quad T_3 = 810,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

4. TEMPERATURA EN EL LADRILLO REFRACTARIO ( $T_2$ ).

Aplicando la ecuación conocida :

$$Q_2 = \frac{(T_2 - 1\ 490,2)(2\pi)(0,45)5,512}{\text{Ln}(3,25/2,95)}$$

$$Q_2 = 141\ 170,5 \text{ BTU/hr (de la ec. anterior)}$$

$$T_2 = 2\ 367,5 \text{ } ^\circ\text{F} \quad ; \quad T_2 = 1\ 297,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

5. TEMPERATURA EN EL CONCRETO REFRACTARIO ( $T_1$ ).

Aplicando la ecuación conocida :

$$Q_2 = \frac{(T_1 - 2\ 367,5)(2\pi)(0,4)5,512}{\text{Ln}(2,95/2,90)}$$

$$Q_2 = 141\ 170,5 \text{ BTU/hr (de la ec. anterior)}$$

$$T_1 = 2\ 542 \text{ } ^\circ\text{F} \quad ; \quad T_1 = 1\ 394 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### CALOR PERDIDO POR REFRIGERACION CON EL AGUA(Q<sub>3</sub>)

Los valores de la pérdida de calor por refrigeración con agua serán supuestos, dado que el horno diseñado tendrá las instalaciones del soporte de electrodo, barras soleras similares a la del horno prototipo o piloto.

Anillo conductor y soporte del electrodo aleación (Cu + Cd).

Barras soleras conductoras de Electricidad (Cu + Sn)

Agua utilizada en la refrigeración = agua salada.

### CALOR PERDIDO POR EL ANILLO

Datos tomados del horno piloto(tubería de 1 1/2").

m (Flujo de Agua) = 1 124,82 l/hr

Te (Temperatura de entrada) = 32,5 °C

Ts (Temperatura de salida) = 53,5 °C

Aplicando la ecuación de intercambio de calor;

$$Q_{\text{anillo}} = m C_p \Delta T$$

$$Q_{\text{anillo}} = 1\ 124,82 \frac{\text{l}}{\text{hr}} * 10^3 \frac{\text{Kcal}}{\text{gr } ^\circ\text{C}} * 1 (53,5 - 32,5) ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{anillo}} = 23\ 631,3 \text{ Kcal/hr} = 93\ 667 \text{ BTU/hr}$$

### CALOR PERDIDO POR LAS BARRAS SOLERAS

m<sub>a</sub> (Flujo de Agua)tub.sup. = 962,3 l/hr

Te (Temperatura de entrada) = 32,5 °C

Ts (Temperatura de salida) = 48,0 °C

$$Q_a = 962,3 (48 - 32,5)$$

$$Q_a = 14\ 915,65 \text{ Kcal/hr} = 54\ 146,5 \text{ BTU/hr}$$

m<sub>b</sub> (Flujo de Agua)tub.inf. = 1 669,25 l/hr

Te (Temperatura de entrada) = 32,5 °C

$$T_s \text{ (Temperatura de salida)} = 42,0 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q_b = 1\ 669,25 \text{ (} 42 - 32,5 \text{)}$$

$$Q_b = 15\ 857,65 \text{ Kcal/hr} = 62\ 876,47 \text{ BTU/hr}$$

### CALOR TOTAL PERDIDO POR REFRIGERACION ( $Q_3$ )

$$Q_{\text{anillo}} + Q_a + Q_b = 210\ 689 \text{ BTU/hr}$$

$$Q_3 = 1\ 725\ 524,4 \text{ BTU/hr}$$

### CALOR DE CALENTAMIENTO DE LAS MATERIAS PRIMAS ( $Q_4$ )

Este valor es el calor necesario para calentar los materiales de la temperatura ambiente hasta la temperatura de  $1\ 300^\circ\text{C}$ , que es la temperatura a la cual recién empieza la reacción.

En primer lugar vamos a calcular el calor de calentamiento para cada componente mediante la siguiente ecuación.

$$Q = m C_p \Delta T$$

Donde las capacidades caloríficas ( $C_p$ ) se obtiene de tablas<sup>(39)</sup> para los diferentes componentes y para el rango de trabajo de las temperaturas, en algunos casos estos valores han sido extrapolados.

#### CAL (CaO) :

$$C_p(\text{CaO}) = 10 + 0,00484 T - 108\ 000/T^2$$

$$\text{Donde : } T = 1\ 573 \text{ } ^\circ\text{K} \text{ (} 1\ 300^\circ\text{C)}$$

$$C_p = 17,56967 \text{ cal/mol gr } ^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{CaO}} = 1\ 804\ 182 \text{ BTU}$$

#### CARBON (C) :

$$C_p \text{ C} = 0,242 \text{ cal / gr } ^\circ\text{C}$$

$$Q_c = 955,5 \text{ (} 0,242 \text{) (} 1\ 300 - 25 \text{)}$$

$$Q_c = 294\ 819 \text{ Kcal} = 1\ 169\ 917 \text{ BTU}$$

CALOR TOTAL DE CALENTAMIENTO ( $Q_4$ )

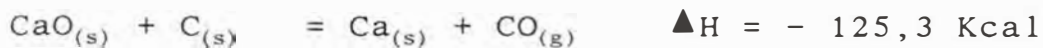
$$Q_4 = Q_{CaO} + Q_c \text{ (por Tn de Carburo producido)}$$

$$Q_4 = 1\,804\,182 + 1\,169\,917 = 2\,974\,099 \text{ BTU}$$

CALOR DE REACCION ( $Q_5$ )

El calor de reacción lo calcularemos aplicando la siguiente ecuación:  $Q_r = m \Delta H$

Las Reacciones son :



$$\Delta H = - 6\,894,8 \text{ BTU/ kg}$$

Este valor es para la obtención de carburo puro, para nuestra muestra que es de 85% de pureza, de una tonelada sólo 850 kg. son carburo, el resto son impurezas.

Entonces :

$$Q_r = - (6\,894,8)(850) = -5\,860\,580 \text{ BTU}$$

El signo nos indica que la reacción es ENDOTERMICA, es decir que se tiene que dar calor al sistema.

CALOR TOTAL DE REACCION ( $Q_5$ )

$$Q_5 = - 5\,860\,580 \text{ BTU}$$

Reemplazando :

$$Q_{elec.} + Q_5 + Q_{comb.} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$* Q_{electrodo} = 3\,250 \text{ Kwh (consumo específico del carburo)}$$

$$Q_5 = - 2\,930\,290 \text{ BTU/hr}$$

$$Q_4 = 2\,974\,097 \text{ BTU/hr}$$

$$Q_3 = 1\,725\,524,4 \text{ BTU/hr}$$

$$Q_2 = 141\,170,5 \text{ BTU/hr}$$

$$Q_1 = 260\,938 \text{ BTU/hr}$$

Sumando:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 5\,101\,729,9 \text{ BTU} = 1\,494,7 \text{ Kwh}$$

$Q_5$  = Calor que se produce a las 2 horas

$$Q_R = 1\,717,1 \text{ Kwh}$$

$$Q_{\text{elect.}} = 1\,494,7 + 1\,717 \text{ Kw} = 3\,211,8 \text{ Kwh}$$

$$*Q_{\text{elect.}} = 3\,211,8 \text{ Kwh}$$

## 6.6. DIMENSIONES DEL HORNO

El dimensionamiento del horno se hará siguiendo los análisis anteriores del cálculo de la capacidad, la potencia, y la transferencia del calor del horno.

### CALCULO DEL DIAMETRO DEL ELECTRODO

Para el cálculo del diámetro del electrodo tipo Söderberg, haremos uso de la siguiente ecuación:<sup>(40)</sup>

$$d_e = 2 \sqrt{I/\pi\delta}$$

Donde :

$d_e$  = diámetro del electrodo (cm)

$I$  = Intensidad de corriente (A)

$\delta$  = Densidad de corriente ( $\text{A}/\text{cm}^2$ )

Pero como no conocemos el voltaje y la intensidad a la cual va a trabajar el horno, vamos a despejarlos de dos ecuaciones básicas, suponiendo intensidad y voltaje lineal.

Entonces : <sup>(40)</sup>

$$I_p = \frac{P \cdot 1\,000}{\sqrt{3} V_l} \dots \dots \dots (1)$$

$$y \quad \cos(\alpha) = \frac{\sqrt{V_{ph}^2 - (I \cdot X)^2}}{V_{ph}}$$

$$\text{Pero : } V_{ph} = V_l / \sqrt{3}$$

donde :  $V_l$  = Voltaje lineal  
 $V_{ph}$  = Voltaje de fase

Entonces despejando :

$$V_1 = \sqrt{\{3(I \cdot X)^2 / [1 - \cos^2 \alpha]\}} \dots\dots\dots (2)$$

Por el método de tanteo suponemos (I) y hallaremos  $V_1$  con la ecuación (2), luego compararemos con la ecuación (1) hasta encontrar que los valores coincidan.

Para un valor constante de  $x=10^{-3}$  y para la potencia del transformador encontrado en el capítulo anterior esto, es  $P_t = 2\ 500\ KVA$ .

Haciendo tanteos hallamos para un valor fijo de  $\cos(\alpha) = 0,87$  y asumiendo : (Ver fig.No 37)

$$I = 10\ 000\ A, \quad V_1 = 37V$$

$$I = 41\ 428\ A$$

Estos valores podemos ubicar en la fig.No 38, obteniendo el  $d_e = 40\ cm$  y  $90\ cm$  <sup>(41)</sup>.

Hasta que llegemos a los valores finales:

$$V_1 = 71,31v \quad I = 20\ 300\ A$$

El voltaje lo redondearemos a :  $V_1 = 75v$

Consultamos fig.No 39<sup>(42)</sup> para ver la longitud de arco.

Escogeremos un valor ligeramente inferior, esto es 70V, debido a que conviene trabajar a un bajo voltaje y una elevada intensidad de corriente.

Hay que hacer notar que el voltaje debe ser fijo no así la corriente la cual puede ser modificado a voluntad.

Con estos valores hallaremos el diámetro del electrodo efectivo (diámetro real).

FIG. N° 37: VARIACION DEL FACTOR DE POTENCIA  
Cos  $\phi$  EN FUNCION DE LA RELACION  
DE CORTO CIRCUITO  $I_k/I_n$  DEL  
TRANSFORMADOR DEL HORNO

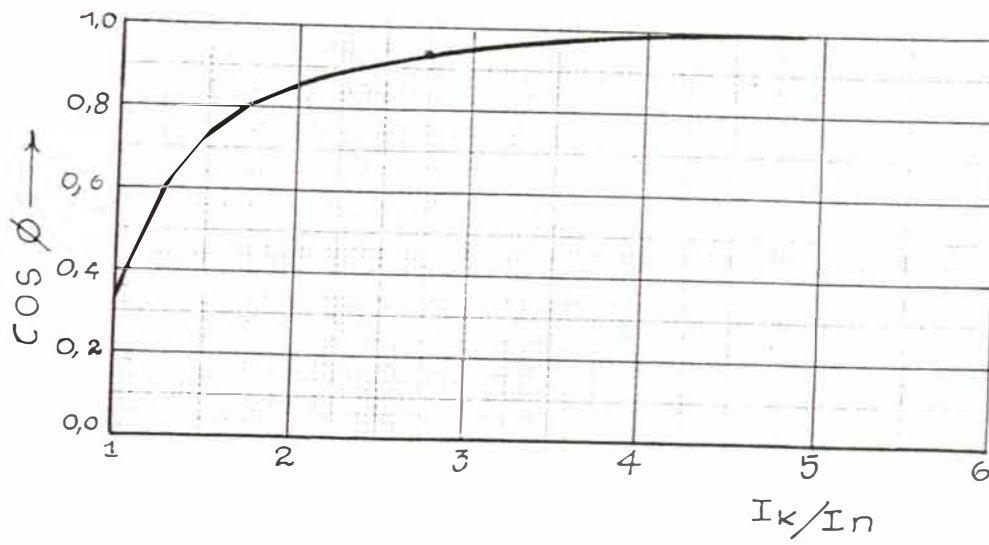


FIG. N° 38: VARIACION DE LA INTENSIDAD "I" PARA LOS ELECTRODOS Y LA DENSIDAD "i" EN FUNCION DEL "dE" (DIAMETRO DEL ELECTRODO)

SODERREG

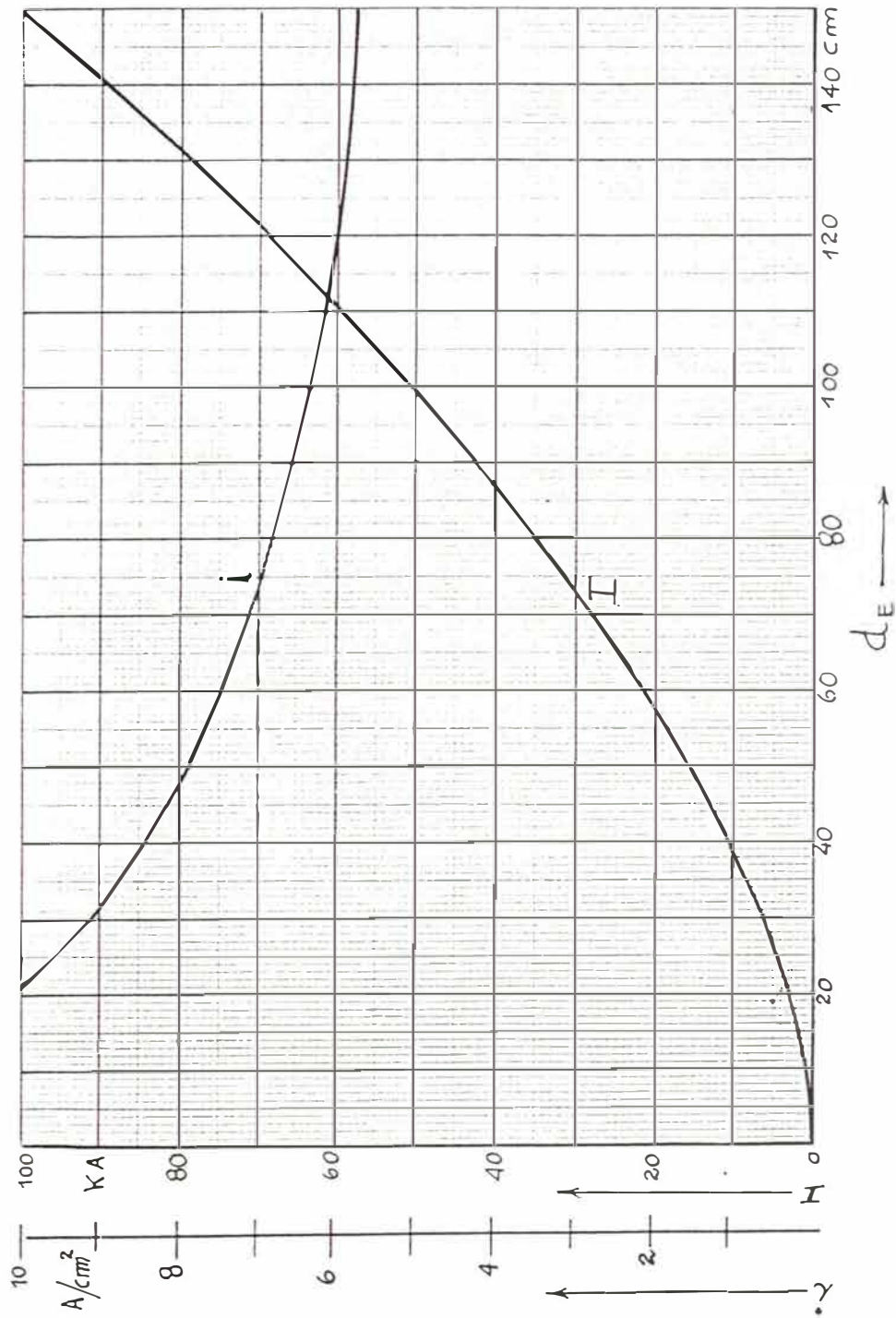
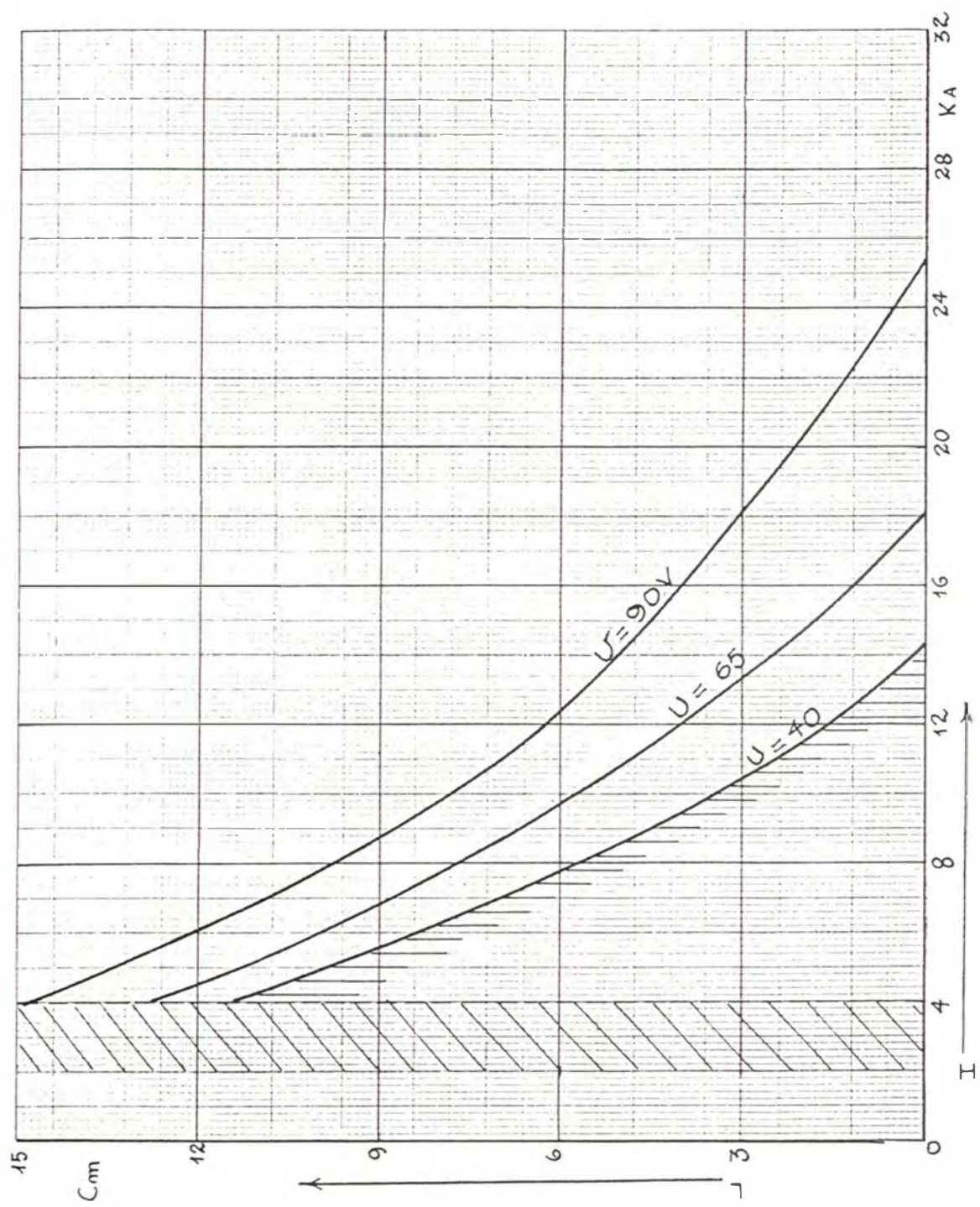




FIG. N° 39 TENSION MINIMA E INTENSIDAD DE CORRIENTE MINIMA " I " DE UN ARCO ELECTRICO PARA UNA LONGITUD DE ARCO



Vamos hacer los cálculos para dos valores de densidades de corriente que son necesarias para la producción de dos productos, la más baja densidad de corriente necesaria en el electrodo es para el carburo de calcio y la mayor de todas para el ferrosilicio (como puede verse en el cuadro 34).

Para el carburo de Calcio :  $\delta = 3,5 \text{ A/cm}^2$

Para el ferrosilicio :  $\delta = 6,0 \text{ A/cm}^2$

Reemplazando estos valores en la ecuación inicial tenemos:

$$d_{e1} = 2\sqrt{\frac{20\ 300}{3,5 \pi}} = 86 \text{ cm}$$

$$d_{e2} = 2\sqrt{\frac{20\ 300}{6,0 \pi}} = 66 \text{ cm}$$

Las áreas transversales para cada uno de ellos es:

$$A_1 = 5\ 809 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 3\ 421 \text{ cm}^2$$

La intensidad de corriente máxima que puede darnos el transformador viene dado por:

$$P_t = VI \text{ (fig. 40) }^{(43)}$$

$$2\ 500 \times 10^3 = 70 I_{\max}$$

$$I_{\max} = 35\ 714 \text{ A}$$

Verificación de la densidad de corriente.

Para el  $A_1$  :

$$\delta \text{ min}_1 = 20\ 300 / 5\ 809 = 3,5 \text{ A/cm}^2$$

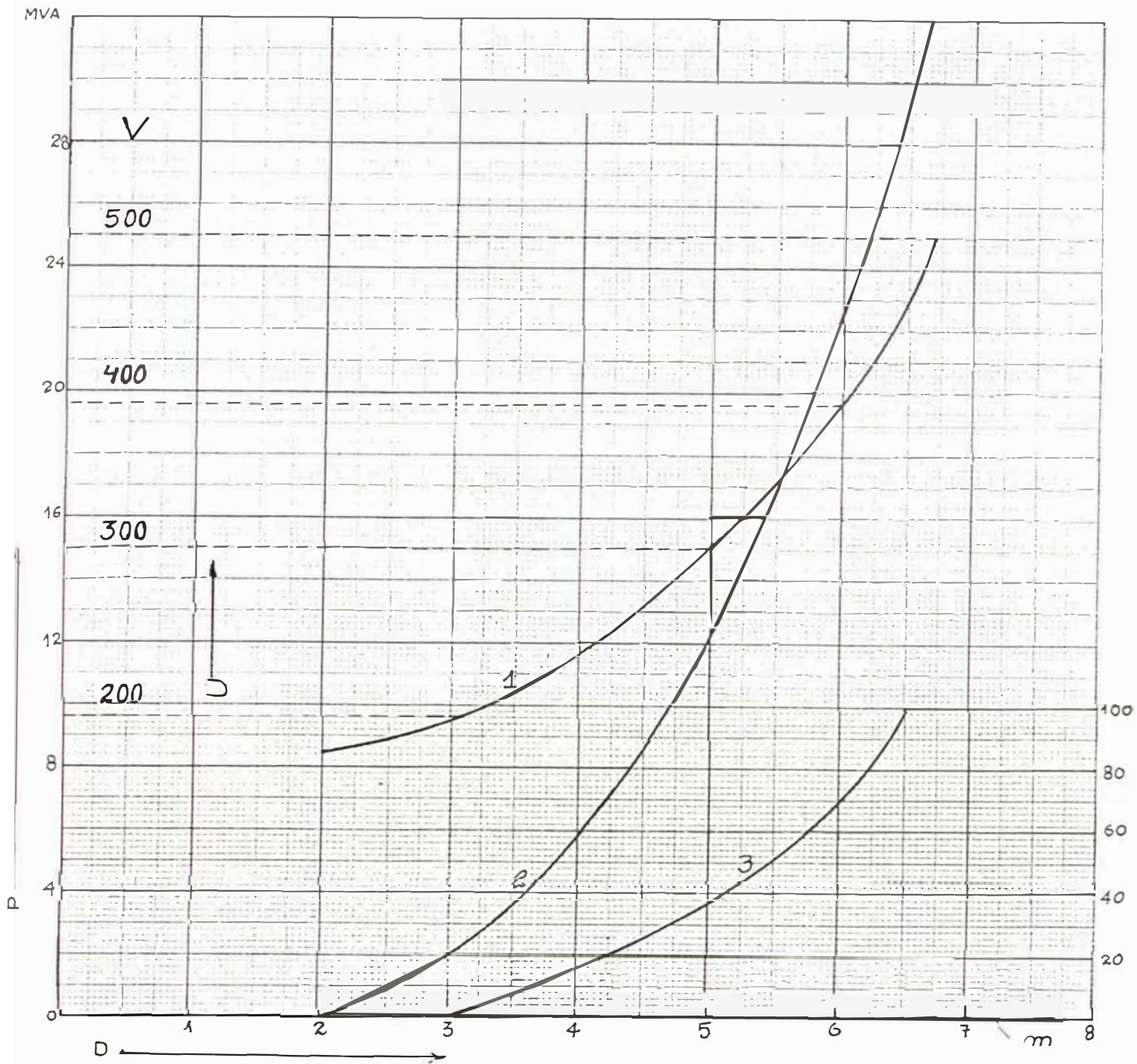
$$\delta \text{ máx}_1 = 35\ 714 / 5\ 809 = 6,1 \text{ A/cm}^2$$

Para el área  $A_2$  :

$$\delta \text{ min}_2 = 20\ 300 / 3\ 421 = 5,9 \text{ A/cm}^2$$

$$\delta \text{ máx}_2 = 35\ 714 / 3\ 421 = 10,4 \text{ A/cm}^2$$

FIG.N°40: VARIACION DE LA TENSION "U" Y DE LA POTENCIA DEL TRANSFORMADOR P1 Vs. "D" (DIAMETRO DE CUBA) Vs. CAPACIDAD "G" DE UN HORNO



De los dos valores escogemos el valor de  $A_1$ , debido a que los valores cumplen con el valor permitido, en la densidad de corriente para el electrodo.

Esto debido a que no podríamos poner en peligro al electrodo por la elevada densidad de corriente que podría pasar.

Hay que agregar que los electrodos de autococción Söderberg por lo general soportan una densidad de corriente máxima de 9 A/cm<sup>2</sup>.

Si escogiéramos el otro valor ( $d_{e2} = 66$  cm) por la elevada densidad de corriente tendríamos que bajar la intensidad, lo cual se logra elevando el electrodo, pero esto trae consigo un problema mayor, el cual es que se corre el peligro de romper el arco eléctrico y parar el proceso.

En consecuencia :

$$D_e = 85 \text{ cm}$$

También obtendremos los otros valores útiles:

#### POTENCIA ACTIVA.-

$$P_a = 2\,500 (0,87) = 2\,175 \text{ Kw}$$

#### POTENCIA UTIL.-

$$P_u = P_a - P_{\text{lost}} ; P_{\text{lost}} = 215^{(44)}$$

$$P_u = 1\,960 \text{ Kw}$$

#### VOLTAJE UTIL DE FASE.-

$$V_{u \text{ ph}} = 75 * (0,87) * (0,90) / \sqrt{3} = 34 \text{ v}$$

#### DIAMETRO DE LA CUBA Y SU ALTURA

Vamos a calcular el diámetro de la cuba mediante la relación:

$$D_{sh} = 2d_{sp}$$

En donde  $d_{ap}$  es el diámetro de acción del electrodo, es decir la máxima distancia donde el electrodo ejerce su influencia para producir la reacción química.

Para este caso la distancia límite es de 30 cm alrededor del electrodo, en donde tendrá su efecto las radiaciones del arco.

En cuanto a las ferroaleaciones no hay problemas con la distancia de efecto, debido a su elevada conductividad eléctrica, así como también la de sus componentes.

Por lo tanto el diámetro de los electrodos con todo su acción será :

$$D_{ap} = 85 + 30 + 30 = 145 \text{ cm} = 1,45 \text{ m}$$

Y el diámetro de la cuba :

$$D_{ah} = 2 (1,45) \text{ m} = 2,90 \text{ m}$$

Hallamos el volumen de la cuba para 2 potencias específicas:

Para el Carburo de Calcio :

$$\text{Potencia específica} = 225 \text{ KVA/m}^3(45)$$

Para ferroaleaciones :

$$\text{Potencia específica} = 270 \text{ KVA/m}^3$$

Aplicando la relación :

$$V_{sh} = Pt / (\text{potencia específica})$$

$$V_{sh1} = 2500 / 225 = 11,11 \text{ m}^3$$

$$V_{sh2} = 2500 / 270 = 9,3 \text{ m}^3$$

De donde el resultado de  $V_{sh1}$  coincide con el valor de la capacidad de la cuba en el capítulo (6.1).

Para obtener la altura de la cuba usaremos:

$$V_{sh} = \frac{D_{ah}^2 * h * \pi}{4}$$

Por lo tanto obtenemos la altura adecuada :

$$11,11 = (2,90)^2 h_1 * \pi/4$$

Despejando :  $h_1 = 1,68\text{m}$

$$h_1 = 1,68\text{m}$$

## RESUMEN DEL DISEÑO DEL HORNO

Forma de la Cuba	= Circular
Nº de fases	= Monofásico
Potencia del transformador	= 2 500KVA
Intensidad de trabajo	= 20 300A a 35 700A
Voltaje	= 70V
Factor de Potencia	= 0,89
Diámetro del electrodo	= 85cm
Nº de electrodos	= 2
Regulación de electrodos	= automático
Potencia activa	= 2 200KVA
Potencia Util	= 1 960KVA
Vufh	= 24V
Fluido de refrigeración	= Agua
Temperatura promedio de trabajo	= 2 200°C
Tipo de Colada	= discontinua
Volúmen de la Cuba	= 11,5m <sup>3</sup>
Altura de la Cuba	= 1,7m
Capacidad del horno	= 12Tn /día (CaC <sub>2</sub> )
Capacidad del horno	= 6Tn /día (Fe-Si)
Diámetro de la cuba	= 2,90m

## CAPITULO 7

### DETERMINACION DE LA INVERSION

Los costos se determinaron siguiendo la cotización directa previa proforma de equipos, de los abastecedores y siguiendo el diagrama de flujo y dividiendo por secciones, mano de obra se tomo promedio; la instalación y montaje se asume con un 30% del costo total del equipo.

La planta se ha dividido por secciones siguiendo el diagrama de flujo, para mayor facilidad de la cotización.

La unidad monetaria a usar será el dólar americano.

#### 7.1. INVERSION EN TERRENO Y CONSTRUCCION

##### 7.1.1. SECCION ALMACENES MATERIA PRIMA (CONSTRUCCION).

Siguiendo el diagrama de flujo del carburo de calcio:

##### SILO PARA LA CAL:

Consumo de cal diario = 14 000 Kg

Stock mínimo (4 días) - 14 000 x 4 = 56 Tn

Esta cantidad de cal ocupará un determinado volumen al cual se le dará un margen de seguridad de 30%.

$$\text{Volumen}_{\text{cal}} = 143 \text{ m}^3$$

Este será el volumen del silo para la cal, por razones prácticas tendrá un diámetro de 5 m , resultando una altura de 7,3 m



Por razones prácticas el silo tendrá las siguientes dimensiones:

$$D = 5 \text{ m (forma cilíndrica); } h = 7,5 \text{ m}$$

Teniendo en cuenta una zona de circulación al rededor de 2 m de ancho, el área para la cal será de  $81 \text{ m}^2$  (9m x 9m).

El área lateral del silo ha ser construido es  $118 \text{ m}^2$ . El área total es de  $199 \text{ m}^2$  (área superficial más área lateral).

$$\text{Costo total} = \text{US\$ } 11\,512,15 \text{ (US\$ } 57,85/\text{m}^2\text{)}.$$

#### ALMACEN PARA EL CARBON:

$$\text{Consumo de carbón} = 11\,460 \text{ Kg}$$

$$\text{Stock mínimo (15 días)} = 171\,900 \text{ Kg}$$

El volumen que ocupará el carbón con un margen de seguridad de 30% es  $609 \text{ m}^3$ .

Este depósito será de forma rectangular y tendra las siguientes dimensiones  $17 \times 12 \times 3 \text{ m}^3$ .

Al rededor del depósito habrá una zona libre de 2 m de ancho en consecuencia el área será de  $336 \text{ m}^2$ .

El área lateral a ser construida es de  $174 \text{ m}^2$  El área total será de  $510 \text{ m}^2$ .

$$\text{Costo total} = \text{US\$ } 29\,503,50 \text{ (US\$ } 57,85/\text{m}^2\text{)}.$$

### ALMACEN DE CUARCITA:

Prod. de ferrosilicio = 6 Tn/día(45% de Si).

Consumo de Si diario = 2 700 Kg

Consumo de Fe diario = 3 300 Kg

Además :  $M_{Si} = 28,09$  ;  $M_{SiO_2} = 60,09$

La cantidad de cuarcita ( $SiO_2$ ) necesaria, considerando un 95 % de dureza como promedio es de 6 080 Kg/día (Stock mínimo 4 días) = 24 320 Kg .

El volumen necesario para esta cantidad de cuarcita, considerando el 30% de seguridad es de 40 m<sup>3</sup> .

Considerando que 2 m es una altura conveniente para este depósito, el área será de 20 m<sup>2</sup>.

Escogiendo un área de 5 x 4 m el depósito tendrá un volumen de 5 x 4 x 2 m<sup>3</sup>.

Considerando siempre un área de circulación de 2 m de ancho al rededor del depósito, el área será de 72 m<sup>2</sup>.

El área lateral a ser construida es de 36 m<sup>2</sup>. El área total será de 108 m<sup>2</sup>.

Costo total = US\$ 6 247,80 (US\$ 57,85/m<sup>2</sup>).

Merece aclararse que el piso es de concreto, las paredes hechas con cimiento y muro de ladrillo, así también tiene techo, en este caso de ETERNIT.

#### ALMACENES DE CHATARRA

Consumo de Fe diario (chatarra) = 3 300Kg

Stock mínimo (4 días) = 13 000Kg

El volumen considerando el 30% de seguridad es de 8 580 L = 8,6 m<sup>3</sup> El depósito tendrá una altura de 2m originando un área de 4,3 m<sup>2</sup>.

Por razones prácticas se escoge un área de 2 x 3 m<sup>2</sup> dando como consecuencia un volumen de 2 x 3 x 2 m<sup>3</sup>.

Considerando un área de circulación de 2 m de ancho a todo el rededor, el área del depósito resultante será de 42 m<sup>2</sup> Area lateral a ser construido de 20 m<sup>2</sup> Area total de 62 m<sup>2</sup>.

Costo total = US\$ 3 586,70 (US\$ 57,85/m<sup>2</sup>).

#### SECCION SUB ESTACION (CONSTRUCCION):

De acuerdo a las disposiciones de las empresas eléctricas para un transformador-rectificador, transformador-estabilizador y registradores se necesita un área superficial de 60 m<sup>2</sup> mínimo, con ductos de ventilación. Esta área debe ser de piso de concreto, paredes de ladrillo, techo de concreto armado,

celdas de ladrillos y los ductos de ventilación de concreto armado. Escogemos las dimensiones de 6 x 10 m y una altura máxima de 2,5 m :

Area lateral	=	80 m <sup>2</sup>
Techo de concreto	=	60 m <sup>2</sup>
Piso de concreto	=	60 m <sup>2</sup>
Ventilación	=	16 m <sup>2</sup>
		-----
Area total	=	216 m <sup>2</sup>

Para este caso por ser construcción especial que lleva concreto armado e incluye el sistema de iluminación, el costo unitario es de US\$ 92,56/m<sup>2</sup>.

$$\text{Costo total} = \text{US\$ } 19\ 992,9$$

Así también se considerará una vereda de 1m de ancho al rededor de toda la subestación, el costo unitario es de US\$ 11,57/m<sup>2</sup>, en total US\$ 300,82 .

### SECCION TRANSFORMADOR

También de acuerdo a normas técnicas escogemos un área de 40m (en este caso de 10m x 4m), techo y piso de concreto, paredes de ladrillo, celdas de ladrillo.

Techo de concreto	=	40 m <sup>2</sup>
Piso de concreto	=	40 m <sup>2</sup>
Paredes de ladrillo	=	78 m <sup>2</sup>

$$\begin{array}{rcl} \text{Ductos de ventilación} & = & 16 \text{ m}^2 \\ & & \text{-----} \\ \text{Area total} & = & 174 \text{ m}^2 \end{array}$$

$$\text{COSTO} \quad : \quad 174 \times \text{US\$ } 92,56/\text{m}^2 = \text{US\$ } 16 \ 105,40$$

### SECCION TANQUE DE AGUA PARA ENFRIAMIENTO

El pozo será de concreto armado y debe ser techado (en este caso el techo será de eternit). El volumen que necesitamos es de  $70 \text{ m}^3$  y hemos escogido las siguientes dimensiones:

$$\begin{array}{rcl} V_{\text{pozo}} & = & 70 \text{ m}^3 \\ \text{Altura} & = & 2 \text{ m} \\ \text{Ancho} & = & 5 \text{ m} \\ \text{Largo} & = & 7 \text{ m} \\ \text{Piso de concreto} & = & 35 \text{ m}^2 \\ \text{Area lateral} & = & 48 \text{ m}^2 \\ & & \text{-----} \\ \text{Total a construir} & = & 83 \text{ m}^2 \end{array}$$

En este caso consideramos el costo unitario de construcción a  $\text{US\$ } 92,56/\text{m}^2$

$$\text{COSTO TANQUE} \quad : \quad 83 \text{ m}^2 \times \text{US\$ } 92,56 = \text{US\$ } 7 \ 682,40$$

Para el techo vamos a dar 1m de ancho más alrededor del pozo, en consecuencia el área a techar :

$$A_{\text{techo}} \quad : \quad (9 \times 7) \text{ m}^2 = 63 \text{ m}^2$$

Se van a utilizar planchas de 3 m x 1,1 m por lo que se van a necesitar 20 unidades, el costo de cada unidad es US\$ 8,67

entonces:

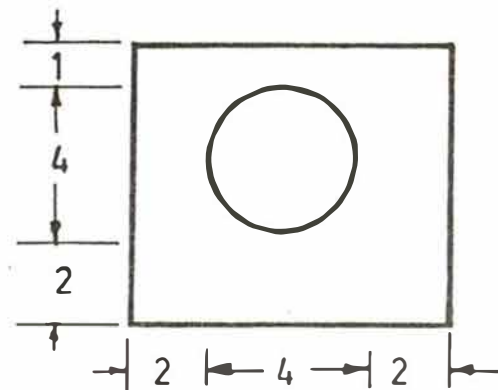
COSTO TECHO = US\$ 173,55

COSTO = US\$ 7 855,90

### SECCION HORNO

Como hemos visto anteriormente el diámetro exterior de la cuba es de 3,64 m para las obras civiles, se ha considerado un área como la que se muestra en el esquema (Ver fig. 41).

FIGURA N° 41 SECCION HORNO



La construcción será de 4 pisos, en la primera estará la cuba, en el segundo piso la bóveda del horno y el electrodo (en esta zona está el anillo), en el tercero el sistema mecánico de suspensión del electrodo así como su reposición (electrodo de auto-cocción) por último en el cuarto piso el sistema de alimentación del horno (dosificación).

#### a. PRIMER PISO

Comprende todas las estructuras de las columnas y vigas. La cuba tiene una base circular de concreto de 0,25 m de espesor, la circunferencia exterior es un muro de concreto de

1 m de altura (sobre este muro va la chapa de acero en cuyo interior van los refractarios y aislantes). La altura de la chapa es de 1,7 m lo que hace que el primer piso tenga una altura de 2,7 m Los cimientos para todo este edificio deben tener una profundidad de 1 m para las zapatas. Se suma a lo anterior 3 paredes laterales.

El costo unitario por un metro cuadrado de construcción se ha considerado a US\$ 115,70 en consecuencia:

$$\text{COSTO} \quad : \quad 56\text{m}^2 \times \text{US\$ } 115,70/\text{m}^2 = \text{US\$ } 6\,479,20$$

#### b. SEGUNDO Y TERCER PISO

Ambos pisos son similares y constan de columnas, vigas, techo y paredes laterales. En este caso el costo unitario por  $\text{m}^2$  de construcción es de US\$ 92,56, el costo será :

$$\text{COSTO} \quad : \quad 2 (56\text{m} \times \text{US\$ } 92,56\text{m}^2) = \text{US\$ } 10\,366,70$$

#### c. CUARTO PISO

En este nivel no hay obras civiles y solo van los equipos de dosificación de materiales.

### SECCION DE TRATAMIENTO DE LOS PRODUCTOS

#### a. SALA DE ENFRIAMIENTO

Se necesita un área de  $90 \text{ m}^2$  para los carritos lingoteros (máximo 40 coches). Se escoge de 10 m x 9 m El producto se enfriará en su propio coche. El techo de esta sección será de concreto, piso de concreto con rieles, paredes de ladrillo, puertas metálicas, iluminación y pistas para el deslizamiento de los carritos lingoteros.

El costo unitario por  $m^2$  de construcción es de US\$ 115,70/m entonces:

$$\text{COSTO} \quad 90 \times 115,70 = \text{US\$ } 10\,413,00$$

#### SALA DE MOLIENDA

Se escoge un área de  $90 \text{ m}^2$  (10 m x 9 m). El piso sobre el cual va ir la loza debe recibir un tratamiento especial, la loza va a tener como refuerzo barras de fierro y será de concreto armado, su espesor será de 0.30 m, tendrá también bases para las chancadoras. Esta sala tendrá techo. El costo unitario es de US\$ 104,13.

$$\text{COSTO} \quad 90 \times 104,13 = \text{US\$ } 9\,371,70$$

#### c. SALA PARA LA CLASIFICACION DE GRANOS Y

##### ENVASADO

Para la zarandas se necesita un área de  $60 \text{ m}^2$  (se escoge uno de 10 m x 6 m). En esta sala debe de haber una fosa para la balanza y una caseta para accesorios. Las latas serán transportadas a la sección almacén por una faja. Esta sala también tendrá techo. El costo unitario de construcción es de US\$ 115,70/m

$$\text{COSTO} \quad 65 \times 115,70 \text{ m}^2 = \text{US\$ } 6\,942,00$$

#### d. SECCION ALMACEN

Productos terminados: El área necesaria es de  $80 \text{ m}^2$  Esta sección debe tener paredes de ladrillo, techo de concreto, el piso debe ser una loza de cemento, debe contar además con puertas metálica e iluminación.

Almacén de materiales y herramientas: El área será de  $85 \text{ m}^2$  Es similar al almacén de productos terminados pero contará además



con servicios higiénicos.

$$\text{AREA TOTAL} = 165 \text{ m}^2$$

Costo de construcción unitario por  $\text{m}^2$  es de US\$115,70/ $\text{m}^2$ .

$$\text{COSTO} : 165 \times 115,70/\text{m}^2 = \$ 19\ 090,50$$

e. LABORATORIO Y CONTROL DE CALIDAD

Se necesita un área de  $80 \text{ m}^2$ . El piso será una loza de cemento, techo de concreto armado, paredes de ladrillo, mesas de concreto aligerado recubiertas con mayólica, ventanas, líneas de agua y desagüe, extractores de gases e iluminación.

El costo unitario por un metro cuadrado es de US\$ 138,4/ $\text{m}^2$

$$\text{COSTO} : 80 \times 138,4/\text{m}^2 = \text{US\$ } 11\ 107,20$$

f. AREA ADMINISTRATIVA

Contará con oficinas y servicios higiénicos, el área necesaria es de  $85 \text{ m}^2$ . Todo será hecho con material noble. El costo unitario lo consideramos igual US\$ 86,77/ $\text{m}^2$

$$\text{COSTO} : 85 \times 86,77/\text{m}^2 = \text{US\$ } 7\ 375,40$$

g. VESTUARIO

Serán de  $60 \text{ m}^2$  para una sala, duchas y servicios higiénicos. El material a emplear es noble. El costo unitario es de US\$ 98,34/ $\text{m}^2$

$$\text{COSTO} : 98,34/\text{m}^2 \times 60 = \text{US\$ } 5\ 900,70$$

h. AREA PARA DESPACHO

Aquí habrá movimiento de camiones y camionetas así como de personas, no necesita techo pero si piso de cemento y paredes laterales. El costo unitario es de US\$ 23,14 /m<sup>2</sup>

El área para esta zona es de 300 m<sup>2</sup>

COSTO : 300 X 23,14 = US\$ 6 942,00

En resumen el área a utilizar es de:

SECCIÓN	AREA (m <sup>2</sup> )
Cal	81
Carbón	336
Mineral (cuarcita, etc)	72
Chatarra	42
Sub - Estación	96
Transformadores	40
Tanques de agua	63
Horno	56
Sala de enfriamiento	90
Molienda	90
Sala de clasificación	60
Almacenes	165
Laboratorio	80
Oficinas Administrativas	85
Vestuarios	60
Despacho	300
Areas Verdes y estacionamiento	350
Circulación	430
Total de plata	2 496
	2 500

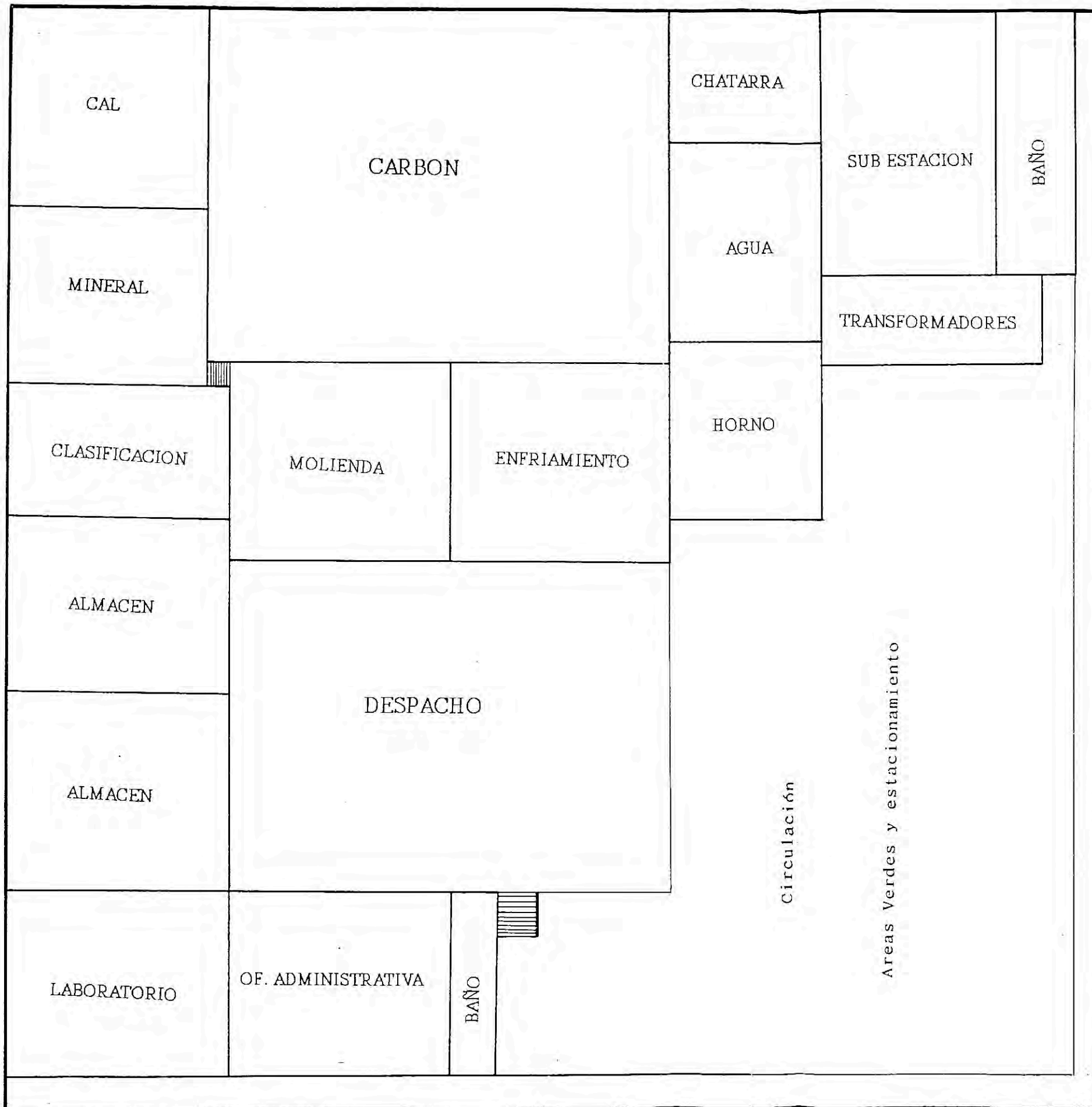
\* Ver plano de distribución

Costo por m<sup>2</sup> de terreno en zona industrial es de US\$ 50,00

Monto Total del terreno = US\$ 125 000,00

## 7.2 INVERSION EN EQUIPOS Y MAQUINARIAS

EQUIPOS Y MAQUINARIAS	COSTO (US\$)
Sub estación Eléctrica (LUZ del Sur)	71 734,0
Transformador trifásico 2 500 KVA (ASEA BROWN BOVERI INDUSTRIAL S.A PERU) 10 000 v - 75 v 267 A - 35 714 A	52 065,0
Disyuntor tripolar reducido en aceite (ASEA BROWN BOVERI INDUSTRIAL S.A PERÚ)	17 355,0
Transformador trifásico 100KVA 13 200V- (220-240V) (ASEA BROWN BOVERI INDUSTRIAL S.A PERU)	6 942,0
Seccionador trifásico 1 000 V y 55 A (ASEA BROWN BOVERI INDUSTRIAL S.A PERU)	3 471,0
Celdas de fierro para transformador (malla de 2,45m x 3m), base de concreto con placas aislantes	1 157,0
70 barras de cobre (de 15,0cmx0,2cm de espesor)	5 204,5
Transformador de intensidad (FRESA PERU) I <sub>1</sub> = 35 000 A ; V <sub>1</sub> = 13 200 V I <sub>2</sub> = 100 A ; V <sub>2</sub> = 55 V	3 471,0
Placa de contacto de barras y flexibles con soporte (JUGENO)	2 545,4
Tablero de lectura de voltaje y amperaje (0,0 a 100 V, 0,0 a 35 000 A)	4 628,0
Superficie exterior y tapa del horno (cascate y chapa de fierro así como soporte). Se utilizan planchas de 1/4 pulg	6 363,5
Placa de cobre para delitación de 1/4 pulg. (6) (JUGENO)	1 157,0
Anillos de cobre y soportes porta electrodos	9 265,0
Refractario castable de alta alumina (85%), 120 bolsa de 50 Kg cada una (REPSA)	6 942,0
Pasta de electrodos tamping tipo Söderberg 4Tn (CARBOINDUSTRIAL S.A BRASIL)	2 314,0
Brea Industrial de alta densidad (250 l)	1 388,4
Lingotera de fierro (1.5 Tn)	3 471,0
Chancadora de quijada (12 HP)	8 099,0
Bombas de agua (4 HP)	4 165,2
Zaranda vibratoria	2 892,5
Equipos e instrumentos de laboratorio	17 355,0
Balanza de plataforma (VEGA)	6 942,0
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>238 920,50</b>



DISTRIBUCION DE	AREA (m <sup>2</sup> )
Cal	81
Carbon	336
Mineral (cuarcita, etc)	72
Chatarra	42
Sub - Estación	96
Transformadores	40
Tanques de agua	63
Horno	56
Sala de enfriamiento	90
Molienda	90
Sala de Clasificación	60
Almacenes	165
Laboratorio	80
Oficinas Administrativas	85
Vestuarios	60
Despacho	300
Areas Verdes y estacionamiento	350
Circulación	430
Total de Planta	2,496
	2,500

PLANO DE DISTRIBUCION	ESCALA 1:200
Planta para la Producción de Carburo de Calcio y Ferroaleaciones	

### RESUMEN DE COSTOS (US\$)

Terreno (Zona industrial 2 500m <sup>2</sup> )	125 000,00
Obras civiles	196 775,97
Equipo y maquinarias	238 920,5
Instalación y montaje (30%)	71 676,15
Imprevistos, Impuestos (20%)	126 474,5
TOTAL DE INVERSIÓN	758 847,1

Es decir necesitamos un total de US\$ 759 000,0 para el diseño e instalación de la planta.

- (33) "Chemical Engeniering", Marzo 9, 1979, Pag. 16.
- (34) "Chemical Abstract", Y42 N<sup>o</sup> 8, 2535C, 1948.
- (7) Edneral, F. P., "Electrometallurgv of steel and Ferroalloys", Tomo II, Editorial MIR Publishers, URSS 1979, Pag. 107.
- (8) Edneral, F. P., "Electrometallurgv of steel and Ferroalloys", Tomo II, Editorial MIR Publishers, URSS 1979, Pag. 154.
- (10) Edneral, F. P., "Electrometallurgv of steel and Ferroalloys", Tomo II, Editorial MIR Publishers, URSS 1979, Pag. 126.
- (11) Edneral, F. P., "Electrometallurgv of steel and Ferroalloys", Tomo II, Editorial MIR Publishers, URSS 1979, Pag. 128.
- (15) Edneral, F. P., "Electrometallurgv of steel and Ferroalloys", Tomo II, Editorial MIR Publishers, URSS 1979, Pag. 108.
- (16) Edneral, F. P., "Electrometallurev of steel and Ferroalloys", Tomo II, Editorial MIR Publishers, URSS 1979, Pag. 112.
- (17) Edneral, F. P., "Electrometallurgv of steel and Ferroalloys", Tomo II, Editorial MIR Publishers, URSS 1979, Pag. 129.

- (18) Edneral, F. P., "Electrometallurgy of steel and Ferroalloys", Tomo II, Editorial MIR Publishers, URSS 1979, Pag. 137.
- (19) Edneral, F. P., "Electrometallurgy of steel and Ferroalloys", Tomo II, Editorial MIR Publishers, URSS 1979, Pag. 157.
- (20) Edneral, F. P., "Electrometallurgy of steel and Ferroalloys", Tomo II, Editorial MIR Publishers, URSS 1979, Pag. 159.
- (21) Edneral, F. P., "Electrometallurgy of steel and Ferroalloys", Tomo II, Editorial MIR Publishers, URSS 1979, Pag. 165.
- (35) Edneral, F. P., "Electrometallurgy of steel and Ferroalloys", Tomo II, Editorial MIR Publishers, URSS 1979, Pag. 98.
- (40) Edneral, F. P., "Electrometallurgy of steel and Ferroalloys", Tomo II, Editorial MIR Publishers, URSS 1979, Pag. 104.
- (44) Edneral, F. P., "Electrometallurgy of steel and Ferroalloys", Tomo II, Editorial MIR Publishers, URSS 1979, Pag. 105.
- (39) Himenblau, "Principios Básicos de la Ingeniería Química", 1974, Tabla D1.

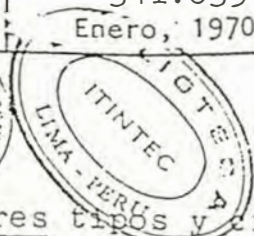
- (1) Kirk, Raymond E. "Enciclopedia de la Tecnología Química", Tomo III, Editorial UTEMA, Mexico, 1961, Pag. 768.
- (2) Kirk, Raymond E. "Enciclopedia de la Tecnología Química", Tomo III, Editorial UTEMA, Mexico, 1961, Pag. 769.
- (5) Kirk, Raymond E. "Enciclopedia de la Tecnología Química", Tomo III, Editorial UTEMA, Mexico, 1961, Pag. 771.
- (13) Kirk, Raymond E. "Enciclopedia de la Tecnología Química", Tomo III, Editorial UTEMA, Mexico, 1961, Pag. 776.
- (26) Lauster, R. "Electrotemia Industrial", Editorial URMO, Bilbao-España. Pag. 179.
- (34) Lauster R. "Electrotermia Industrial", Editorial URMO, Bilbao-España. Pag. 211.
- (36) Lauster R. "Electrotermia Industrial", Editorial URMO, Bilbao-España. Pag. 210.
- (37) Lauster R. "Electrotermia Industrial", Editorial URMO, Bilbao-España. Pag. 211.
- (41) Lauster R. "Electrotermia Industrial", Editorial URMO, Bilbao-España. Pag. 179.
- (42) Lauster R. "Electrotermia Industrial", Editorial URMO, Bilbao-España. Pag. 164.
- (43) Lauster R. "Electrotermia Industrial", Editorial URMO, Bilbao-España. Pag. 173.



- (45) Lauster R. "Electrotermia Industrial". Editorial URMO, Bilbao-España. Pag. 209.
- (14) Linchevski, B.V. "Metalurgia de Metales no Ferrosos". Editorial MIR, Moscú 1983, Pag. 264.
- (25) Linchevski, B.V. "Metalurgia de Metales no Ferrosos". Editorial MIR, Moscú 1983, Pag. 265.
- (28) Linchevski, B.V. "Metalurgia de Metales no Ferrosos". Editorial MIR, Moscú 1983, Pag. 198.
- (9) Mantell, C.L. "Ingenieria Electroquímica". Editorial Revertesa, Mexico 1962, Pag. 462.
- (22) Mantell, C.L. "Ingenieria Electroquímica". Editorial Revertesa, Mexico 1962, Pag. 460.
- (3) Miller. "Acetylene". Pag. 168.
- (4) Miller. "Acetylene". Pag. 168.
- (5A) Miller. "Acetylene". Pag. 173.
- (6) Miller. "Acetylene". Pag. 174.
- (12) Miller. "Acetylene". Pag. 175-176.
- (27) Miller. "Acetylene". Pag. 193.

- (30) Miller. "Acetylene". Pag. 177.
- (31) Miller. "Acetylene". Pag. 175.
- (32) Miller. "Acetylene". Pag. 176.
- (23) Monsalve Flores, Mario. "Aceros y hornos Eléctricos". Pag. 218.
- (29) Perry Chilton, "Manual del Ingeniero Químico". Pag. 2871.
- (38) Smith/Van Ness, "Termodinámica de Ingeniería Química", 1974, Tabla D1.

## 9.0 APENDICE



1.- ALCANCE

1.1 Esta Norma establece las características de tres tipos y cinco clases de ferromanganeso.

2.- DEFINICIONES Y CLASIFICACION

2.1 El ferromanganeso se clasifica en los tipos y clases siguientes:

Tipos de ferromanganeso	Clase de ferromanganeso
Alto carbono	FeMn - A1 FeMn - A2
Medio carbono	FeMn - M1
Bajo carbono	FeMn - B1 FeMn - B2

Siendo las designaciones:

- FeMn = ferromanganeso
- A = alto carbono
- M = medio carbono
- B = bajo carbono

23 DIC. 1975

Las cifras indican las clases.

4.- REQUISITOS

4.1 Composición química

4.1.1 La composición química de los tipos y clases de ferromanganeso deberá cumplir con los límites que se establecen en la tabla I.

TABLA I

Elemento	Ferromanganeso de alto carbono		Ferromanganeso de medio carbono	Ferromanganeso de bajo carbono	
	% FeMn-A1	% FeMn-A2	% FeMn-M1	% FeMn-B1	% FeMn-B2
Manganeso	78,1-82,0	74,0-78,0	80,0-85,0	80,0-90,0	80,0-90,0
Carbono, max.	7,5	7,5	1,5	0,75	0,75
Silicio, max.	1,5	1,5	1,5	2,0	5,0-7,0
Fósforo, máx.	0,35	0,35	0,30	0,20	0,30
Azufre, max.	0,050	0,050	0,030	0,030	0,030

4.1.2 Por acuerdo previo entre comprador y productor o vendedor se podrá variar el contenido de los elementos carbono, silicio, y fósforo de acuerdo con los límites máximos alternativos que se indican en la tabla II.

TABLA II

Elementos	Clase de ferromanganeso	Contenido (%) máx.
Carbono	FeMn - M1	1,0
	FeMn - B1 y	0,50;0,30;0,15;0,10
	FeMn - B2	0,07
Silicio	FeMn - A1 y	1,2;1,0
	FeMn - A2	
Fósforo	FeMn - M1	1,0
	FeMn - A1 y	0,20;0,10;(0,05-0,10)*
	FeMn - A2	
	FeMn - M1	0,20;0,10

\* El significado de (0,05 - 0,10) máx. es que se puede especificar cualquier máximo comprendido entre 0,05% y 0,10%.

4.1.3 Otros requisitos químicos, serán los establecidos en la Tabla III.

TABLA III

ELEMENTO	Ferromanganeso de alto carbono	Ferromanganeso de medio carbono	Ferromanganeso de bajo carbono
Arsénico máx (%)	0,30	0,15	0,10
Estaño, máx (%)	0,020	0,015	0,010
Plomo, máx (%)	0,050	0,050	0,020

- .2 Tolerancias en la granulometría. - Se podrá admitir un 10% máx de producto con granulometría menor que el tamaño mínimo especificado por el comprador y un 5% máximo con granulometría mayor que el máximo especificado. Esta tolerancia se aplicará en el momento de la entrega en la planta productora. Se pueden esperar ciertas variaciones en la granulometría durante su manejo y almacenamiento posteriores.

## 5. - MUESTREO Y RECEPCION

- 5.1 Para la recepción, el material se muestreará de acuerdo con los métodos indicados en la Norma INANTIC " Métodos para el muestreo y preparación de muestras de ferroaleaciones y otras adiciones metálicas".
- 5.2 Podrán usarse otros métodos de muestreo. En caso de discrepancias solo valdrán los resultados obtenidos con la Norma INANTIC " Métodos para el muestreo y preparación de muestras de ferroaleaciones y otras adiciones metálicas".
- 5.3 Si se usa algún método alternativo de acuerdo con lo que se establece en 6.2 y existen discrepancias, valdrán sólo los resultados obtenidos según el procedimiento establecido en la Norma INANTIC.

En los casos en que sea necesario analizar elementos cuyos métodos de análisis no estén contemplados en las Normas INANTIC, por acuerdo previo entre comprador y productor o vendedor, se elegirá el método que se empleará. En caso de que ello no sea posible se elegirá de común acuerdo un arbitro idóneo que llevará a cabo los análisis.

- 5.4 En caso de discrepancias en el análisis químico, los resultados del arbitro validarán los que más se le aproximen. En caso de discrepancias en la granulometría el fallo del arbitro será definitivo.

El productor entregará un certificado de análisis para cada lote indicando los contenidos de manganeso, carbono y silicio. A solicitud del comprador se indicará el contenido de los elementos restantes de la Tabla I y/o de otros elementos previamente convenidos.

- 5.6 El productor certificará que la granulometría cumple con lo especificado.
- 5.7 El producto que no cumpla con los valores especificados en esta Norma será rechazado a opción del comprador. En caso de reclamo se admitirá un solo remuestreo por un arbitro elegido previo acuerdo entre comprador y productor o vendedor, debiendo los resultados de los nuevos ensayos cumplir con los establecidos en esta Norma. En caso contrario se rechazará el lote.
- 5.8 Cualquier reclamo o rechazo del material será notificado al productor dentro de los 45 días contados desde la fecha de recepción por el comprador.

6.- ENSAYOS

- 6.1 Los ensayos y análisis para comprobar los requisitos de esta Norma se realizarán según las Normas INANTIC correspondientes.
- 6.2 Podrá usarse cualquier método alternativo de ensayo ó análisis que permita obtener resultados equivalentes.
- 6.3 Por acuerdo previo entre comprador y productor o vendedor se establecerá el método de determinación de la granulometría.
- 6.4 Las cifras que expresen el resultado de las determinaciones se aproximarán a la cifra decimal indicada en los límites que se especifican según esta Norma. Las aproximaciones se realizarán de acuerdo con lo dispuesto en la Norma INANTIC correspondientes.

7.- ENVASE Y ROTULADO

- 7.1 El ferromanganeso se entregará a granel o en envases adecuados, de tal modo que el producto no se pierda o contamine en el envío.
- 7.2 Todos los envases deberán llevar, perfectamente legible e indeleble, lo siguiente:
- Nombre completo del producto
  - Clase
  - Otras marcas que el comprador solicite.

9.- APENDICE

- 9.1 El comprador podrá designar un inspector idóneo, para la recepción del producto, el cual deberá ser previamente aceptado por el productor. El productor deberá dar al inspector, representante del comprador, todas las facilidades razonables, sin cargo extra, para asegurarle que el material sea suministrado de acuerdo con los requisitos de esta Norma.
- 9.2 Pedido El pedido debe incluir los siguientes datos:
- Cantidad
  - Nombre completo del producto
  - Clase
  - Requisitos químicos adicionales
  - Granulometría
  - Tipo de envase
  - Forma de envío
  - Acuerdos complementarios
  - Número ó nombre de esta Norma INANTIC.
- 9.3 El ferromanganeso se entrega normalmente en tamaños que van de 10 a 60 mm, de 40. a 100 mm, de 70 mm hasta tamaños cuyo peso no excede de 50 kg. y de 10 mm hasta tamaños cuyo peso no excede de 50 kg.

- 9.4 En transacciones internacionales, es recomendable que se establezca que el producto debe ser aceptado o rechazado por el comprador antes del embarque.
- 9.5 Esta Norma hace referencia a la siguiente Norma INANTIC N°341-034 "Método para el muestreo y preparación de muestras de ferroaleaciones y otras adiciones metálicas".
-



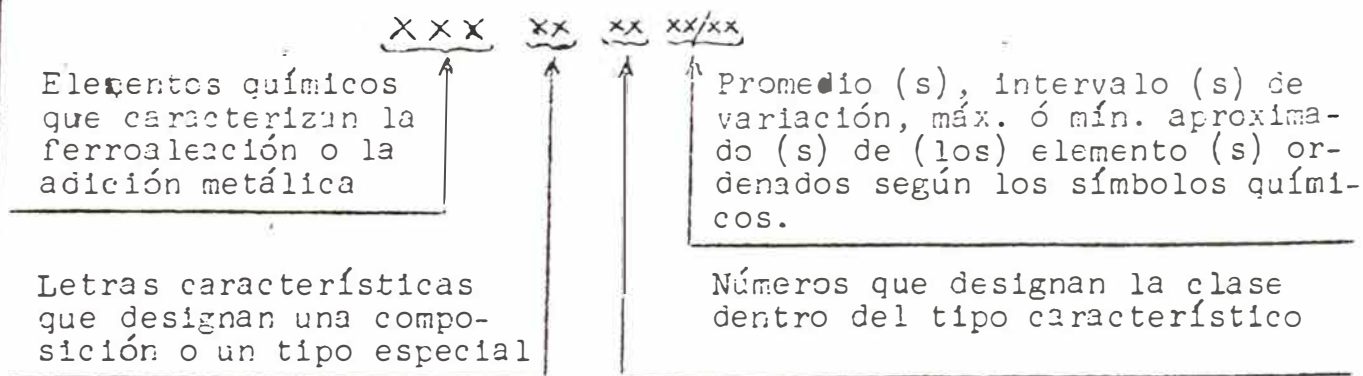
INSTITUTO DE INVESTIGACION TECNOLOGICA INDUSTRIAL Y DE NORMAS TECNICAS (ITINTEC) LIMA - PERU

1.- ALCANCE

1.1 Esta Norma establece el método de codificación de ferroaleaciones y otras adiciones metálicas.

4.- REQUISITOS

4.1 La codificación de las ferroaleaciones se realizará de acuerdo al siguiente esquema:



4.2 Para la aplicación específica del código se tendrá en cuenta la designación comercial usual de cada producto.

9.- APENDICE

9.1 Ejemplos

9.1.1 El silicomanganeso se designa:

SiMn/21-25

en este caso se usó el intervalo de variación del silicio que es la designación usual comercial.

9.1.2 El ferromanganeso de alto carbono se designa:

FeMn - A1

siendo en este caso A letra característica que designa el tipo alto carbono. La cifra indica la primera clase dentro de este tipo.

9.1.3 El ferrosilicio se designa.

FeSi/45

en este caso se usó la designación 45 que es la comercial usual y que se aproxima al mínimo de silicio de esta aleación.

9.1.4 El silicocalcio se designa:

SiCa/63/32

en que se usaron los promedios de los elementos constituyentes de la ferroaleación que es la designación usual.

PERU NORMA TECNICA NACIONAL	FERRO-ALEACIONES Método de Ensayo para la Deter- minación de Manganeso en Ferro manganeso. (Método del Bismuta- to de Sodio).	ITINTEC 341.106 Diciembre 1975
-----------------------------------	---	---

## 1. OBJETO

1.1 Esta Norma establece el método para la determinación de manganeso en ferromanganeso y silicomanganeso.

## 2. MÉTODO DE ENSAYO

### 2.1 Principio del método

Se disuelve la muestra con ácido nítrico, se reduce el bióxido de manganeso formado con ácido sulfuroso y se convierte el manganeso a ácido permangánico por adición de bismutato de sodio, se agrega una cantidad en exceso de ferrosulfato de amonio y dicho exceso se valora con una solución de permanganato de potasio para ver cuanto ferrosulfato consumió el ácido permangánico presente.

### 2.2 Aparatos

Material usual de laboratorio.

### 2.3 Reactivos

2.3.1 Acido perclórico;  $d = 1,67$

2.3.2 Bismutato de sodio 80% pureza y libre de manganeso y cloruros.

Se debe probar la pureza de este reactivo de la siguiente manera:

Se pesan 0,5g. de bismutato de sodio y 4g. de yoduro de potasio y se mezclan con un poco de agua en un matraz Erlenmeyer, se añaden 15ml de ácido clorhídrico concentrado y se deja reposar en la obscuridad, hasta que todo el bismutato se ha disuelto. Se diluye a 300ml y se titula con tiosulfato de sodio 0,1 N usando almidón como indicador.

Un ml de la solución de tiosulfato debe ser equivalente a 0,0140g. de bismutato de sodio.

2.3.3 Solución 3:97 de ácido nítrico.- Se prepara con 3 partes de ácido nítrico concentrado por 97 partes de agua destilada.

2.3.4 Ferrosulfato de amonio.- Se requiere cristales pequeños de ferrosulfato de amonio, al cual se le determinará su equivalente de manganeso de la siguiente manera:

Se pasan 2g. de bismutato de sodio y se llevan a un matraz Erlenmeyer de un litro, se agregan 250ml de una solución fría de ácido nítrico (una parte de ácido por 3 de agua) y se agita vigorosamente por un minuto. Se diluye con 250ml de agua destilada y se filtra inmediatamente a través de una capa de asbesto lavada con ácido. Se añaden al filtrado 100ml de solución 0.1 N de permanganato de potasio, se mezcla y se agregan 5g. de ferrosulfato de amonio y unas cuantas gotas del indicador 0,01 M de orto-fenantrolina, titulando inmediatamente hasta una coloración verde (persistente por 30 segundos) con la solución 0,1 N de permanganato de potasio.

2.3.5 Orto-fenantrolina 0.025 M.- Se disuelven 1,485g. de monohidrato de orto-fenantrolina en 100ml de una solución 0,025 M de sulfato ferroso. (La solución 0,025 M de sulfato ferroso se prepara disolviendo 3,8g. de sulfato ferroso en 100ml de agua destilada.)

## 2.4 Procedimiento

2.4.1 Se pesan 0.25g. de la muestra y se transfiere a un matraz Erlenmeyer de un litro, se añaden 15ml de ácido nítrico y se calienta cuidadosamente hasta disolución de la muestra. Se añaden 8ml del ácido perclórico y se hierve hasta abundante humos blancos y densos y separación del bióxido de manganeso. Se debe aplicar calor al matraz de tal manera que el ácido perclórico refluje por las paredes del matraz y no se pierda gran cantidad. Se enfría y se añaden 5ml de agua y 25ml de solución 1:3 de ácido nítrico, se llevan a la ebullición por varios minutos y se agrega gota a gota el ácido sulfuroso al 6% necesario para disolver el bióxido de manganeso, se continúa la ebullición por tres minutos más, se enfría a temperatura ambiente y se agregan 225ml de la solución 2:5 de ácido nítrico y agua para alcanzar un volumen total de 250ml, se enfría a 10°C-15°C y se añaden aproximadamente 7g. de bismutato de sodio, se agita durante un minuto, se agregan 250ml de agua destilada fría y se filtra inmediatamente a través de asbesto o de vidrio poroso, lavando filtro y residuo con solución 3:97 recientemente hervida de ácido nítrico hasta que los lavados sean incoloros. (Se debe evitar que el filtro se seque durante el proceso de filtrado).

Se añaden 9g. de ferrosulfato de amonio a la solución filtrada, se agita hasta que la reacción de reducción termine y se añaden unas gotas del indicador del orto-fenantrolina titulando el exceso de ferrosulfato con la solución valorada de permanganato de potasio 0,1 N hasta un color verde que persiste cuando menos 30 segundos.

- 2.4.2 Para el análisis de silico-manganeso con 60% - 70% de manganeso se debe emplear 0,3 g de muestra y 1 g de muestra cuando este contenido sea de 20% a 25%. Se debe efectuar además; la siguiente modificación al procedimiento de análisis.

Se pesa la muestra y se transfiere a una cápsula de platino, se añade 10ml de ácido fluorhídrico y cuando la reacción se vuelve moderada se añade unas gotas de ácido nítrico hasta lograr la disolución de la muestra se añade 8 ml del ácido perclórico y se evapora a humos densos y separación de bióxido de manganeso.

Se enfría y se transfiere a un matraz Erlenmeyer de un litro, se hierve por varios minutos y se enjuaga la cápsula de platino con 25 ml de solución 1:3 de ácido nítrico y suficiente ácido sulfuroso para disolver el bióxido de manganeso; se continúa la ebullición por 3 minutos más. Se agregan 225 ml de solución 2:5 de ácido nítrico y el agua necesaria para llevar a un volumen de 250 ml, se enfría a 10°C-15°C y se continúa como en el procedimiento a partir de la adición del bismutato de sodio.

Se efectúa una prueba en blanco usando los mismos aparatos, procedimiento y cantidad de todos los reactivos.

## 2.5 Expresión de resultados

2.5.1  $\% \text{ Mn} = \frac{(A - B) \times 0,0110}{P} \times 100$

donde:

A = ml de solución 0,1 N de permanganato de potasio necesarios para la cantidad añadida de ferrosulfato.

B = ml de solución 0,1 N de permanganato de potasio gastados para titular el exceso de ferrosulfato durante la determinación.

P = Gramos de muestra empleados

PERU NORMA TÉCNICA NACIONAL	<u>FERRO-ALEACIONES</u> Ferrosilicio	ITINTEC 341.038 Enero, 1970
-----------------------------------	---	-----------------------------------

## 1.- ALCANCE

1.1 Esta Norma establece las características de cuatro clases de ferrosilicio.

## 2.- DEFINICIONES Y CLASIFICACIÓN

2.1 El ferrosilicio se clasifica en las clases siguientes:

FeSi/90, FeSi/75, FeSi/45; FeSi/15

Siendo las designaciones: FeSi = símbolo de ferrosilicio. Las cifras indican el mínimo aproximado del contenido de silicio.

## 4.- REQUISITOS

### 4.1 Composición química

4.1.1 La composición química de las clases de ferrosilicio deberá cumplir con los límites que se establecen en la Tabla I.

Tabla I

Elemento	FeSi/90 %	FeSi/75 %	FeSi/45 %	FeSi/15 %
Silicio	89,0-93,0	74,0-79,0	44,0-51,0	14,0-19,0
Carbono, max	0,15	0,15	0,15	0,15
Azufre, max	0,025	0,025	0,025	0,040
Fósforo, max	0,050	0,050	0,050	0,10
Aluminio, max	2,5	2,00	1,50	1,25

4.1.2 Por acuerdo previo entre comprador y productor o vendedores se podrá variar el contenido de fósforo y aluminio de la Tabla I de acuerdo con los límites máximos alternativos que se indican en la Tabla II.

Tabla II

Elemento	Clase de Ferro-Silicio	Contenido(%) máx
Fósforo	FeSi/90; FeSi/75; FeSi/45	0,040;0,030;0,020
Aluminio	FeSi/90	1,0
	FeSi/75	1,25;0,75
	FeSi/45	2,00;1,00;0,50

4.1.3 Para el grado FeSi/75 el contenido de calcio podrá ser de 0,5% a 3,0%.

4.1.4 Por acuerdo previo entre comprador y productor o vendedor podrán especificarse los contenidos de otros elementos químicos o incluidos en la Tabla I.

4.2 Tolerancia en la granulometría.- Cuando el ferrosilicio se pida en tamaños de más de 25 mm se podrá admitir un 15% máx. de producto con granulometría menor que el tamaño mínimo especificado por el comprador y un 5% máx. con granulometría mayor que el tamaño máximo especificado. Esta tolerancia se aplicará en el momento de la entrega en la planta productora. Se pueden esperar ciertas variaciones en la granumetría durante su manejo almacenamiento posteriores.

#### 5.- MUESTREO Y RECEPCION

5.1 Para la recepción, el material se muestreará de acuerdo con los métodos indicado. En la Norma ITINTEC 341.034 Ferro Aleaciones. Método para el Muestreo y Preparación de la Muestras de Ferro Aleaciones y otras Adiciones Metálicas.

5.2 Podrán usarse otros métodos de muestreo. En caso de discrepancias sólo valdrán los resultados obtenidos con la Norma ITINTEC 341.034 Ferro-Aleaciones. Método para el Muestrero y Preparación de las Muestras de Ferro-Aleaciones y otras Adiciones Metálicas.

5.3 Si se usa algún método alternativo de acuerdo con lo que se establece en 6.2 y existen discrepancias, valdrán sólo los resultados obtenidos según el procedimiento establecido en la Norma ITINTEC. En los casos en que sea necesario analizar elementos cuyos métodos de análisis no estén contemplados en las Normas ITINTEC, por acuerdo previo entre comprador y productor o vendedor se elegirá el método que se empleará. En caso de que ello no sea posible se elegirá de común acuerdo un árbitro idónea que llevará a cabo los análisis.

5.4 En caso de discrepancias en al análisis químico, los resultados del árbitro validarán los que más se le

aproximen. En caso de discrepancias en la granulometría el fallo del árbitro será definitivo.

- 5.5 El productor entregará un certificado de análisis para cada lote indicando el contenido del silicio y de calcio cuando se especifique ferrosilicio con calcio. A solicitud del comprador se indicará el contenido de los elementos restantes de la tabla I y/o de otros elementos previamente convenidos.
- 5.6 El productor certificará que la granulometría cumple con lo especificado.
- 5.7 El producto que no cumpla con los valores especificados en esta Norma será rechazado a opción del comprador. En caso de reclamo se admitirá un solo remuestreo por un árbitro elegido previo acuerdo entre comprador y productor o vendedor, debiendo los resultados de los nuevos ensayos cumplir con lo establecido en esta norma. En caso contrario se rechazará el lote.
- 5.8 Cualquier reclamo o rechazo del material será notificado al productor dentro de los 45 días contados desde la fecha de recepción por el comprador.

#### 6.- ENSAYOS

- 6.1 Los ensayos y análisis para comprobar los requisitos de esta Norma se realizarán según las Normas INTINTEC correspondientes.
- 6.2 Podrá usarse cualquier método alternativo de ensayo o análisis que permita obtener resultados equivalentes.
- 6.3 Por acuerdo previo entre comprador y productor o vendedor se establecerá el método de determinación de la granulometría.
- 6.4 Las cifras que expresen el resultado de las determinaciones se aproximarán a la cifra decimal indicadas en los límites que se especifiquen según esta Norma. Las aproximaciones se realizarán de acuerdo con lo dispuesto en las Normas INTINTEC correspondientes.

#### 7.- ENVASE Y ROTULADO

- 7.1 El ferrosilicio se entregará a granel o en envases que eviten el que se pierda el producto ó contamine en el envío.
- 7.2 Todos los envases deberán llevar, perfectamente legible e indeleble, lo siguiente:
  - Nombre completo del producto
  - Clase
  - Otras marcas que el comprador solicite.



## *Standard Specifications for* QUICKLIME FOR CALCIUM CARBIDE MANUFACTURE<sup>1</sup>



ASTM Designation: C 258 - 52 (Reapproved 1968)<sup>2</sup>

This Standard of the American Society for Testing and Materials is issued under the fixed designation C 258; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval.

### Scope

1. These specifications cover quicklime suitable for use in the manufacture of calcium carbide.

### General Requirements

2. High calcium quicklime is required for use in calcium carbide manufacture. The quicklime shall be substantially free of ash, dirt and core. It shall be in lump or pebble form in order to mix uniformly with lump coke when placed in the electric furnace.

### Chemical Composition

3. Quicklime shall conform to the following requirements as to chemical composition calculated to the nonvolatile (that is, moisture and carbon dioxide-free) basis:

Total calcium oxide (CaO), min, per cent.	02
Magnesium oxide (MgO) max, per cent.	1.75
Silica (SiO <sub>2</sub> ), max, per cent.	2.0
Combined iron and aluminum oxides (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), max, per cent.	1.0*
Sulfur (S), max, per cent.	0 "
Phosphorus (P), max, per cent.	0.02
Loss on ignition, sample taken at place of manufacture, max, per cent.	4.0

\* Not over one half of this 1.0 per cent may be iron oxide (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

### Methods of Test

4. The chemical analysis of the lime shall be made in accordance with the Methods of Chemical Analysis of Limestone, Quicklime, and Hydrated Lime (ASTM Designation: C 25).<sup>2</sup>

### Sampling, Inspection, etc.

5. The sampling, inspection, rejection, retesting, packing, and marking shall be conducted in accordance with the Methods of Sampling, Inspection, Packing, and Marking of Lime and Limestone Products (ASTM Designation: C 50).<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Under the standardization procedure of the Society, these specifications are under the jurisdiction of the ASTM Committee C-7 on Lime. A list of members may be found in the ASTM Year Book.

Current edition accepted Sept. 30, 1952. Originally issued 1950. Replaces C 268 - 60 T.

<sup>2</sup> Appears in this publication.

# JIS

JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD

Calcium Carbide

 JIS K 1901 - 1983

Translated and Published

by

Japanese Standards Association

REPSA CASTABLE STANDARD  
REPSA BAFFLE MIX  
REPSA CASTABLE EXTRA  
REPSA CASTABLE SUPER  
REPSA HARCAST  
REPSA CASTABLE 2-72  
REPSA CASTABLE ALTA ALUMINA  
REPSA CASTABLE 1-76  
REPSA CHROMEPAK  
REPSA CASTABLE CROMO  
REPSA CASTABLE CROMO ES

# CONCRETOS REFRACTARIOS

Los concretos refractorios o "Castables" que produce REPSA, son preparaciones formadas por granulos de material refractario, molidos al tamaño adecuado, mezclados completamente con una cantidad precisa de cementos refractarios especiales, generalmente de fragua hidráulica, que con el agregado de una determinada proporción de agua se transforma en una mezcla muy trabajable que endurece rápidamente. Con los concretos refractorios se pueden hacer instalaciones nuevas o reparaciones a materiales refractorios que fallan o se deterioran en el servicio; se usan pues para reemplazar a los ladrillos refractorios convencionales, para fabricar de emergencia formas especiales complicadas, para reparar zonas del horno afectadas por desgaste físico o ataque químico y en general para hacer construcciones monolíticas, sin juntas de unión e impermeables.

## INSTALACION

### COMO MEZCLAR:

Como cualquier concreto refractario estructural, los "Castables" refractarios que fabrica REPSA se suministran en forma seca y para prepararlos necesitan solamente de ser mezclados con una cantidad de agua limpia y fresca, cantidad que varía generalmente entre el 8 y el 15% en peso. Como regla general se dice que la densidad final del producto está en relación inversa a la cantidad de agua usada. Es indispensable uniformizar perfectamente la mezcla húmeda antes de instalarla. La preparación de la mezcla depende también del método que se usará para instalarlo, esto es:

- A.- Mezclado manual, para instalación con badilejo.
- B.- Manual o mecánico, generalmente en función del tamaño de la obra, para instalación por vaciado en encofrados.
- C.- Mecánico (automático) para instalación con pistola.

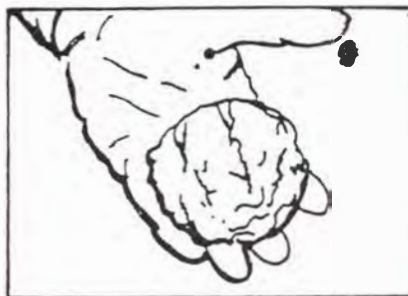
Aunque la consistencia de la mezcla varía según la finalidad de la aplicación, hay una regla sencilla para determinar el punto ideal, ésta es: se forma una bola uniformemente mezclada, de unos 10 cms. de diámetro, se lanza al aire unos 30 cms. y se recibe con la mano entre abierta; si la bola se desintegra al empararla es porque al material le falta agua y si se escurre entre los dedos es porque le sobra agua.

### COMO INSTALAR:

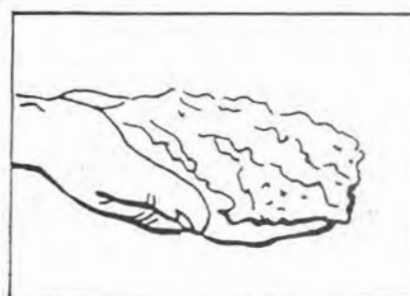
En la instalación hay que tener en cuenta dos factores; el primero es la forma de aplicación y el segundo es el fraguado. Los "Castables" se instalan bien sea con el badilejo, mediante el vaciado en un encofrado o molde, o proyectándolo con una pistola neumática sobre la zona que se desea revestir. En las aplicaciones por vaciado es necesario vibrar, sacudir o rebullir el encofrado. Con el badilejo no hay que pulir la superficie.



A.- Demasiada agua en la mezcla



B.- Muy poca agua en la mezcla



C.- Mezcla bien preparada

Para obtener mejores resultados se usan los "Castables" asegurándolos con anclajes, cerámicos o metálicos, contra la estructura del horno; si el molde o el material donde se instalará el "Castable" absorbe humedad, es imperativo que sea mojado previamente, para evitar que tome agua del concreto y malogre el fraguado.

Una vez instalado el material hay que dejarlo fraguar; el fraguado dura 12 horas de "curado" mas 24 horas de "secado". "Curar" la instalación consiste en cubrir con agua o mantener en ambiente húmedo toda la zona de la aplicación, debido a que los concretos requieren agua para fraguar y desarrollar toda su resistencia; el "secado" debe hacerse a aire y sin aplicar calor, usando solamente las condiciones atmosféricas normales.

PROPIEDADES TÍPICAS

	CASTABLE 2-72	CASTABLE ALTA ALUMINA	CASTABLE 1-76
COMPOSICION APROXIMADA (°/o)			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	56.6	63.3	89.6
SiO <sub>2</sub>	33.2	29.2	5.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.4	1.8	1.1
CaO	3.7	1.8	1.8
TEMPERATURA MAXIMA DE TRABAJO (°C)	1,590	1,650	1,760
RESISTENCIA A LA FLEXION (Kg/cm <sup>2</sup> ):			
Secado a 110°C	41 a 70	28 a 49	23 a 24
Quemado a 816°C	21 a 35	21 a 42	
Quemado a 1,650°C		98 a 161	
CANTIDAD REQUERIDA (Kg/m <sup>3</sup> )	2,160	2,160	2,340
CANTIDAD DE AGUA NECESARIA (°/o)	10 a 12	8 a 10	12 a 14

PREPARACION Y APLICACION

Para preparar los castables de alta alúmina basta agregar al contenido seco de las bolsas, agua limpia y fresca, en proporción definida, mezclar hasta obtener la consistencia adecuada de pasta húmeda y trabajabilidad deseada. Según sea la aplicación solicitada se procede a instalar siguiendo uno de los métodos siguientes:

- Por vaciado dentro de un encofrado y ayudándose con un vibrador,
- Por asentamiento manual con badilejo, o
- Por proyección mecánica con pistola neumática, directamente sobre la superficie a recubrir.
- Por proyección mecánica con pistola neumática, directamente sobre la superficie a recubrir.

Si la aplicación es en frío, después de instalado, debe dejarse fraguar, "curándolo", durante 12 horas dentro del molde o encofrado, y, luego, hacerlo secar aireándolo por 24 horas adicionales. Entonces puede someterse a un calentamiento cuidadoso y progresivo, que tiene que ser lento, para evitar rajaduras por vaporización del agua de preparación.

Si la aplicación es en caliente el producto desarrolla una liga estable, casi inmediatamente después de aplicado, sin que se produzca el fraguado hidráulico, por lo que desaparecen los riesgos y dificultades del calentamiento.

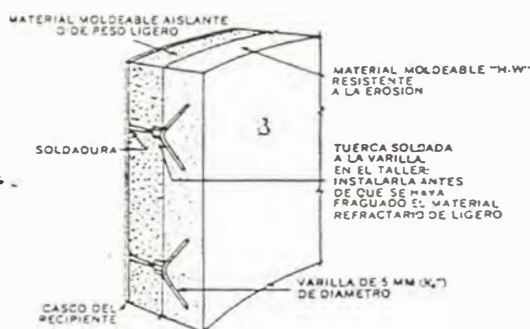
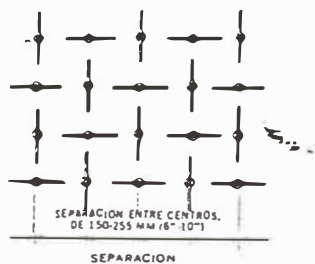
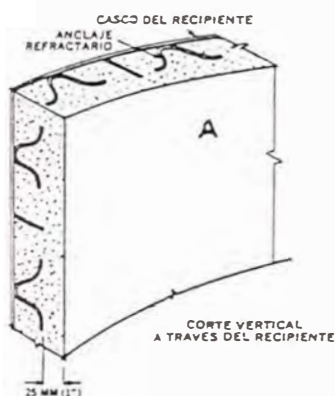
Para obtener mejores resultados se recomienda anclar los castables, con anclajes cerámicos o metálicos, a la superficie que se aplica. Otro sistema recomendado es la introducción de fibra metálica térmica, que desarrolla el complemento ideal tanto para asegurar el material como para incrementar su resistencia.

MÉTODOS DE APLICACION:

A Simple

B Compuesta

TECNICA DE VIBRADO



Los productos REPSA cumplen con las especificaciones nacionales de ITINTEC e internacionales de ASTM

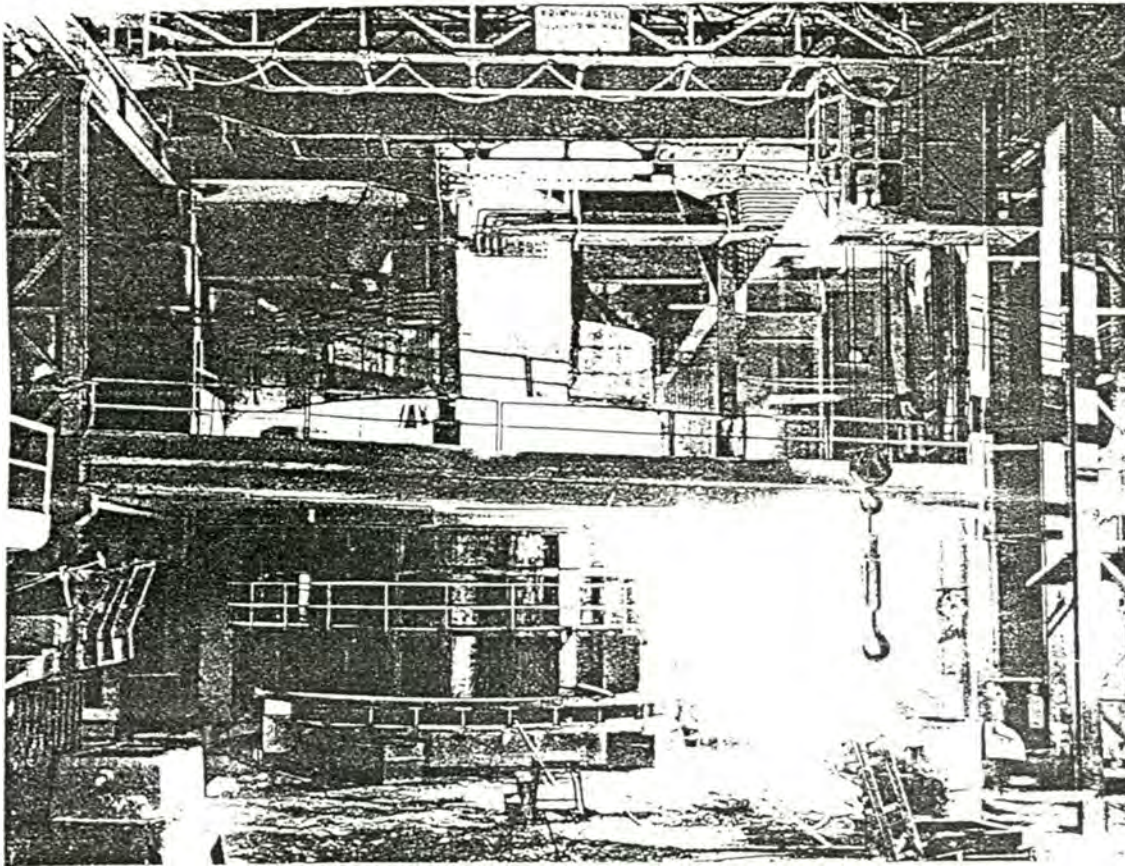
**REFRACTARIOS PERUANOS S. A.**

Apartado 2828 - Lima, Perú



ASOCIADA A: HARBISON-WALKER REFRACTORIES





## Material para electrodos— Lessing Söderberg y su utilización

### Generalidades.

El desarrollo del electrodo Söderberg, llamado también electrodo autocombustible de larga duración, se remonta al año 1909. Fué entonces cuando el ingeniero sueco C. W. Söderberg emprendió en Noruega investigaciones sobre la utilización de electrodos de carbón no quemados en hornos eléctricos, de tal manera que estos electrodos se quemaran mediante el calor por efecto Joule de la corriente eléctrica inducida, así como del calor despedido por el horno.

En hornos eléctricos de reducción, las circunstancias son muy favorables para la fabricación de carburo de calcio, aleaciones de hierro, corindón eléctrico y fósforo.

# Datos técnicos

del material LESSING-Söderberg para electrodos Núm. 1359 N para la fabricación de carburo de calcio

La especialidad LESSING Núm. 1359 N, la que se presta mejor a la fabricación de carburo de calcio, presenta las siguientes constantes técnicas, que se dan a continuación como calores indicativos:

## 1. En estado plástico no quemado:

Densidad (Peso volumétrico)	aprox 1.65 g/cm <sup>3</sup>
Pérdida por incandescencia (determinada por el método Brockmann-Muk), equivalente a los componentes volátiles	aprox 13.5—14.5 %
Componentes minerales (contenido de cenizas)	aprox 4.5—6 %
Punto de ablandamiento	aprox 90—100 °C
Composición	Antracita de alta calidad, coque de petróleo, grafito, brea de hulla, alquitrán de hulla y aceites de brea
Solubilidad en el toluol	aprox 13.5—14.5 %
Solubilidad en el tricloroetileno	aprox 14—15 %
La masa de Söderberg pierde durante el proceso de combustión en el revestimiento de hierro aprox 10—11 % de su peso, pero solamente aprox 1/2 % de su diámetro.	

## 2. Después de la combustión

Densidad (peso volumétrico)	aprox 1,50—1,55 g/cm <sup>3</sup>
Peso específico verdadero	aprox 1,90—1,95 · 10 <sup>-2</sup> N/cm <sup>3</sup>
Porosidad	aprox 20—22 %
Resistencia a la compresión	aprox 250—300 da N/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la flexión	aprox 50—100 da N/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la tracción	aprox 30—50 da N/cm <sup>2</sup>
Componentes minerales (contenido de cenizas), la ceniza se compone en un tercio aprox de óxido de silicio, óxido de hierro, y una mezcla de óxido de aluminio y óxido de calcio	aprox 5—6 %
Contenido de azufre	aprox 1 %
Resistencia eléctrica específica	aprox 55—70 · 10 <sup>-6</sup> Ohm m a 20 °C
Coefficiente de temperatura de la resistencia	aprox menos 0,0003
Coefficiente de dilatación lineal al calor	aprox 5 · 10 <sup>-6</sup>

## 10. ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

A	=	Amperios	g	=	gramos
a	=	Area lateral	H	=	Altura
CaCN <sub>2</sub>	=	Cianamida Cálcica	hr	=	Hora
CaC <sub>2</sub>	=	Carburo de Calcio	I	=	Intensidad de corrientes
cm <sup>3</sup>	=	Centímetros Cúbicos	JIS	=	Norma Técnica Japonesa
cm	=	Centímetros	Kg	=	Kilogramo
cal	=	Calorías gramo	Kcal	=	Kilocaloría
Cp	=	Calor específico	KVA	=	Kilo Voltio Amperio
Cos(α)	=	Factor de Potencia	Kwh	=	Kilo Watio Hora
D	=	Diámetro	Kw	=	Kilo Watio
Fe-Si	=	Ferrosilicio	l	=	litro
Fe-Mn	=	Ferromanganeso	m	=	metro
Fe-Cr	=	Ferrocromo	mm	=	milímetro
ft	=	Pies	NTP	=	Norma Técnica Peruana

PVC = Policloruro de Vinilo

Q = Caudal (l/s)

s = segundo

Si = Silicio

T = Tiempo

Tn = Tonelada

v = voltios

V = Volúmen

°C = Grados Centígrados

°F = Grados Farenh

δ = Densidad de Corrientes