



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

TESIS DONADA POR  
D. G. B. - UNAM

SUSTITUCION DEL CUBILOTE CONVENCIONAL POR NUEVOS  
HORNOS QUE ABATEN LAS EMISIONES CONTAMINANTES  
A LA ATMOSFERA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :  
INGENIERO QUIMICO METALURGICO.

P R E S E N T A :

JOSE ARTURO IGNACIO RIOS SALGADO

MEXICO D. F.

1983



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

# I N D I C E

| <u>T E M A</u>  | <u>PAG.</u> |
|---|-------------|
| <u>CAPITULO I</u>   |             |
| Introducción.....   | 1           |
| <u>CAPITULO II</u>  |             |
| Generalidades.....  | 4           |
| Producción Nacional de Hierro Gris con Horno de Cubilote Convencional.....      | 7           |
| "Horno Rotatorio".....  | 8           |
| Horno de Cubilote "Sin Coque".....  | 8           |
| Fuentes Evaluadas.....  | 9           |
| Clasificación de Emisiones Provenientes del Horno de Cubilote Convencional..... | 10          |
| <u>CAPITULO III</u>   |             |
| Consideraciones de Diseño y Operación de los Hornos propuestos.....             | 13          |
| Horno de Cubilote "Sin Coque".....  | 13          |
| Parrilla.....   | 13          |
| Fusión.....   | 14          |
| Preparación del Ademe Interior.....   | 15          |
| Quemadores.....   | 16          |
| Cargas de Materia Prima.....  | 17          |
| Construcción de las Corazas.....  | 17          |
| Sistema Secundario de Combustión.....   | 18          |
| Operación.....  | 18          |
| Temperatura del Metal.....  | 21          |
| Especificaciones del Metal.....   | 23          |

T E M A

PAG.

CAPITULO III  
(Continúa)

|   |    |
|---|----|
| Inyección del Material Recarburizador.....                | 24 |
| Materias Primas con exceso de grasa y aceite...           | 24 |
| Hierro Nodular.....                                       | 25 |
| Consumo de los materiales que sustituyen al<br>Coque..... | 25 |
| "Horno Rotatorio".....                                    | 27 |
| Bastidores.....   | 27 |
| Recuperador de aire caliente.....                         | 27 |
| Pedestal Soporte de la Cámara de Combustión....           | 28 |
| Conexiones al Quemador.....                               | 28 |
| Transferencia de Calor en los Hornos.....                 | 29 |
| Primera Fase, Segunda Fase.....                           | 30 |
| Tercera Fase.....   | 31 |
| Combustión.....   | 31 |
| Carro de Salida de Gases.....                             | 32 |
| Bomba de Combustible.....                                 | 33 |
| Recuperador de Aire Caliente.....                         | 33 |
| Ductos.....   | 34 |
| Motor Ventilador.....                                     | 35 |
| Tablero de Instrumentos.....                              | 35 |
| Refractario del Horno.....                                | 36 |
| Apisonado, Secado y Sinterizado.....                      | 37 |
| Vidriado.....   | 38 |
| Secuencia para cargar el Horno.....                       | 38 |
| Proceso de Fusión.....                                    | 40 |

T E M A

PAG.

CAPITULO IV

|   |    |
|---|----|
| Muestreo de Gases y Partículas.....   | 42 |
| Objetivo.....   | 42 |
| Muestreo Isocinético.....   | 42 |
| Muestreo de Gases.....  | 43 |
| Tiempo y Gasto de Muestreo.....   | 43 |
| Instalaciones y requisitos en campo para reali<br>zar un Muestreo.....              | 44 |
| Puertos de Muestreo.....  | 44 |
| Plataforma de Operación.....  | 45 |
| Tren de Muestreo.....   | 46 |
| Equipo Complementario de Muestreo.....  | 48 |
| Procedimientos Preliminares y Definitivos de<br>Muestreo en Ductos y Chimeneas..... | 48 |
| Resultados obtenidos durante las Evaluaciones.                                      | 49 |

CAPITULO V

|                          |    |
|--------------------------|----|
| Análisis Económico.....  | 61 |
| Costos Comparativos..... | 62 |

CAPITULO VI

|  |    |
|--|----|
| Conclusiones.....                              | 68 |
| "Horno Rotatorio", Ventajas y Desventajas..... | 68 |
| Horno de Cubilote "Sin Coque. Ventajas.....    | 69 |
| Desventajas.....                               | 71 |

A P E N D I C E

|  |    |
|--|----|
| Distribución por diámetro de partículas..... | 74 |
| Grado Toxicológico.....                      | 75 |
| Nomenclatura.....                            | 77 |
| Bibliografía.....                            | 80 |

## C A P I T U L O I

### INTRODUCCION

El desarrollo industrial ha traído como consecuencia, a nivel mundial, la perturbación de la Ecología de los países y - por lo tanto un considerable deterioro de la Biosfera o medio ambiente en sus características naturales.

Los factores básicos que deben de tomarse como causas directas de la Contaminación Ambiental se resumen en:

- A) Explosión demográfica.
- B) Utilización de materias primas en forma indebida.
- C) Utilización de procesos inadecuados.
- D) Crisis económica (Inflación).
- E) Uso indebido de combustibles.

Al referirnos a éste último factor, son tristemente célebres los neblumos (Smog) del Valle de Mosa (Bélgica), Londres, y Pensilvania, que se incrementaron con las condiciones meteorológicas prevaletentes en dichos países, inversión térmica que en la ciudad de México se presenta de acuerdo a estadísticas meteorológicas aproximadamente durante 300 días del año.

A raíz de estas situaciones y de algunas otras que no han tenido gran repercusión o atención, se han derivado estudios a través de diversos organismos, auspiciados en algunos casos, - por la Organización de las Naciones Unidas, Oficinas de Protección

Ambiental, Agencias Gubernamentales, etc., que se preocupan por que exista una estrecha relación de cooperación internacional, - tanto en las técnicas y adelantos para la recuperación y preservación del medio ambiente, como de la planificación total del desarrollo económico y social de los países.

Una de las industrias vitales en la vida económica y del progreso de los países, es sin duda la del hierro y el acero. Como consecuencia inmediata de este auge industrial, se contempla la problemática de la emisión a la atmósfera de sustancias - y contaminantes que la deterioran en forma considerable. Merece - especial atención la contaminación resultante de la fabricación - de Hierro Gris a través del uso del Horno de Cubilote Convencional, por ello, ha surgido la imperiosa necesidad de presentar soluciones para:

1. Abatimiento de Emisiones Contaminantes a la Atmósfera.
2. Reducción en los costos de producción.
3. Utilización y mejor uso de otros combustibles.
4. Equipos de fácil operatividad.
5. Actualización en la tecnología, etc.

Con el presente trabajo, se pretende el convencimiento práctico y real para lograr las soluciones anteriormente - planteadas, sugiriendo para ello el empleo de nuevos hornos para la fabricación de Hierro Gris, que abaten las emisiones a la atmósfera, en las pequeñas y medianas industrias de la fundición.

El Horno de Cubilote convencional ha sido usado por más de cien años y hasta la fecha no ha presentado modificación alguna respecto a su operatividad. La idea del presente trabajo es la de enfatizar las ventajas que se obtendrían de llevar a cabo la sustitución antes mencionada, considerando primordialmente, la necesidad de hacer frente al grave y agudo problema que acecha a nuestro país entre otros, la Contaminación Ambiental que se incrementa y prevalece y que con la instalación y uso de estos equipos se satisfacerían las necesidades y demandas de los materiales básicos.

Es innegable que la industria debe tomar conciencia de los problemas que atañen no solamente a la productividad, costos de operación, capacidad de producción, etc., sino también a la responsabilidad de no alterar el equilibrio ecológico del medio ambiente de nuestro país.

## C A P I T U L O   I I

### GENERALIDADES

El estado actual de nuestro desarrollo industrial se caracteriza por una creciente intensidad en el uso del hierro y el acero, es decir, que a medida que se incrementa el Producto Interno Bruto, la producción de Hierro y Acero crece más que proporcionalmente. Se ha estimado que las proyecciones a nivel mundial de la Industria Siderúrgica entre los años de 1980 a 1990, habrá de incrementar la capacidad instalada en 200 millones de toneladas, de los cuales 17 millones corresponderían a México, - es decir, un 8.5%, de lo anterior se concluye que nuestro país tiene a nivel mundial planes de expansión ambiciosos.

Como resultante de la creciente industrial, los Asentamientos Humanos, y el incremento macrocefálico, entre otros, - en la economía del país, ha traído de entre muchas consecuencias que actualmente en el Valle de México se encuentran establecidas numerosas industrias, fábricas, establecimientos comerciales mayores, medianos y pequeños, giros de diferentes servicios y todo tipo de negocios que, de acuerdo a su capacidad de producción, - en términos generales representan aproximadamente un 50% de la producción total del país, si ésta fuera medible en dinero.

Es bien conocido que desde que el hombre hizo su aparición en la Tierra, ha existido el problema de la Contaminación

(En todas sus áreas) por lo que debemos estar conscientes de que la actividad eólica, volcánica, y biológica, aumenta el fenómeno de destrucción de las características naturales del medio ambiente.

La industrialización en nuestro país está aunada con el uso de los combustibles, en algunos casos en forma indiscriminada, dando lugar a que la Contaminación Atmosférica y en especial en ciertas regiones del país, importantes por su grado de desarrollo industrial, empiece a adquirir niveles peligrosos, cuyos efectos se reflejan en la comunidad (enfermedades pulmonares, de la vista, gástricas, emocionales, etc.) así como en el desequilibrio ecológico.

De los combustibles de mayor consumo se menciona el carbón que paulatinamente está siendo sustituido por el petróleo. Algunos de sus derivados y en algunos lugares se ha logrado en forma definitiva el uso del gas, como una de las acciones dirigidas para lograr el abatimiento de la Contaminación originada por el fenómeno de combustión.

De las últimas estadísticas (año de 1976) cabe destacar que en el área metropolitana de la ciudad de México, se arrojaron a la atmósfera  $6 \times 10^5$  toneladas de contaminantes que, clasificados se describen a continuación:

- 50% de SOx
- 20% de material particulado
- 20% de precursores de ozono en adición a una mezcla de otros contaminantes.

El resto, incluye desechos de nitrógeno, plomo, gases no determinados por desconocerse en algunos casos las reacciones químicas que se llevan a cabo; es válido estadísticamente el considerar de manera estimativa que un 30% de estas cantidades se incrementan anualmente a la atmósfera, de tal manera que, para 1983, se espera una emisión de material particulado de 6882 toneladas.

Para el Valle de México, la distribución porcentual de emisión de partículas en la Industria del Hierro y Acero es: 2.2% para acero y 3% en la producción de Hierro Gris; fabricación de cemento 57.5%; productos químicos 17%, entre otros. El total de las diferentes emisiones se ha considerado a través de diversas investigaciones que se integran básicamente por el 17% proveniente de Fuentes Fijas y el 83% de Fuentes Móviles, en términos generales.

Se ha logrado determinar en México que un Horno de Cubilote convencional por cada tonelada de material cargado, puede producir un volumen de gases de  $2 \times 10^3$  a  $5 \times 10^3$  m<sup>3</sup> y un promedio de partículas sólidas de 5 a 15 Kg; de el conocimiento de estos valores surge la inquietud de proponer en el presente trabajo la sustitución de dicho horno por nuevos equipos, para controlar a un grado máximo y a diferentes niveles, tanto de la mediana como pequeña industria, las emisiones que en forma alarmante alteran al medio, no frenando el desarrollo industrial del país ni disminuyendo la capacidad de producción de una industria básica como

lo es la obtención del Hierro Gris, cuya importancia se refleja con el total de toneladas que se producen anualmente en México:

PRODUCCION NACIONAL DE ACERO EN TONELADAS  
(AÑO 1980)

|                              |                        |
|------------------------------|------------------------|
| ALTOS HORNOS DE MEXICO, D.F. | 52884x10 <sup>2</sup>  |
| HOJALATA Y LAMINA, S.A.      | 13908x10 <sup>2</sup>  |
| FUNDIDORA MONTERREY, S.A.    | 33276x10 <sup>2</sup>  |
| TAMSA                        | 16092x10 <sup>2</sup>  |
| SICARTSA                     | 8544x10 <sup>2</sup>   |
| EMPRESAS SEMI-INTEGRADAS     | 2082x10 <sup>3</sup>   |
|                              | <hr/>                  |
|                              | 145524x10 <sup>2</sup> |

PRODUCCION NACIONAL DE HIERRO GRIS  
CON HORNO DE CUBILOTE CONVENCIONAL

Su producción es variable y no existe información estadística confiable para proporcionar cifras reales, sin embargo, a través de la investigación en diferentes Cámaras y Asociaciones se ha estimado que en la República Mexicana se encuentran instalados 3000 Hornos de Cubilote convencionales, cuyas emisiones causan un serio problema de impacto ambiental.

Los nuevos Hornos que se proponen para sustituir a los convencionales, se caracterizan principalmente por la utilización de combustibles líquidos o gaseosos (Diesel o gas natural) en lugar del coque. Para la pequeña industria se sugiere el uso del -

"Horno Rotatorio" también llamado giratorio, desarrollado bajo tecnología inglesa aproximadamente hace 50 años; su principio de operación es similar a la de los antiguos hornos de reverbero y convertidores, comunmente utilizados en la recuperación de minerales no metálicos, presentando como característica primordial el calentamiento directo por flama dirigida a la superficie de la carga de materiales. Este horno está provisto de un recuperador de calor, sistema basculante y sistema de fuerza motriz que proporciona movimiento circular.

Horno de Cubilote "Sin Coque" (Cokeless Cupola) para la mediana industria, desarrollado al igual que el Horno Rotatorio por tecnología inglesa bajo la firma Cokeless Cupolas LTD a fines de 1970 en la empresa Hayes Shell Cast LTD de Inglaterra. Este horno es de operación continua y su principio es muy parecido al del intercambiador de calor de contraflujo enfriado por líquido. Su principal característica es la no utilización de Coque. Es un horno de tipo chimenea, por consiguiente parecido al Cubilote convencional, cuenta con parrilla formada por barras tubulares que soportan una "cama", la que se ha preparado con esferas de material refractario, la "cama" a su vez soporta los materiales componentes de la carga para la fusión, debajo de ésta se localizan quemadores de alta intensidad para lograr que la combustión se efectúe dentro del quemador y de la propia cámara de combustión. Cuenta con zona de distribución y no se efectúa en ella ninguna combustión. El número de quemadores depende del tamaño del cubilote y operan con exceso de combustible que puede ser diesel o gas natural.

Las características de operación y diseño de los hornos mencionados se describen detalladamente en el capítulo correspondiente a Consideraciones de Diseño y Operación de los Hornos propuestos.

Con el propósito de conocer el tipo, características y concentración de los contaminantes que se emiten por las chimeneas de los hornos propuestos, así como para determinar si dichas emisiones se encontraban dentro o fuera de los parámetros establecidos en el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica Originada por la Emisión de Humos y Polvos, además de precisar si era o no necesaria la instalación de equipos de control de emisiones para cumplir con los límites establecidos en el Reglamento respectivo, y con la finalidad de (suponiendo necesaria la instalación de Equipo de Control de Emisiones, precisar las características de diseño para el equipo) lograr en base a Evaluaciones, consistentes en Muestreos de Gases y Partículas, con el más estricto apego a Normas Oficiales Mexicanas vigentes y a Técnicas y Procedimientos Internacionales: El Factor de emisiones de cada una de las fuentes evaluadas, obteniendo resultados positivos ya que dichas emisiones se encontraron dentro de los parámetros permisibles contemplados tanto por Tabla I y II del Reglamento en vigor.

Las fuentes evaluadas fueron:

HORNO "B" CUBILOTE "SIN COQUE"  
EMPRESA: FABRICAS ORION. DIVISION FIERRO  
MONTERREY, N.L.- MEXICO

HORNO ROTATORIO  
EMPRESA: BRIGAM, S.A.  
GUADALAJARA, JAL.- MEXICO

Las operaciones y mecanismos que se llevan a cabo en el proceso de fundición en el Horno de Cubilote convencional, que producen emisiones contaminantes son: Carga y Descarga de materiales del Horno, Movimientos de Material al fondo del Horno, y fusión derivada de las operaciones anteriores.

Se considera que las emisiones que salen de la chimenea del cubilote se clasifican en: polvos, humos, gases, y smog, así como vapores de aceite, partículas gruesas de 100 a 300 mallas, polvos de carbón y de cal, arena, refractario quemado y tierra que se deposita sobre la carga. El material particulado de 1 a 44 micrómetros son finos de los anteriores y se generan por desmoronamiento y golpes durante el manejo de materiales volátiles, principalmente aceite vaporizado sobre la capa de calentamiento de la chatarra. El material fino es la proporción mayor de emisión que se encuentra siempre presente en cualquier carga, siendo el óxido ferroso ( $FeO$ ) el principal componente, éste se forma sobre toda la superficie de hierro expuesta al ambiente y cuya apariencia es la de una capa suelta y suave que la cubre. Al manejo de la chatarra y carga del horno, la capa de óxido se quiebra, separándose del metal, reduciéndose una parte a fierro.

Otro tipo de partícula fina, proviene del Coque, ya

que éste es un material poroso con una resistencia mecánica muy limitada, que facilita su rompimiento cada vez que se maneja, por ser de una densidad baja y partículas relativamente grandes, éstas son arrastradas por la chimenea. La tierra y la arena también se consideran como partículas finas, mismas que se recogen en los movimientos de la carga, entre sus componentes se encuentra la sílice, incluyéndose entre los contaminantes problema. El zinc presente en algunas piezas de fierro galvanizado causa indudablemente contaminación al aire. Algunos materiales, bajo ciertas condiciones de operación del Horno de Cubilote convencional, presentan una presión de vapor apreciable, de tal manera que si consideramos una temperatura de  $2100^{\circ}\text{C}$  en la zona de fusión del horno, elementos como el fierro y el silicio, debido a esta presión de vapor, condensarán para formar partículas extremadamente finas o bien humos de 0.01 a 4 micrómetros, que presentan serias dificultades para su captura o control. En muchos casos, los vapores formarán óxidos antes de enfriarse. La arena común, considerada químicamente como Bióxido de Silicio ( $\text{SiO}_2$ ) es más volátil que el fierro o el Silicio, por lo que resulta ser un contaminante de importancia. Respecto a gases, se generan: Monóxido de Carbono ( $\text{CO}$ ) y Bióxido de Azufre ( $\text{SO}_2$ ). Las características de las emisiones de los hornos de cubilote convencional, tales como: distribución por diámetro de partículas, grado toxicológico y otras generalidades, se muestran en el apéndice.

En relación a inversión, costos, depreciación, vida media, etc., se realizó un análisis económico, mismo que se presenta en Capítulo posterior, a fin de dar una idea más concisa de las ventajas y desventajas que se presentan con el uso de los hornos propuestos.

Respecto a las bases técnicas de operatividad favorables tanto en el aspecto de control de calidad, productividad, así como en el económico, se resumen las Conclusiones a que se llegaron para poder proponer la presente Tesis de Sustitución del Horno de Cubilote Convencional por los Hornos "Sin Coque y Rotatorio", como medida para el abatimiento de las Emisiones Contaminantes a la Atmósfera.

Por último, se presenta la Fuente Bibliográfica que sirvió de apoyo auxiliar para el efecto del presente trabajo, así como la Nomenclatura empleada.

## C A P I T U L O   I I I

### CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y OPERACION DE LOS HORNOS PROPUESTOS

#### HORNO DE CUBILOTE "SIN COQUE"

Características de Construcción.- En el corte seccional de la Figura N°. 1, se aprecia esencialmente que el Coque ha sido - sustituido por tres elementos:

a) El combustible líquido o gaseoso es encendido externa-- mente en quemadores de alta intensidad y como se podrá apreciar, la combustión dentro del quemador asegura que la zona debajo de la parrilla es exclusivamente de distribución y no de combustión.

b) Una cama formada con esferas de material refractario, - las cuales actúan como intercambiadores de temperatura para so-- bre calentar el metal fundido cuando escurre al caer atravezando la cama.

c) Un material recarburizador que permite controlar el car-- bón total en el metal y obtener el análisis químico deseado.

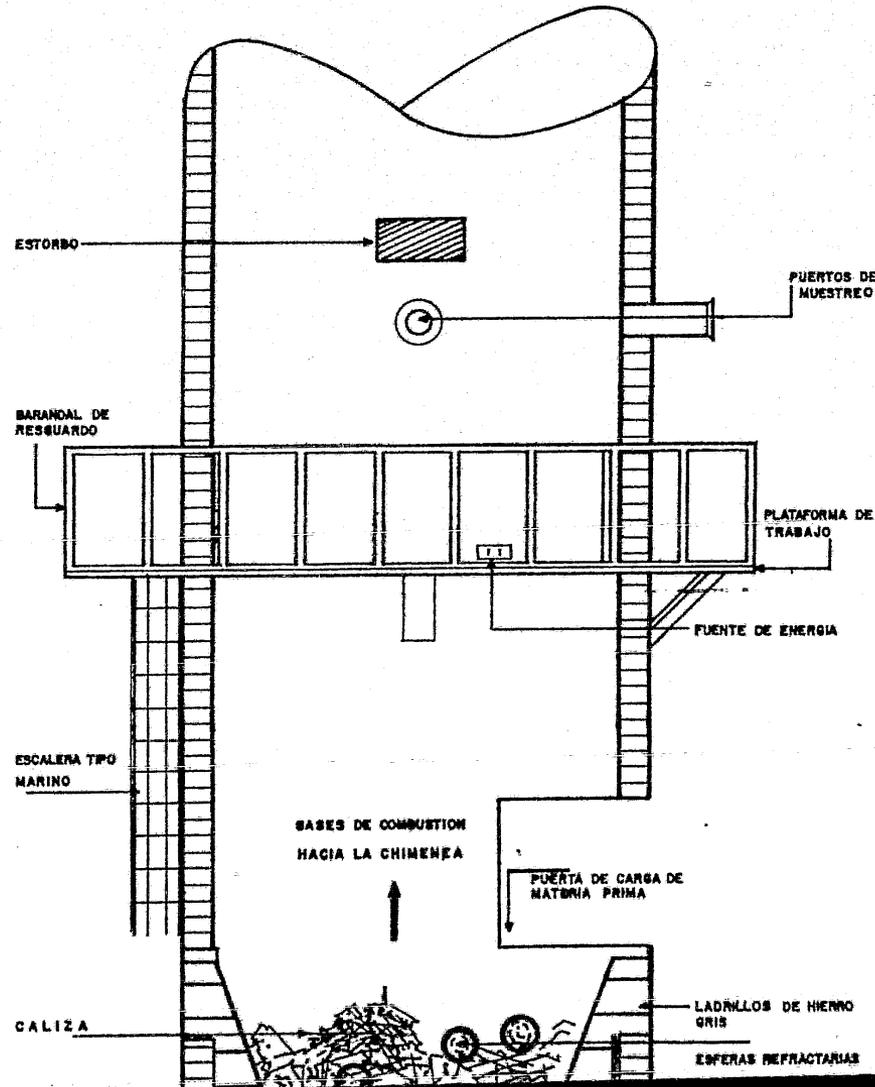
#### PARRILLA

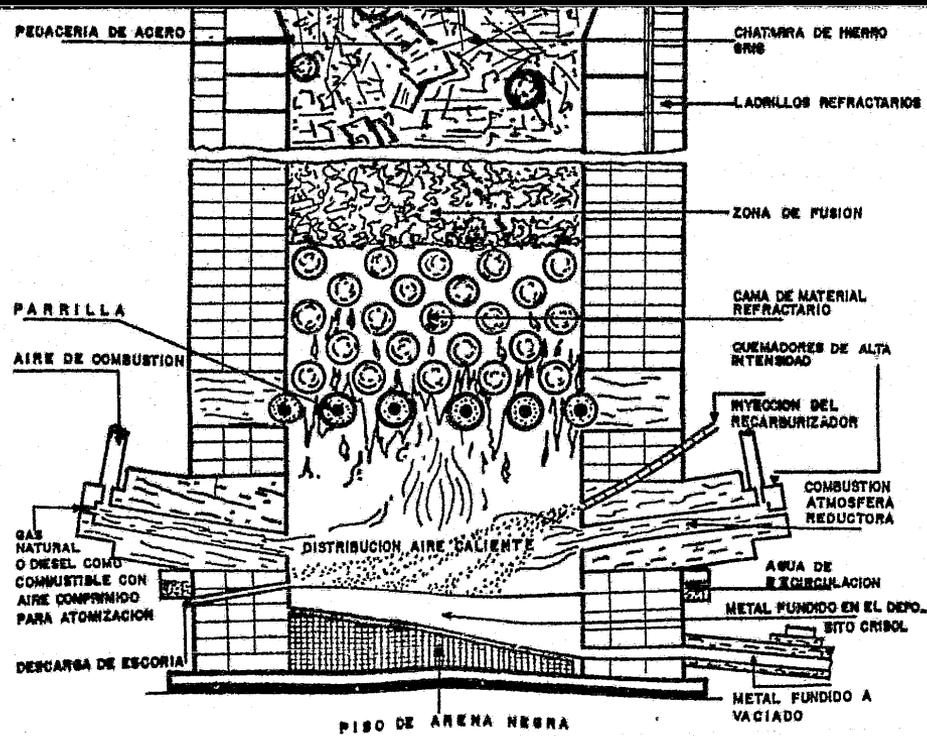
La parrilla que soporta tanto la cama de material refracta-- rio, como el peso de la materia prima, está formada por tubos en-- friados por agua, estas barras tubulares pueden estar recubiertas con material refractario y varían en cantidad de acuerdo con el -

# CORTE SECCIONAL

## HORNO DE CUBILOTE SIN COQUE

( FIG. N° 1 )



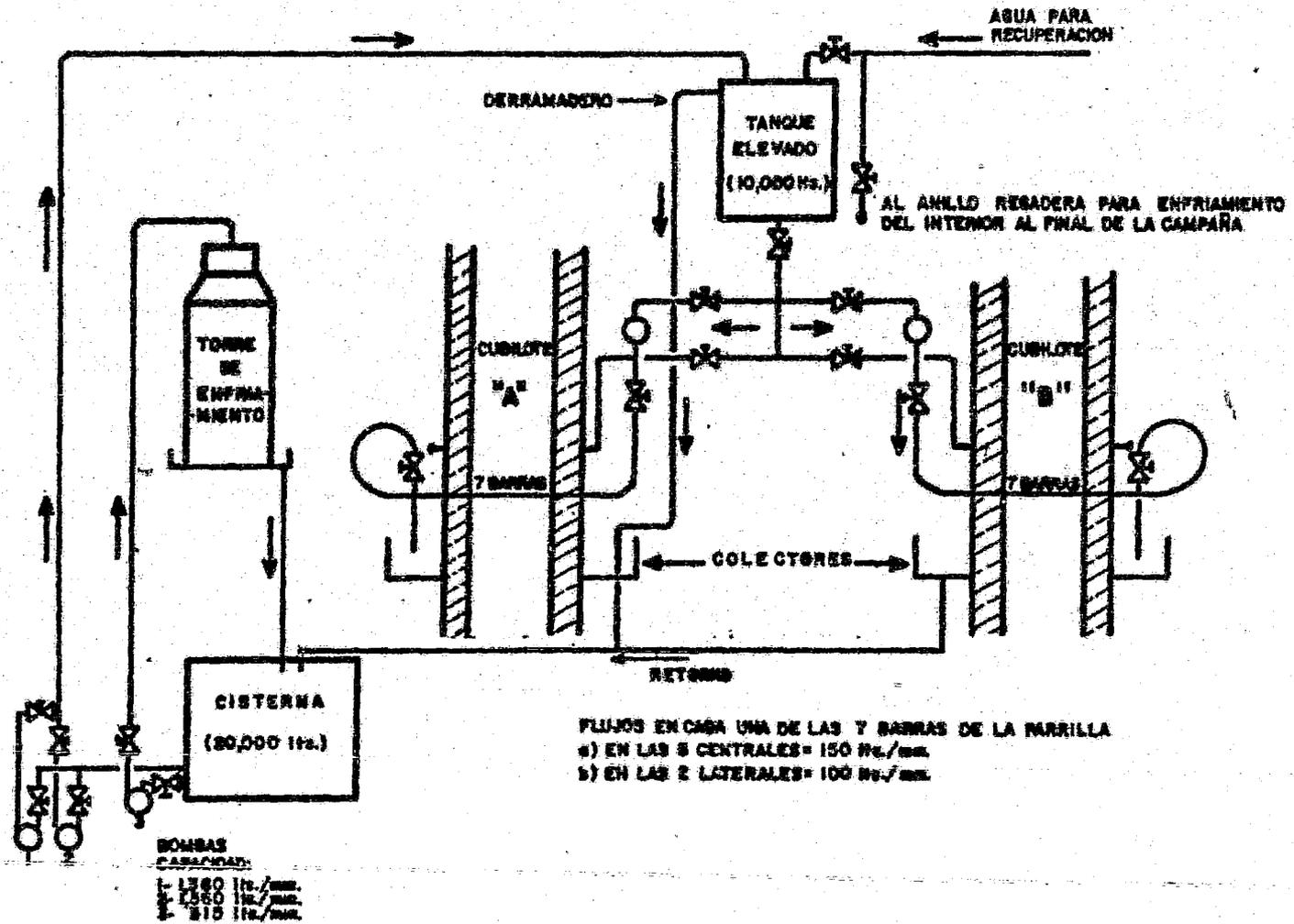


tamaño del Cubilote. (Fig. N°. 2) La necesidad de recubrir las barras con material refractario, depende del tamaño del cubilote y de la temperatura requerida del metal; en cubilotes pequeños, hasta 8 toneladas por hora, las pérdidas de temperatura del metal serían muy grandes si se utilizaran las barras sin recubrir, como sucede en las corazas de los cubilotes enfriados por agua.

Las barras fácilmente se recubren con material refractario y el cubilote está habilitado para poder quitarlas e instalarlas cuando se haga necesario. El desgaste del material refractario en las barras recubiertas depende en gran parte de la temperatura de sangrado del metal y se considera una vida promedio de 60 horas de fusión por recubierta, una vez fuera del cubilote las barras usadas se limpian del material refractario todavía adherido a ellas para volver a aislarlas e instalarlas de nuevo, la vida promedio de la barra enfriada por agua es de varias semanas.

## FUSION

Los gases calientes producidos por los quemadores pasan por la zona de distribución y suben dentro del cubilote a través de las barras, de la cama y de los materiales cargados. La carga se precalienta con los gases calientes. La zona de fusión es la que está inmediatamente arriba de las esferas que forman la cama de material refractario. A medida que el metal fundido cae a través de la cama, va absorbiendo mayor temperatura hasta alcanzar rangos muy superiores a los de fusión; al escurrir y llegar al cri



**FIGURA Nº 2 DIAGRAMA DE CIRCUITOS PARA EL AGUA DE ENFRIAMIENTO.**

sol el metal líquido pasa por una capa de material recarburizador fluidizado, el cual se inyecta a voluntad dentro del cubilote en forma controlada. Esta capa de material recarburizador fluidizado se localiza sobre la escoria y sobre el nivel del metal ya en el crisol, por lo que las gotas de metal fundido fácilmente asimilan el carbón antes de llegar al fondo.

### CAMA DE MATERIAL REFRACTARIO

La cama de material refractario es un elemento muy importante en la operación del Horno de Cubilote "Sin Coque". Desde luego, que se consume y su velocidad de disolución está relacionada tanto con la temperatura del metal como con las prácticas de operación y el rendimiento de la campaña. Antes de iniciar la campaña de fusión se prepara la cama de material refractario sobre la parrilla hasta una altura que varía entre 45 y 60 cm. El espesor de la cama depende de la demanda del metal o sea la velocidad de fusión y de las temperaturas requeridas. El material refractario de la cama que se va gastando es repuesto durante la fusión con adiciones a las cargas de acuerdo con la velocidad a la que se consume, la práctica ha marcado un consumo de material refractario máximo de 2.5% del metal fundido susceptible de reducción con una operación consistente, siguiendo con profesionalismo los procedimientos establecidos.

### PREPARACION DEL ADEME INTERIOR

La preparación diaria del cubilote "Sin Coque" es -

similar a la del Cubilote Convencional, utilizando arcilla refractaria 90% de Sílice, la cual se compacta minuciosamente a mano en las partes que lo requieren, principalmente alrededor de los quemadores.

Las esferas de material refractario de la cama sufren también desgaste (2.5% del metal fundido aproximadamente) por lo que por cada carga de 600 Kg. de metal (en un Cubilote de 6 Ton/hora) se deberán incluir 15 Kg. (4 o 5 esferas) para reponer las que se han consumido. El material refractario utilizado para fabricar las esferas ha sido especialmente desarrollado, y las esferas sobrantes de la vaciada del día anterior, se vuelven a utilizar en la preparación del Cubilote para un nuevo día de fusión. La altura de la cama de esferas dentro del Cubilote deberá ser de 60 cm. Una vez colocadas en su posición, se deberá asegurar que la cama haya quedado nivelada y que el espesor de la misma cubra en forma uniforme y completa a las barras de la parrilla.

La preparación del crisol para tener acceso al interior, se efectúa utilizando una puerta lateral de registro, una vez colocadas las puertas del fondo en su posición, distribuyendo sobre ellas la capa convencional de arena que recibirá el metal fundido. Una vez terminado esto, la puerta de acceso se sella con ladrillos y arena o cualquier otro material adecuado.

### QUEMADORES

Los quemadores pueden operar con aceite combustible, gas na

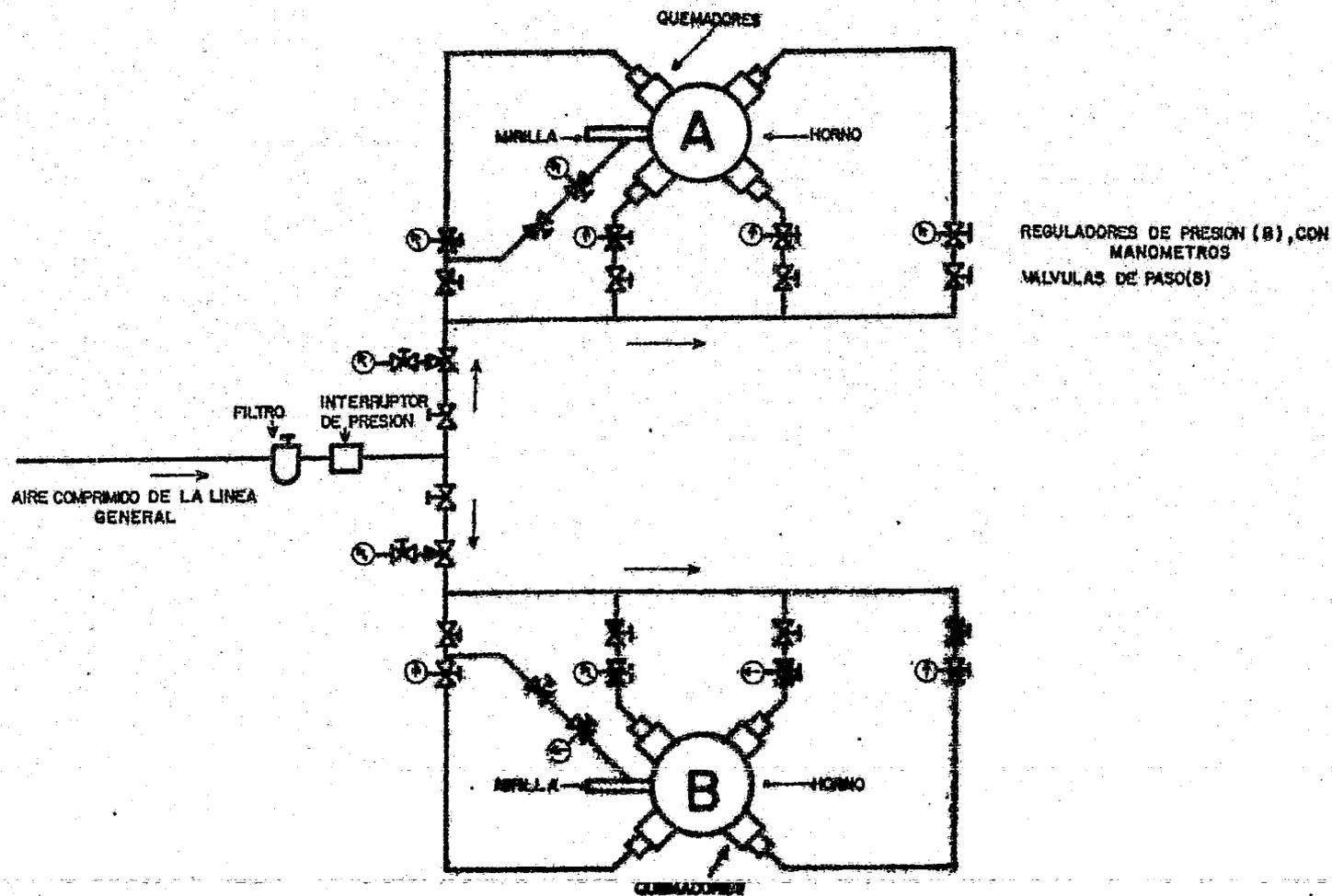
tural, butano o cualquier combustible líquido o gaseoso con suficiente poder calorífico (Aprox.  $31 \times 10^2$  mega julios requeridos para fundir una tonelada (Aprox.  $1 \times 10^3$  BTU por MJ) siendo suficientemente bajo en azufre. Los quemadores son operados con exceso de combustible en relación con el flujo de aire de combustión a manera de conservar una atmósfera parcialmente reductora dentro del horno, y por ésta razón la medición y control del combustible y del aire es de máxima importancia, (Figuras N°. 3, 4 y 5) la cantidad y el tamaño de los quemadores depende del tamaño del Cubilote y van colocados en un ángulo hacia abajo de 10 grados, apuntando directamente al centro del Cubilote.

#### CARGAS DE MATERIA PRIMA

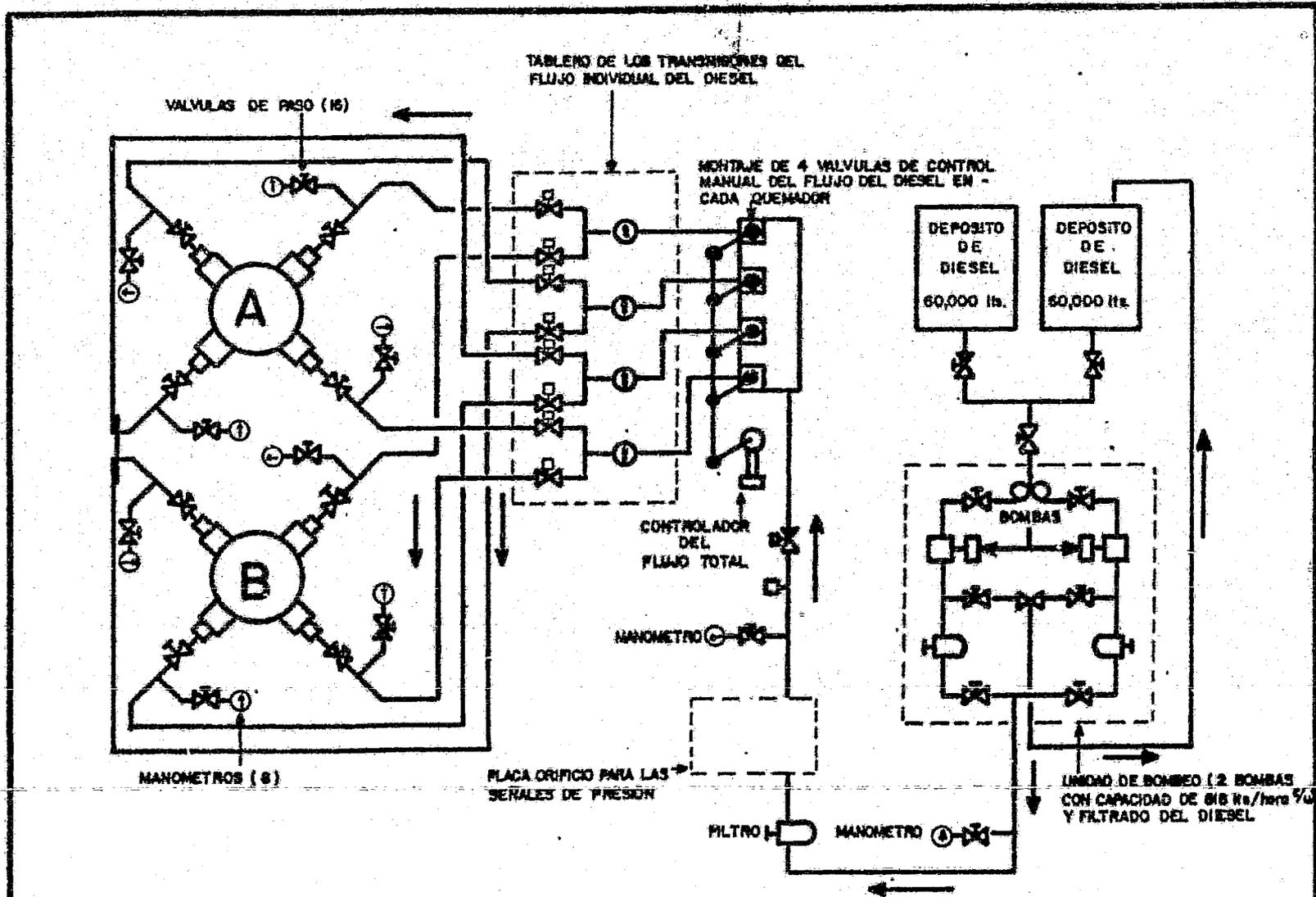
En virtud de que no hay Coque en la carga, el nivel dentro del Horno será más bajo que en un Cubilote Convencional. Durante la fusión es deseable mantener suficiente material para fundir por espacio de una hora. La ausencia del Coque en el crisol permite mantener mayor cantidad de metal fundido o si se prefiere, contar con un crisol menos profundo.

#### CONSTRUCCION DE LAS CORAZAS

Un Cubilote Convencional operado con Coque puede ser convertido al Sistema "Sin Coque", si existe suficiente espacio a su rededor para admitir los quemadores y el manejo de las barras de la parrilla. Los quemadores están localizados aproximadamente al mismo nivel que las Toberas y ésto puede ser variado de acuer-

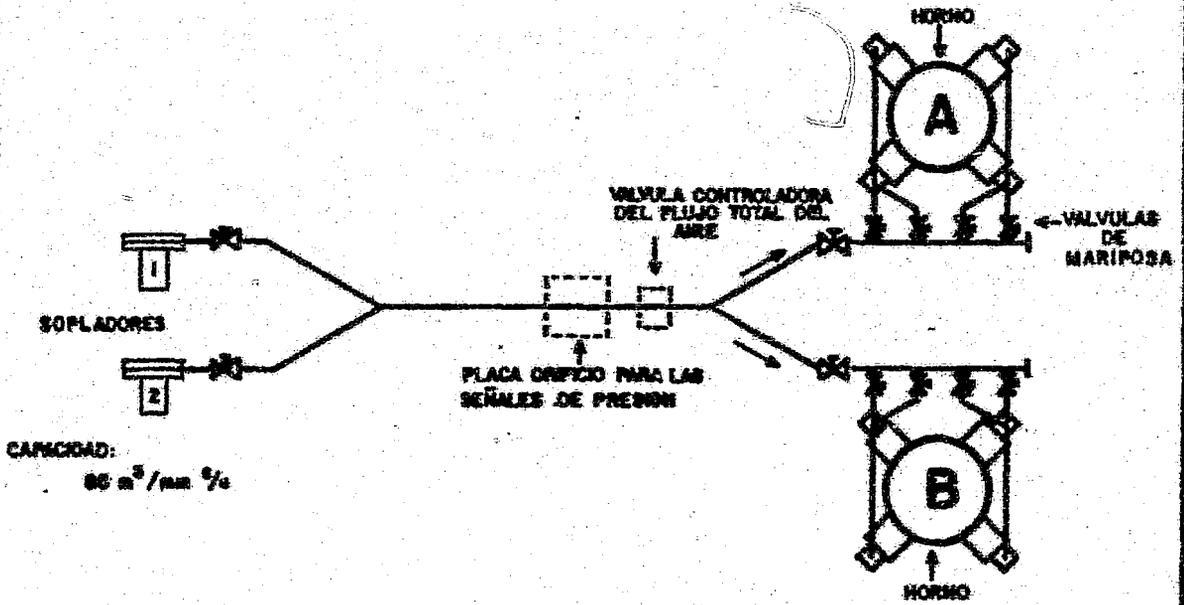


**FIGURA Nº3 DIAGRAMA DE CIRCUITOS PARA EL AIRE DE ATOMIZACION**

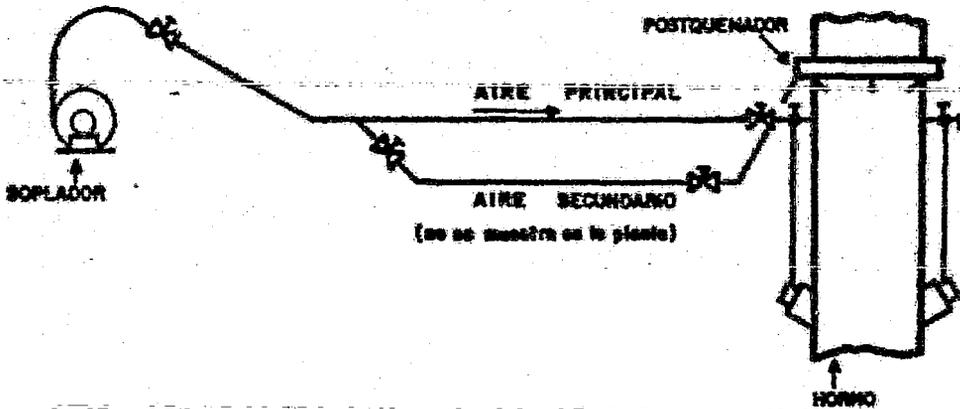


**FIGURA Nº 4 DIAGRAMA DE CIRCUITOS PARA EL COMBUSTIBLE (DIESEL)**

# PLANTA



# ELEVACION



**FIGURA N° 5 DIAGRAMA DE CIRCUITOS PARA EL AIRE DE COMBUSTION**

do con la profundidad del crisol. La parrilla enfriada por agua - se localiza sobre los quemadores.

### SISTEMA SECUNDARIO DE COMBUSTION

Al operar con exceso de combustible siempre se cuenta con flama en la parte superior del Cubilote, o sea que la chimenea - viene a ser un post-quemador muy ~~eficiente~~ puesto que quema las - emisiones de gases visibles al ambiente, ésta es una de las razones por las cuales el Cubilote "Sin Coque" ha satisfecho los pará - metros permisibles de Emisiones de Polvo y Gases a nivel Interna - cional.

### O P E R A C I O N

El hornero de un Cubilote Convencional no requiere mayor entrenamiento especial para fundir en el Cubilote "Sin Coque", lo que sí es muy importante es seguir en forma consistente los proce - dimientos previamente establecidos.

La preparación del Cubilote "Sin Coque" es similar a la - que se tiene que efectuar en el Cubilote Convencional y utiliza - los mismos materiales de ademe y parchado. Las principales zonas de desgaste en el Cubilote "Sin Coque" están localizadas alrede - dor de la salida de los gases calientes en los quemadores y en el área que limita la cama refractaria; para el secado de los parches y el precalentado del Cubilote, la operación debe ser realizada - lentamente para evitar daños al ademe refractario y para lograrlo

se utiliza un quemador atmosférico el cual es introducido por el agujero de la escoria. Mientras se efectúa la operación de precalentamiento, el agua debe estar circulando a través de las barras de la parrilla. Lentamente se eleva la temperatura del Cubilote - hasta alcanzar la temperatura de operación, el quemador atmosférico tiene capacidad para calentar el ademe y la cama de material refractario hasta aproximadamente  $1 \times 10^3$  °C, para luego encender a ~~media~~ capacidad, por 30 minutos, los quemadores principales acelerando el aumento de la temperatura en el ademe interior y en la cama de refractario. Transcurridos los 30 minutos se inicia la carga de la materia prima alimentando lo más rápidamente posible la cantidad equivalente a la mitad de la velocidad de fusión por hora (tres toneladas si la velocidad de fusión es de seis toneladas por hora) para encender a toda capacidad los quemadores principales y retirar el quemador atmosférico. 30 minutos después de haberla encendido a la mitad de su capacidad se inicia la carga total de la materia prima. Una vez encendidos los quemadores principales a toda su capacidad, las cargas se siguen alimentando hasta acumular dentro del crisol el volumen correspondiente a una hora de metal fundido. Este nivel es mantenido en el crisol hasta que se inicia el proceso para terminar la campaña. Una vez que los quemadores se han ajustado a toda su capacidad, se empieza a alimentar el material recarburizador. El primer sangrado puede hacerse aproximadamente 15 minutos después de que se han ajustado los quemadores a toda su capacidad para continuar el sangrado, ya sea intermitente o continuo por toda la campaña. La alimentación

del material recarburizador puede regularse de acuerdo con las especificaciones establecidas para el metal fundido en relación con el contenido de carbón del metal cargado como materia prima. La pérdida de carbono en la fusión es de aproximadamente 0.5% y la recuperación efectiva del metal inyectado es de aproximadamente 60%. Conociendo el contenido de carbono de la materia prima que se ha cargado al Cubilote, es relativamente simple el control del carbono en el metal fundido por medio del inyector, desde luego que se requiere de un medio rápido para determinarlo.

La preparación para terminar la campaña se inicia al dejar de cargar la materia prima; aproximadamente 30 minutos después se ajustan los quemadores a fuego bajo para mantenerlos así hasta que se haya vaciado el crisol completamente. Las puertas del fondo del Cubilote se tumban en la forma acostumbrada, solamente que como no hay Coque, únicamente caerá la cama de arena y los restos de escoria que se hayan quedado sobre ella. Una vez que ha caído al piso se apagan los quemadores. Para enfriar el material de cama refractaria que ha quedado sobre la parrilla, se utiliza anillo de regaderas de agua desde arriba (Figura N°. 2), hasta bajar su temperatura a un color negro, para evitar mayor oxidación y volver a usarla en futuras campañas. Cuando la temperatura del horno hace posible el acceso a su interior, se procede a extraer el resto del material de cama refractaria, con el fin de poder revisar y parchar el ademe del Cubilote en la zona de fusión.

Establecida la altura del nivel del metal dentro del cri--

sol y el nivel del agujero para la escoria, se puede proceder a - instalar cualquier sistema de sangrado y escoriado.

El metal fundido puede pasarse a un antecrisol, calentando o no, o bien puede utilizarse el Cubilote "Sin Coque" como elemento principal de fusión para sobrecalentar después el hierro en un horno eléctrico con las grandes ventajas económicas que este sistema representa en la fusión.

Temperatura del metal.- De las experiencias en la fusión de hierro en Cubilotes "Sin Coque", que a la fecha es superior a más de  $1 \times 10^5$  toneladas, se puede asegurar categóricamente que el hierro obtenido tiene una "Vida fluida" mucho mayor que la del hierro fundido en Cubilote Convencional. Sin lugar a duda es más limpio y se cuenta con medios para lograr mucho mayor uniformidad en sus características a lo largo de la campaña. Las razones anteriores han hecho posible vaciar piezas de corazón complicado, que incluyen cambios bruscos de sección a temperaturas  $30^{\circ}\text{C}$  más bajas que las temperaturas aceptadas como normales. El nivel reducido de azufre en el combustible, la ausencia de cenizas y el escaso desgaste del material de ademe, son factores que contribuyen a esta condición de metal más limpio, pero se debe añadir otra muy importante que es, que desde que se inicia la fase de la fusión a través de la zona de sobrecalentamiento y hasta llegar al crisol, el hierro siempre se encuentra en una atmósfera parcialmente reductora. El hierro producido en Cubilote "Sin Coque" se mantiene a través de la campaña en un rango de temperatura mucho más con--

sistente, sin las fluctuaciones que frecuentemente se encuentran en el Cubilote Convencional. Existe un límite para la temperatura que el metal puede alcanzar en el Cubilote, y el cual depende de los combustibles utilizados. Por ejemplo, el diesel daría una temperatura del metal 30°C aproximadamente superior en la canal de sangrado, que la temperatura que proporciona el gas, ya sea propano o natural.

Sin embargo, se cuenta con el recurso de enriquecer el aire de combustión con oxígeno cuando se trate de aumentar el poder calorífico de la mezcla y obtener temperaturas más altas.

Otro recurso sería el aire de combustión calentado, solamente que debe tenerse en cuenta que a mayor temperatura del metal, es mayor el consumo de la cama de material refractario, por lo que resulta inconveniente tener una temperatura más alta.

En condiciones normales de fusión, utilizando diesel, la temperatura del metal sangrado obtenido en las instalaciones que operan actualmente con Cubilotes "Sin Coque", es de 1470 - 1480°C, mientras que en un Cubilote Convencional del mismo tamaño, las temperaturas fluctuarían entre 1400-1500°C. La razón de esta gama más amplia de temperaturas en el Cubilote Convencional es, tanto la escoria adicional que se forma, como la mayor duración de las interrupciones del aire de combustión. Debe aceptarse que si las piezas coladas con metal producido en Cubilote "Sin Coque" se pueden vaciar sin problemas cuando la temperatura en la canal es de 1400°C, al llevar la temperatura a los 1500°C, representa un costo adicional innecesario.

Se comprende, por supuesto, que cuando el hierro ha de ser transportado a largas distancias para ser vaciado, se necesitan temperaturas más altas, así como cuando se carga un porcentaje muy alto de acero, pero con mucha frecuencia, cuando se trata de la fusión en Cubilote "Sin Coque", los fundidores pretenden las más altas temperaturas obtenidas al fundir con Coque como un requisito y les resulta difícil aceptar que lo que verdaderamente hace falta es una temperatura más baja pero que sea constante, - por consiguiente, se hace hincapié sobre este tema de temperatura de vaciado, pues es uno de los puntos más frecuentes de discusión y posiblemente el más controvertido cuando se trata de comparar - la fusión del hierro en ambos tipos de Cubilote.

#### Especificaciones del metal

#### Características de la materia prima

Las cargas usadas en el Cubilote Convencional pueden fundirse en el Cubilote "Sin Coque", con la única excepción de que el acero no debe exceder del 50% del total, cuando el aire de combustión no es aire calentado. Esta restricción en el porcentaje de acero, es debida a las limitaciones en las máximas temperaturas alcanzadas con los combustibles utilizados hasta la fecha. La otra limitación para utilizar mayores porcentajes de acero es el bajo contenido de carbón de éste, condición que obligaría a inyectar mayor volumen de material r-carburizador y así obtener los niveles requeridos de carbono, lo que ocasionaría una pérdida de la temperatura del metal en el crisol. Se ha comprobado que una -

inyección de 1% de recarburizador, baja la temperatura del metal en aproximadamente 50°C.

Inyección del material recarburizador.- Si se considera una carga típica con: 40% de retornos, 30% de lingote, 20% de pedacería de monoblock, y 10% de acero, se tendría un carbón potencial en la carga de 3%. La pérdida de carbón durante la fusión será de aproximadamente 0.5%, por consiguiente el metal después de sobrecalentarse al escurrir por las esferas de la cama de material refractario, tendrá un contenido de carbón de 2.5%. Si el carbón requerido es de 3.3% a 3.5%, las gotitas de metal fundido al pasar por la capa de carburizador fluidizado, deberán de absorber 0.9% de carbono. Conocemos que la recuperación de carbón inyectado es de 60%, por consiguiente, se debe inyectar al interior del Cubilote 1.5% de material recarburizador, con relación al metal fundido.

Si se hace necesario, pueden efectuarse cambios en las proporciones del metal cargado, lo único que se tiene que hacer es subir una carga especial del material refractario que forma la cama divisoria "Split" igual que como se usa con el Coque.

Materias primas con exceso de grasa y aceite.- Para poder utilizar una proporción superior al 20% de pedacería de monoblock con exceso de aceite y grasa, asegurando ausencia de humos en la chimenea, a los Cubilotes "Sin Coque" se les adaptó un juego de toberas para inyectar arriba de la zona de fusión un volumen

pequeño de aire tomado del ducto principal del aire de combustión para auxiliar el efecto de post-quemador y quemar los gases combustibles eliminando las emisiones visibles. (Figura - N°. 5.)

Hierro nodular.- Uno de los más significativos atributos del Cubilote "Sin Coque", es la facilidad para producir hierro nodular sin tener necesidad de desulfurar, usando gas natural o gas propano, los cuales no tienen azufre, así como un recarburizador de grafito de alta pureza, lo que asegura que no habrá absorción de azufre durante la fusión. El único contenido de azufre en el hierro fundido será el aportado por las materias primas empleadas en la carga. Por consiguiente, - el tratamiento para nodulizar puede efectuarse directamente en la olla de vaciado, evitando tanto el costo por la pérdida de temperatura como de los materiales utilizados para desulfurar.

Consumo de los materiales que sustituyen al Coque.- En el sistema "Sin Coque" el Coque es reemplazado por un combustible, el material refractario para formar la cama y un agente recarburizador. El combustible se quema a razón de 3100 MJ por tonelada de metal fundido.

El material para recarburizar es utilizado a razón de 1-3%, según el contenido de carbono de los materiales cargado y del carbón requerido en el análisis del hierro producido. Tanto el grafito como el Coque de petróleo -

pulverizados, en su grado de menor costo pueden ser utilizados a salvo en los casos en que se requiera una alta pureza del grafito y un nivel de azufre muy bajo.

## HORNO ROTATORIO

### ARREGLO GENERAL (Fig. 6)

Este horno, básicamente está constituido por:

a) Casco cilíndrico de placa de acero rolada, con dos conos en los extremos: cono de carga y cono de quemador. Estos conos están sujetos con tornillos y resortes, formando una junta de expansión con la cual se absorben las dilataciones del material refractario. En el cono del frente se encuentra el cono del quemador, así como dos canales de sangrado y un orificio para el escoriado.

b) Bastidores.- El horno descansa sobre cuatro roles sujetos a los bastidores por medio de chumaceras; dichos bastidores van anclados sobre la cimentación construida para este fin; a dos de los roles se les acopla la unidad motriz que proporciona la rotación del horno por medio de una catarina acoplada a la flecha de mando, de la cual se fija la unidad motriz por medio de un motor reductor con freno magnético.

c) Recuperador de aire caliente.- En el cono de carga, o sea la parte trasera del horno, lleva instalado un codo montado sobre ruedas. Este codo es el que comunica la salida de gases del horno al recuperador de calor y se desplaza deslizando sobre una vía para la operación de adicionar la chatarra y aleaciones.

Los gases calientes que pasan a través del recuperador de calor, son utilizados para precalentar el aire de combustión -- (aire secundario), el cual es producido por un turbo-ventilador acoplado al recuperador de calor.

d) Cámara de combustión.- Esta cámara se encuentra fijada al cono del frente del cuerpo del horno, sobre el cual soporta al quemador y al ducto de aire secundario que viene del recuperador de calor. Este ducto se comunica a la cámara de combustión tangencialmente de tal forma que produzca una corriente en forma de espiral en la flama.

Pedestal soporte de la cámara de combustión.- El conjunto de la cámara de combustión y quemador, con el ducto de aire secundario, es soportado por un pedestal el cual es anclado a la base de cimentación. La cámara de combustión se desplaza sobre el eje del pedestal. Por medio de dos uniones se fija al ducto de aire secundario al pedestal. En la parte superior, se acopla por medio de una unión de tipo campana al ducto de aire secundario y en la parte inferior se une a un dispositivo embalado, el cual permite que se deslice fácilmente.

En la unión superior tipo campana, lleva en el interior un empaque grafitado que impide fugas de aire. (Fig. 7)

Conexiones al quemador.- El quemador consta de tubo de acero reforzado. En un extremo se atornilla la boquilla del quemador y en el otro una conexión con dos entradas, una para combustible (diesel) y otra para aire comprimido (aire primario.) A dicha conexión se atornillan las mangueras correspondientes que a su vez se conectan a las tuberías que llegan junto con el ducto de aire del ventilador (aire secundario).

En la terminación de la tubería de aire comprimido se

instala un filtro para aire con extractor de humedad, con regulador de presión y manómetro. Enseguida una válvula de cierre rápido para controlar el paso del aire de la manguera al quemador.

En la línea de combustible (diesel) que viene del tanque de almacenamiento, después de haber pasado por el rotámetro y manómetro correspondiente, se instala una válvula de cierre rápido, la cual es conectada a la manguera y ésta al tubo que lleva el quemador con un codo en el extremo.

La válvula de regulación con cuadrante para el paso de combustible, conviene colocarla junto al quemador, con objeto de facilitar la regulación de acuerdo a las lecturas del rotámetro que indica la demanda de combustible, es decir, los litros por minuto que se consumen.

El cuerpo del quemador, además del cerrojo para fijarlo, en la cámara de combustión tiene una tuerca que se aprieta contra el quemador y el cerrojo, ésta es con el objeto de que una vez determinado el largo del quemador, se fija la tuerca que se ajusta contra la brida del cerrojo, con el propósito de mantener constante la posición del quemador, es decir, el largo con respecto a la cámara de combustión. (Figura 8)

### TRANSFERENCIA DE CALOR EN LOS HORNOS

En este tipo de hornos (Rotatorios) se presentan las siguientes transferencias de calor:

- a) Radiación de la flama.
- b) Conducción de calor dentro del horno, a través de los gases calientes.
- c) Convección de calor al forro refractario.

Con estas transferencias de calor se logra una alta eficiencia térmica; desde luego, la energía calorífica producida por la radiación de la flama es la principal característica y depende básicamente del tipo de combustible y del equipo de combustión, por lo que se debe tratar de aprovechar lo más posible la energía calorífica del combustible.

#### Primera fase:

Inicialmente la energía calorífica es transmitida a la carga fría por la radiación de la flama y por la convección del calor de manera intermitente debido a la rotación del horno. El refractario se encuentra a mayor temperatura, por lo que la parte superior transmite la energía calorífica a la carga cuando ésta pasa por debajo.

#### Segunda fase:

Cuando parte del baño se encuentra en estado pastoso, la rotación del horno es completa, es decir, sus giros son de 360°, con lo cual la energía calorífica es transferida a la carga por la radiación de la flama, así como por la conducción, tanto del calor del refractario, como por la conducción interna de la parte líquida de la carga.

### Tercera fase:

Cuando la carga se encuentra totalmente fundida y se se ha formado una capa de escoria sobre la superficie del baño, hay un cambio en la transmisión de calor; en ese período, el porcentaje de energía calorífica transferida a la superficie del baño es mínima. La capa de escoria actúa como aislante, impidiendo a los gases de combustión mezclarse con el baño de metal fundido. En estas condiciones, la mayor cantidad de calor se transfiere a causa de la rotación continua del horno, transmitiéndose del refractario al baño de metal.

### Combustión:

El combustible es quemado a través de la atomización de un quemador de media presión, es decir, la atomización provoca que las partículas del combustible se mezclen con el aire primario (aire comprimido) y el aire secundario (aire caliente) de la cámara de combustión; este aire caliente se comunica con el de la atomización, formando una corriente de aire - combustible que se introduce al horno a cierta velocidad, circundando todo el interior del mismo, es decir, se produce una flama que envuelve todo el baño y refractario a lo largo del horno, produciendo un rápido calentamiento. Las partículas de hidrocarburos formadas por la atomización son rápidamente encendidas por el oxígeno del aire caliente, produciendo alta temperatura dentro del horno.

Es muy importante que la combustión tenga el suficiente aire para que se combine el oxígeno con las partículas de car-

bón que tiene el combustible y éstas produzcan la mayor eficiencia posible. Cuando se observa que la flama es altamente luminosa, esto nos indica que está transmitiendo por radiación una alta temperatura.

Con la atomización correcta del combustible en combinación con el aire precalentado de baja velocidad y presión, se logra una buena combustión, con lo cual se elimina la necesidad de instalar equipo anticontaminante. Teniendo la relación aire-combustible balanceada, los productos de combustión no desprenden humos ni partículas a la atmósfera. Esto se logra fácilmente con los Rotámetros que miden el flujo de aire y combustible, así como con los manómetros que nos indican las presiones tanto del aire primario como del aire secundario.

Los combustibles normalmente utilizados en estos hornos son: Diesel, Gas natural o Petróleo crudo. Ahora bien, como en la práctica no es posible tener una combustión perfecta, conviene mantener siempre la mezcla de aire-combustible ligeramente rica en éste último, o en otras palabras que sea más oxidante.

#### Carro de Salida de Gases.

Esta unidad se encuentra forrada en su interior con la drillo refractario y es soportada por cuatro ruedas sujetas al bastidor mediante chumaceras. Dos de las ruedas son motrices, llevando una catarina con cadena hacia el volante, con el cual se desplaza sobre los ángulos que se fijan en la cimentación y sirven de vía autolimpiable.

El forro de ladrillo refractario del interior de la unidad (carro de salida de gases) debe limpiarse antes de empezar la operación de fusión, quitando de la superficie horizontal las incrustaciones de escoria. Conviene resanar periódicamente las partes deterioradas, con concreto refractario. Todo lo anterior, con el propósito de mantener la unidad en buen estado. (Fig. 6)

#### Bomba de Combustible.

Esta bomba debe ser de engranes y por lo menos debe suministrar un gasto de combustible mínimo de 5 litros por minuto a una presión de  $1.75 \text{ Kg/cm}^2$ ; además deberá colocarse en un lugar tal que suministre con eficacia combustible a la línea de alimentación para el quemador.

Resulta conveniente colocar el arrancador del motor de la bomba de combustible en el Tablero de Instrumentos, el cual cuenta con espacio suficiente para este uso.

#### Recuperador de aire caliente.

El tipo de recuperador que se usa en estos hornos, es de Radiación, contando con una camisa de acero inoxidable en su interior, con una junta de expansión en el extremo superior remachada. En la parte inferior se acompla a una campana de lámina forrada de refractario monolítico. Todo este conjunto es soportado por medio de canales de acero estructural.

Como medida de mantenimiento preventivo, se debe limpiar por lo menos cada 6 meses o antes si es necesario el interior

de la camisa de acero inoxidable, de formación de carbonilla que se acumula paulatinamente. (Figura 8)

### Ductos.

Los ductos son secciones de lámina negra rolada, de preferencia de 0.476 cm. de espesor y se recomienda forrarlos de asbesto, con el propósito de evitar la pérdida de calor.

En la parte extrema, antes de acoplarse a la cámara de combustión, va colocada una válvula de tipo mariposa, la cual sirve para regular el paso del aire secundario. (aire caliente) El ducto además cuenta con una junta de acoplamiento sin bridas, para que éste pueda expandirse libremente cuando va aumentando la temperatura del aire. Debe evitarse la presencia de fugas de aire desde el recuperador de calor, hasta la cámara de combustión, principalmente en las uniones de los ductos; se corregirán dichas fugas colocando empaques de asbesto.

El ducto de admisión al ventilador debe colocarse de manera tal que el aire que aspira sea lo más limpio y fresco posible.

La brida de medición para el aire de admisión del ventilador se coloca entre la unión de los ductos.

Se debe tener cuidado de que los tubos que lleva la brida de medición no tengan fugas, evitando de esta manera las lecturas incorrectas que nos indicaría el Rotámetro de Flujo de Aire, dado que éste es muy sensible. (Fig. 6)

### Motor de ventilador.

La unidad Motor-Ventilador va acoplada tanto al ducto de entrada como al de salida por medio de bridas que se atornillan a la caja del ventilador. La precaución a tomarse en cuenta es que la rotación del ventilador sea la correcta, cerciorándose de la dirección de la flecha de rotación.

### Tablero de Instrumentos.

El Tablero de Instrumentos va colocado en un lugar conveniente, de tal forma que facilite la operación de vaciado del horno, es decir, que se pueda operar viendo el vaciado del horno a la cuchara y al mismo tiempo no demasiado cerca de donde llegan las salpicaduras de metal.

El Tablero consta de los siguientes componentes:

- 1.- Rotámetro para medición de aire secundario. (aire caliente).
- 2.- Rotámetro para medición de flujo de combustible.
- 3.- Manómetro para medir presión de combustible.
- 4.- Manómetro para medir presión de aire comprimido. (Aire primario).
- 5.- Indicador de temperatura para aire secundario. (Termopar).
- 6.- Reloj de baterías.
- 7.- ~~Timers para ciclos automáticos.~~
- 8.- Consola para instalación eléctrica.

El Termopar (Nº. 5) debe instalarse cerca de la Cámara de combustión, introduciendo el cable del Termopar por un tubo Conduit hasta el Tablero de Instrumentos (Fig. 8).

### Refractario del Horno.

El material que por lo general se usa en este tipo de hornos es cuarcita, con alto contenido de  $\text{SiO}_2$ , la cual es suministrada por varias compañías especializadas en refractarios. Este material es básicamente roca de sílice calcinada, mezclada con arcilla. Es muy importante tomar en cuenta en este tipo de materiales, las expansiones y contracciones con los cambios de temperatura, razón por la cual se cuentan en los conos del casco del horno, tornillos con resortes para regular la expansión del refractario, aflojando éstos en cuanto se empieza a dilatar.

#### Composición química en %

|   |       |
|---|-------|
| Si O <sub>2</sub>                           | 93.17 |
| Ti O <sub>2</sub>                           | 0.70  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>              | 0.71  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>              | 3.50  |
| Ca O  | 1.2   |
| Mg O + K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O | 0.72  |

#### Reparación del Material Refractario.

Este material lo surten los proveedores en sacos de papel de 50 Kg. Se mezcla en un molino con 60% de agua, de manera que adquiera una consistencia similar a la arena de moldeo, con lo cual queda listo para ser apisonado.

Herramienta necesaria. (Fig. 9)

- 1.- Pisoneta neumática.
- 2.- Regulador de presión con filtro y manómetro.
- 3.- Tacón de apisonado con las esquinas redondeadas.
- 4.- Plantillas para conformar el refractario.

### Apisonado

Esta operación se lleva a cabo en forma continua, desde que se inicia hasta finalizarla, con el propósito de aprovechar la humedad del refractario y así poder lograr un apisonado lo más homogéneo posible. Esta operación se realiza con el uso de las plantillas que sirven de guías para la conformación del refractario, dependiendo del tamaño y capacidad del horno.

### Secado y Sinterizado

Nº. 1.- Se debe empezar a secar el horno previamente preparado (apisonado) con un quemador de Gas L.P., durante 48 horas a 100°C de temperatura.

Nº. 2.- El horno deberá empezar a girar periódicamente, - llevando la temperatura dentro del horno a razón de 50°C por hora, girando 180° cada 30 minutos. Seguir con este ciclo hasta elevar la temperatura a 450°C.

Nº. 3.- Empezar a calentar con el quemador propio del horno, a un régimen bajo 0.52 litros de combustible por minuto y 5.72 m<sup>3</sup> x mm de aire, girándolo continuamente durante 4 horas.

Nº. 4.- Empezar a aflojar los tornillos de las juntas de expansión y colocar tapones con arena verde en los canales de sangrado y escoriado.

Nº. 5.- Verificar entre las espiras de cada uno de los resortes la calibración de abertura de las mismas, manteniendo dicha calibración durante las horas subsiguientes.

Nº. 6.- Completadas las 4 horas en este régimen, aumentar la intensidad de la flama a 2.27 litros de combustible por minuto y  $23.6 \text{ m}^3 \times \text{mm}$ . de aire girando el horno continuamente hasta completar 6 horas.

#### Vidriado

Una vez finalizado el ciclo de sinterizado, se apaga el quemador y se agregan 20 Kgs. de pedacería de vidrio y 5 Kgs. de caliza.

Se enciende nuevamente y se continúa con un régimen de 2.27 litros de combustible por minuto y  $23.6 \text{ m}^3$  por mm. de aire, con rotación continua durante 30 minutos. Se apaga el quemador y se deja girando el horno durante 45 minutos, de manera que se adhiera todo el vidrio líquido sobre las paredes del refractario, quedando completamente vidriado el forro. Después de los 45 minutos, se deja de girar el horno, quedando en condiciones de iniciar la primera fundición.

Secuencia para cargar el horno.

El horno se debe precalentar solamente cuando tiene más de 24 horas sin fundir, normalmente al inicio de la semana; es im-

portante esta observación por lo que toca a la vida del refractario. Una vez precalentado, se desplaza el carro del Recuperador de Calor y se inicia por la Boca de carga la operación de agregar al horno el arrabio, la chatarra, retornos, etc. Esta operación se efectúa manualmente o con cargadores diseñados para este fin, facilitando éstos últimos, considerablemente, la operación de cargar el horno.

Una vez cargado el horno, se enciende el quemador a toda flama, sin girarlo hasta completar 15 minutos, después gira a 180°. Esta secuencia continúa hasta completar 45 minutos, o sea girar el horno media vuelta tres veces.

En este momento la carga de metal se encuentra en estado pastoso, y es el momento adecuado para agregar el grafito, ya sea para compensar la pérdida de carbono durante la fusión o bien para elevar el contenido de este elemento en el caso de que el porcentaje de acero agregado a la carga sea elevado.

Terminada la operación de adición de grafito, se enciende nuevamente el quemador a toda flama y se inicia la rotación continua hasta completar el tiempo de fusión, más o menos 45 minutos. Transcurrido este tiempo, se procede a vaciar una probeta para efectuar los análisis químicos requeridos y verificar la temperatura del metal, si todo lo anterior es correcto, se procede a vaciar o llevar a cabo los ajustes necesarios, agregando al horno las aleaciones requeridas o inyectando grafito para aumentar el contenido de carbono; si la temperatura no es lo suficientemente alta se continúa girando el horno con toda la intensidad de la flama, de tal manera que se eleve la temperatura del metal al rango deseado.

Logrando la composición química y la temperatura del metal bajo control, se inicia el vaciado del horno; se puede vaciar toda la carga o bien, dejar parte del metal, según las necesidades; procediéndose a iniciar nuevamente la operación de carga al Horno.

(Fig. 10)

### PROCESO DE FUSION

Para obtener hierro gris, normalmente se parte de:

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| Arrabio                 | 10% |
| Chatarra de acero       | 30% |
| Retornos de hierro gris | 15% |
| Rebaba de hierro gris   | 20% |
| Chatarra (Monoblock)    | 25% |

### ALEACIONES

|                     |      |
|---------------------|------|
| Grafito granulado   | 2%   |
| Ferrosilicio al 45% | 1.2% |
| Ferromanganeso      | 0.1% |
| Piedra caliza       | 1.5% |

Ejemplo típico para la fusión de hierro nodular:

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| Arrabio                    | 40% |
| Retornos de hierro nodular | 25% |
| Lámina de acero            | 35% |

### ALEACIONES

|                     |      |
|---------------------|------|
| Grafito             | 4%   |
| Ferrosilicio al 45% | 0.5% |
| Piedra caliza       | 1.5% |

En la olla de tratamiento adicionar:

Ferrosilicio magnesio (9%)      1.8%

Arena para moldeo en cáscara      1 %  
(Shell Molding)

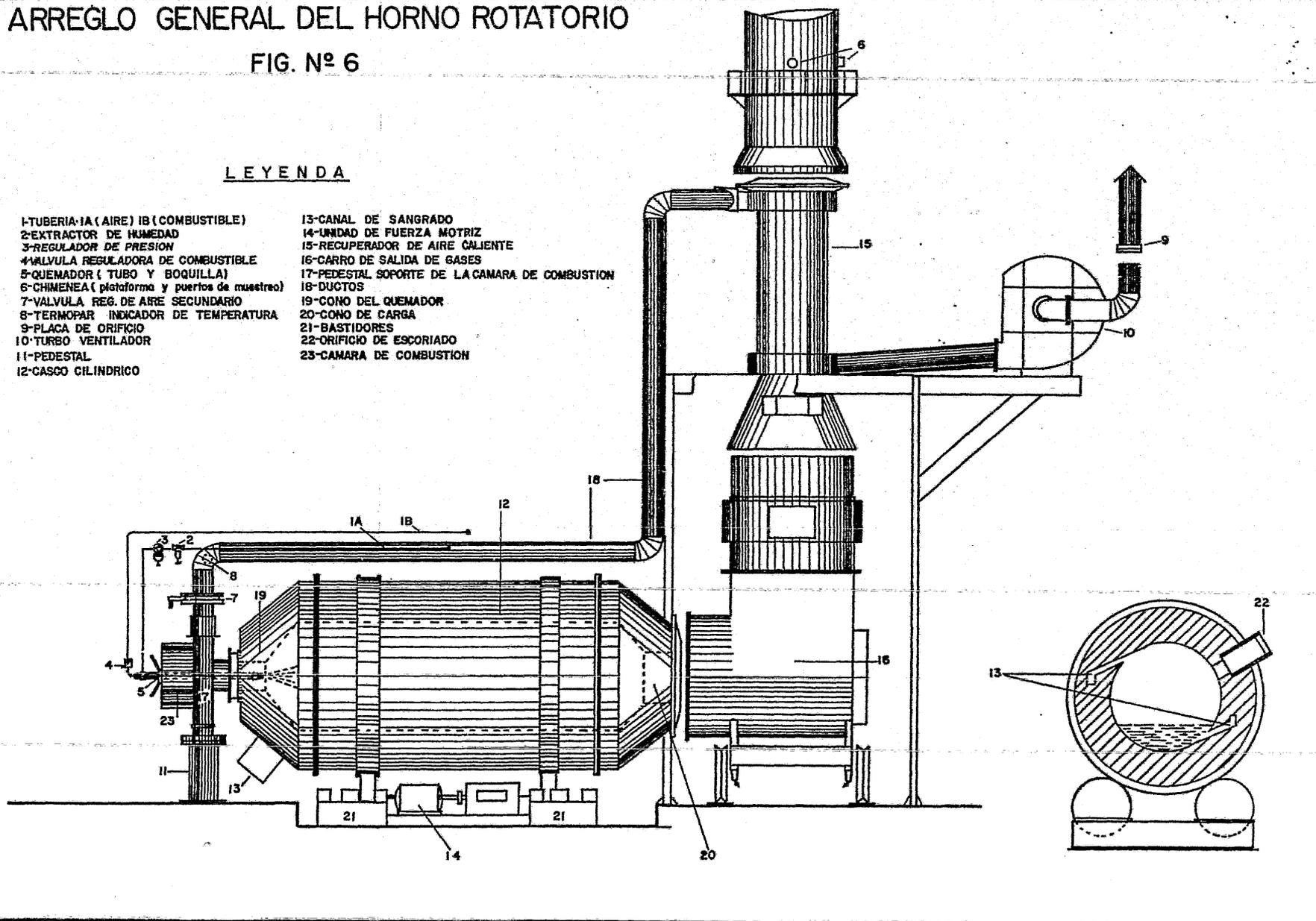
En el caso de no contar con arrabio suficiente, sustituir éste por lámina de acero.

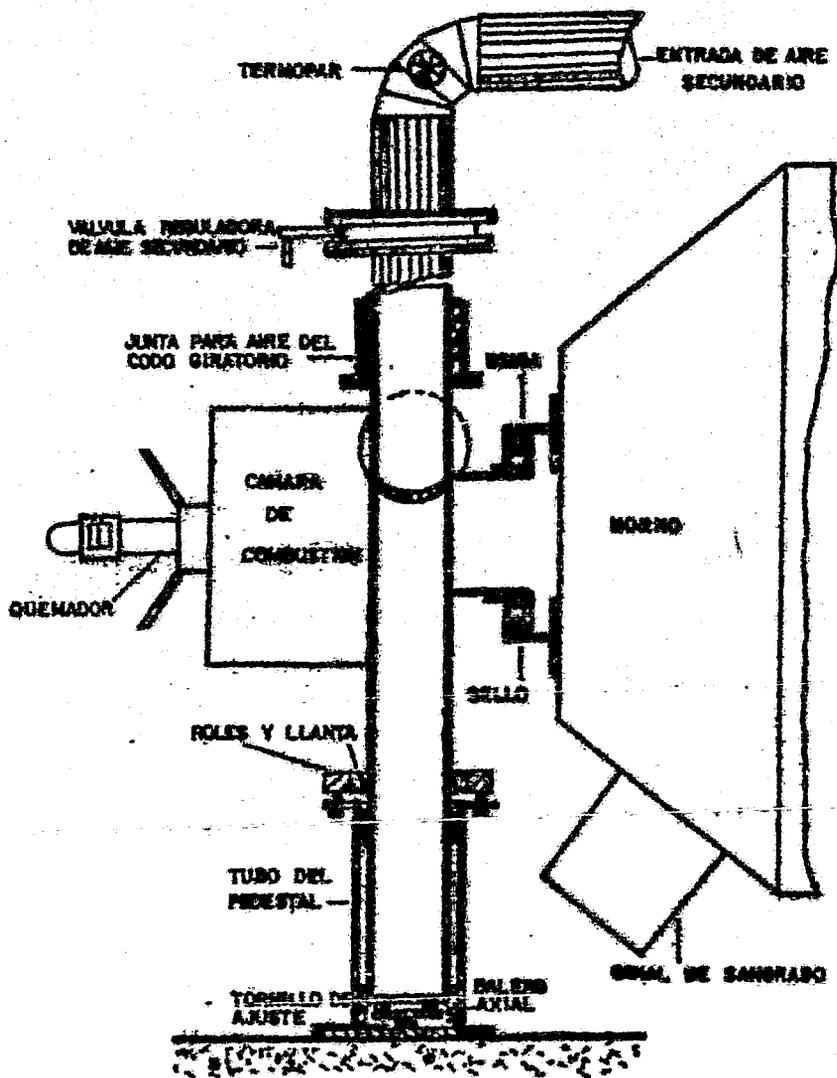
# ARREGLO GENERAL DEL HORNO ROTATORIO

FIG. N° 6

## LEYENDA

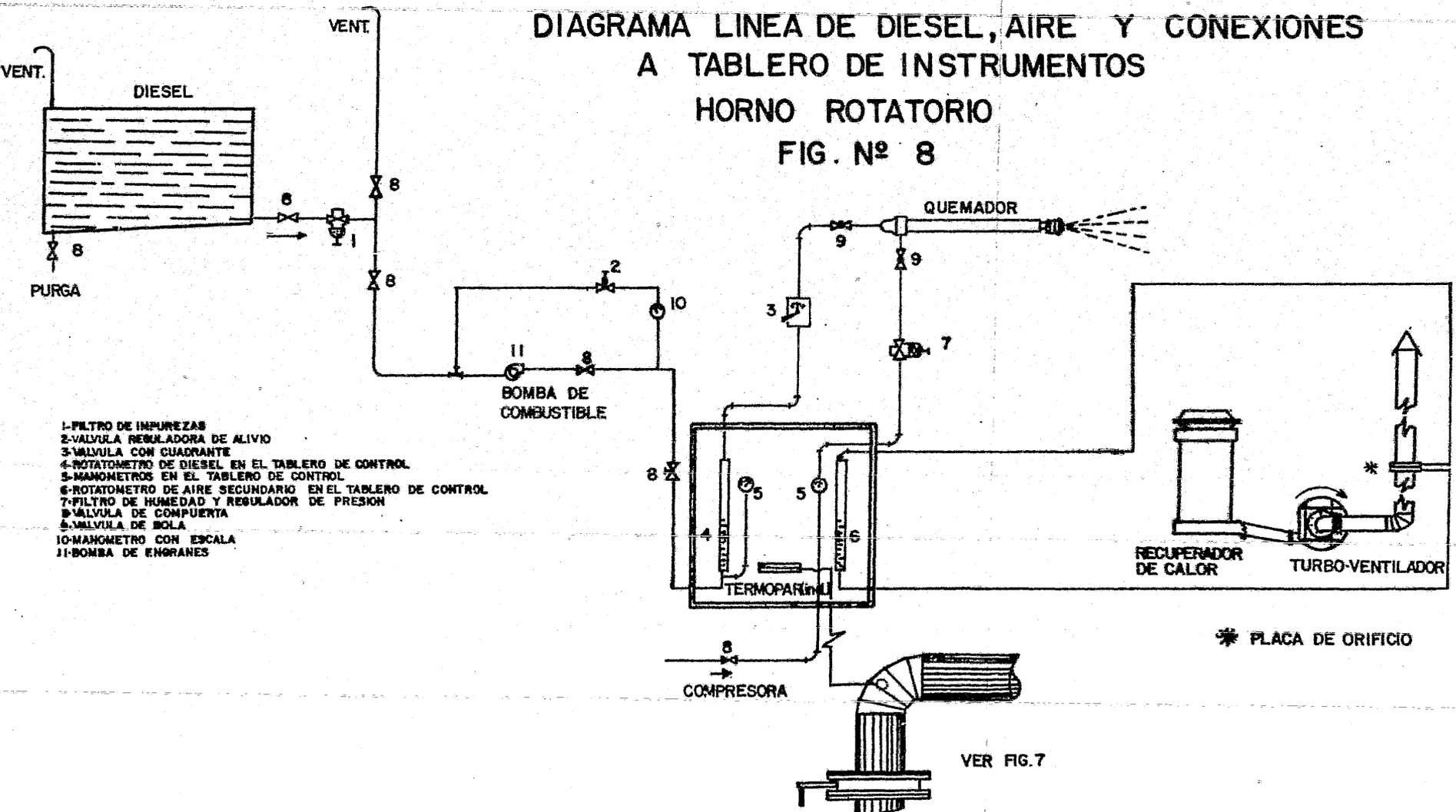
- |  |  |
|--|--|
| 1-TUBERIA-1A (AIRE) 1B (COMBUSTIBLE)           | 13-CANAL DE SANGRADO                           |
| 2-EXTRACTOR DE HUMEDAD                         | 14-UNIDAD DE FUERZA MOTRIZ                     |
| 3-REGULADOR DE PRESION                         | 15-RECUPERADOR DE AIRE CALIENTE                |
| 4-VALVULA REGULADORA DE COMBUSTIBLE            | 16-CARRO DE SALIDA DE GASES                    |
| 5-QUEMADOR ( TUBO Y BOQUILLA)                  | 17-PEDESTAL SOPORTE DE LA CAMARA DE COMBUSTION |
| 6-CHIMENEA ( plataforma y puertas de muestreo) | 18-DUCTOS                                      |
| 7-VALVULA REG. DE AIRE SECUNDARIO              | 19-CONO DEL QUEMADOR                           |
| 8-TERMOPAR INDICADOR DE TEMPERATURA            | 20-CONO DE CARGA                               |
| 9-PLACA DE ORIFICIO                            | 21-BASTIDORES                                  |
| 10-TURBO VENTILADOR                            | 22-ORIFICIO DE ESCORIADO                       |
| 11-PEDESTAL                                    | 23-CAMARA DE COMBUSTION                        |
| 12-CASCO CILINDRICO                            |  |





**PEDESTAL PARA LA CAMARA DE COMBUSTION FIG. Nº 7**

# DIAGRAMA LINEA DE DIESEL, AIRE Y CONEXIONES A TABLERO DE INSTRUMENTOS HORNO ROTATORIO FIG. N° 8

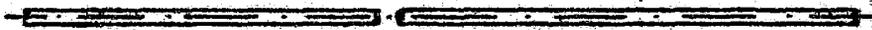


- 1-FILTRO DE IMPUREZAS
- 2-VALVULA REGULADORA DE ALIVIO
- 3-VALVULA CON CUADRANTE
- 4-ROTAMETRO DE DIESEL EN EL TABLERO DE CONTROL
- 5-MANOMETROS EN EL TABLERO DE CONTROL
- 6-ROTAMETRO DE AIRE SECUNDARIO EN EL TABLERO DE CONTROL
- 7-FILTRO DE HUMEDAD Y REGULADOR DE PRESION
- 8-VALVULA DE COMPUERTA
- 9-VALVULA DE BOLA
- 10-MANOMETRO CON ESCALA
- 11-BOMBA DE ENGRANES

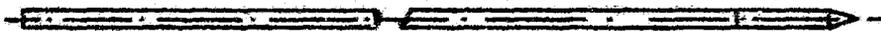
\* PLACA DE ORIFICIO

VER FIG.7

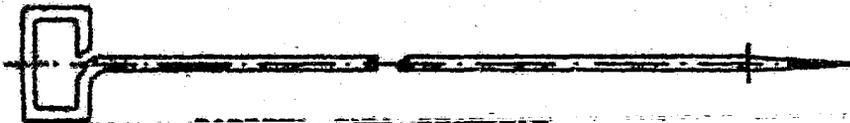
# HERRAMIENTA PARA OPERACION DEL HORNO. FIGURA N° 9



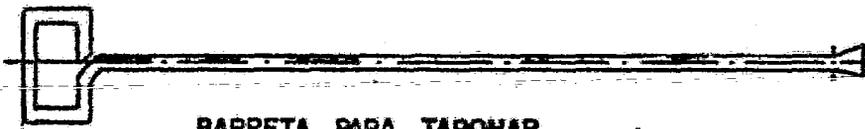
BARRETA PARA LIMPIAR CANALETAS



HERRAMIENTA DE ACERO CON PUNTA



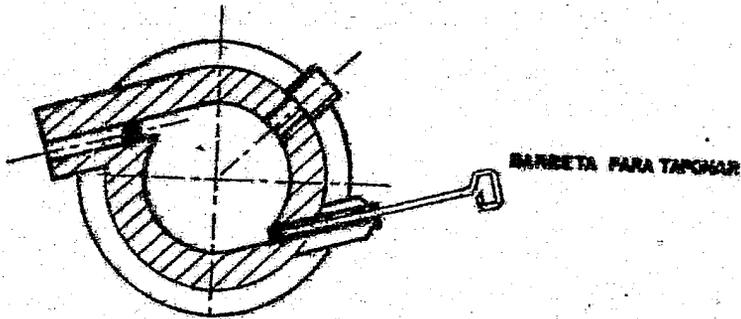
BARRETA PARA DESTAPAR



BARRETA PARA TAPONAR

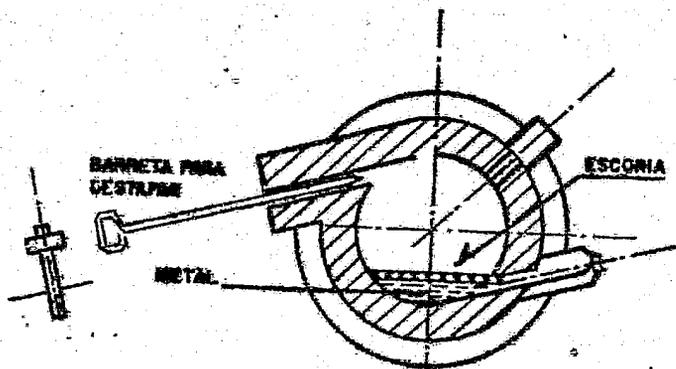
# SISTEMA PARA SANGRAR EL HORNO

FIG. Nº 10

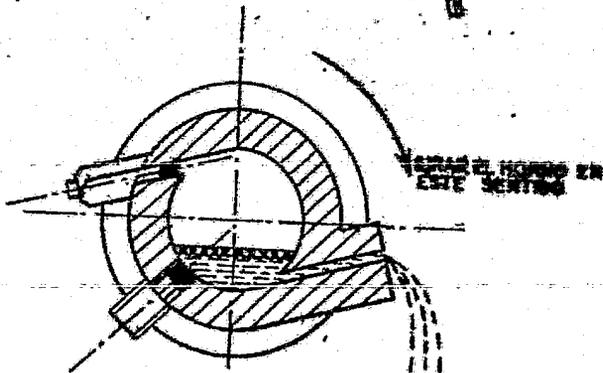


1- TAPONAR

TAPAR CON BARRA Y ARENA VERDE

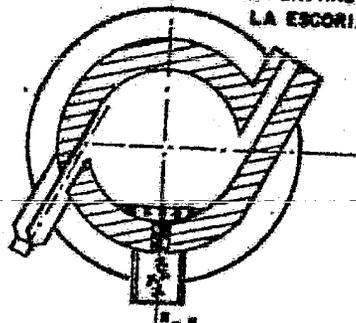


2- DESTAPAR



3- VACIADO

GIRAR LA CANALITA EN SU POSICION VERTICAL Y PARAR PARA EXTRAER LA ESCORIA



4- ESCORREAR

## C A P I T U L O   I V

### MUESTREO DE GASES Y PARTICULAS

#### OBJETIVO

El principal interés en la realización del muestreo, respondió a la necesidad de obtener muestras representativas y - por consiguiente resultados lo más precisos posibles en la cuantificación de substancias que se arrojan a la atmósfera a través de cada una de las chimeneas de los hornos propuestos, (Cubilote -- "Sin Coque" y Rotatorio), siendo imprescindible realizar mediciones, fundamentadas en el Muestreo Isocinético.

#### MUESTREO ISOCINETICO (Determinación de material particulado)

El muestreo isocinético consiste primordialmente en la extracción de una muestra gaseosa por medio de una boquilla a la misma velocidad a la que viajan los gases en la chimenea en el punto en donde se esté tomando la muestra. En tal virtud la materia particulada viaja a la misma velocidad que la corriente gaseosa en el ducto.

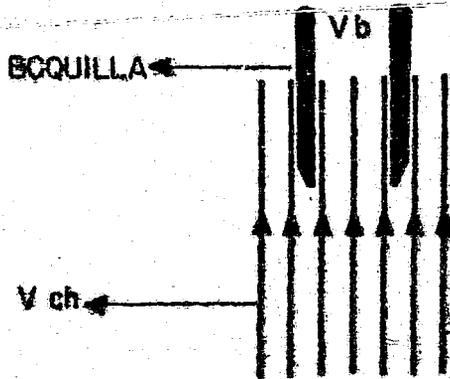
Cuando la velocidad de extracción de la muestra gaseosa es mayor que la de los gases en la chimenea, se estarán extrayendo tan sólo las partículas pequeñas que viajan en las líneas de flujo más allá del contorno exterior de la boquilla; respecto a las partículas grandes, por su inercia no podrán succionarse, conociéndose dicha situación como Muestreo Super Isocinético. Por el contrario, cuando la velocidad de extracción es menor que la -

de la corriente gaseosa en la chimenea, se obtiene una gran proporción de partículas grandes, determinándose dicho efecto como Muestreo Sub-Isocinético. Bajo cualquiera de las anteriores condiciones, la velocidad de extracción no corresponde a la de los gases que fluyen por el ducto, por lo tanto, la muestra recolectada no es representativa de las condiciones de flujo y concentraciones reales, obteniéndose resultados erróneos, tanto en la determinación de la concentración, como en la emisión de polvo a través de la chimenea. De lo anterior surge la imperiosa necesidad de cumplir con las condiciones de Isocinetismo, con objeto de lograr resultados lo más verídicos posibles. En la Figura N°. 11 se ilustran las condiciones isocinéticas.

Muestreo de Gases.- Cuando se requiere de las concentraciones tanto de gases como de partículas que viajan en un flujo gaseoso por una chimenea, el muestreo debe realizarse isocinéticamente, sin embargo, con el propósito de obtener una mejor absorción de los gases contaminantes en los reactivos selectivos, es aconsejable manejar un flujo volumétrico de succión menor al que se usa cuando se muestrean partículas.

Tiempo y gasto de muestreo.- Para efectuar un muestreo de gases se recomienda un gasto de 8.5 l/min o menos, a las condiciones del gasómetro, con el propósito de evitar una sobresaturación de las soluciones absorbedoras y lograr una eficiente absorción; el tiempo de muestreo usualmente es de 30 minutos y normalmente en un sólo punto, generalmente en algún lugar cerca de -

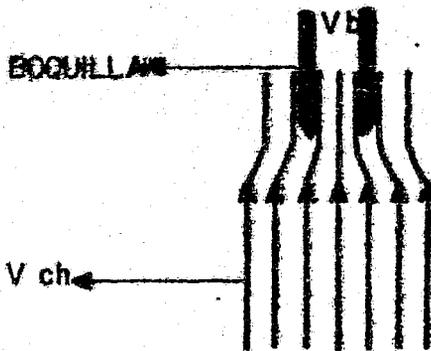
# CONDICIONES ISOCINETICAS FIGURA Nº 11



**ISOCINETICO**

$$V_b = V_{ch}$$

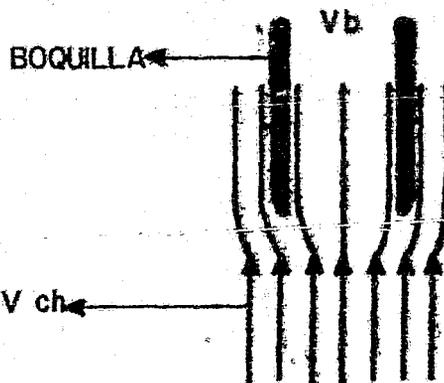
$$C_{p\ ch} = C_{real}$$



**SUPER-ISOCINETICO**

$$V_b > V_{ch}$$

$$C_{p\ ch} < C_{real}$$



**SUB-ISOCINETICO**

$$V_b < V_{ch}$$

$$C_{p\ ch} > C_{real}$$

$V_{ch}$  = VELOCIDAD DE LOS GASES DE CHIMENEA

$V_b$  = VELOCIDAD DE SUCCION DE LOS GASES ATRAVES DE LA BOQUILLA

$C_{p\ ch}$  = CONCENTRACION DE PARTICULAS DE LOS GASES DE CHIMENEA

$C_{real}$  = CONCENTRACION DE PARTICULAS REAL

la parte media de la chimenea. Para la realización del muestreo de partículas, mientras mayor sea el tiempo de muestreo los resultados serán más exactos, sin embargo, el filtro puede llegar a obstruirse; por el contrario, si el tiempo de muestreo es muy corto, la cantidad de polvo colectado será tan pequeña que no podrá determinarse con precisión. En todo caso conviene colectar cuando menos una cantidad equivalente al 30% del peso del medio filtrante. El gasto al que se debe muestrear depende de la velocidad que se determine en cada punto, de la capacidad de la fuente de succión, del diámetro interior de la boquilla de muestreo en uso, de la capacidad del gasómetro, pero se recomienda un gasto entre 15 y 42 l/min, pudiendo llegar a un máximo de 57 l/min.

Se recomienda realizar por separado el muestreo de gases (proporcional) y el muestreo de partículas (Isocinético), en base a los comentarios anteriores.

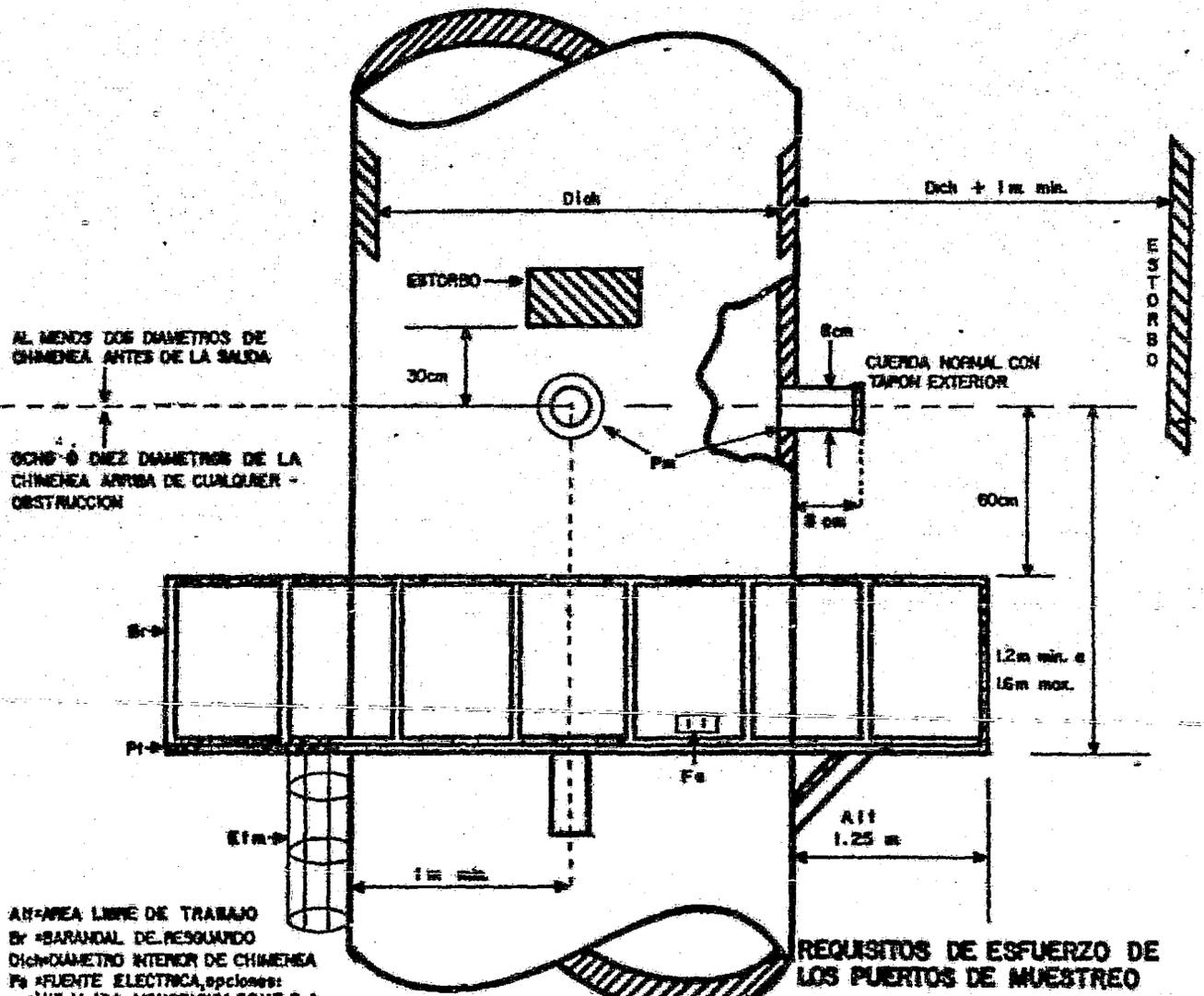
Instalaciones y requisitos en campo para realizar un muestreo.- Para llevar a cabo el muestreo isocinético de partículas, además de seleccionar los sitios apropiados, es necesario instalar plataformas y puertos de muestreo que faciliten las operaciones evaluativas y garanticen la seguridad del personal que las realice, por consiguiente deberán disponerse de las instalaciones y requisitos que a continuación se mencionan y se ilustran en la Figura N°. 12.

a) Puertos de muestreo.- Generalmente se requieren -

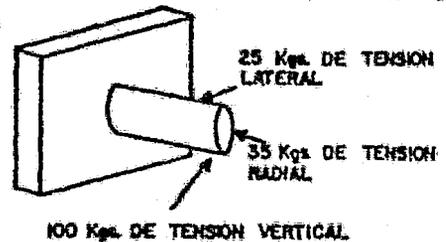
dos puertos de muestreo colocados a 90° entre sí, localizados de 8 a 10 diámetros del ducto, después de cualquier cambio de dirección, entrada, entronque, cambio brusco de diámetro o perturbación, y como mínimo a 2 diámetros antes de la descarga. Los puertos pueden ser tubos industriales de 8 cm. de diámetro interior, no obstante para chimeneas demasiado grandes y de paredes dobles se sugieren puertos mayores de los 8 cm. de diámetro interior. Dichos puertos pueden ser con bridas o con cuerda normal exterior, no deberán sobresalir más de 16 cm. de la parte exterior del ducto, al menos que sea necesario equiparlos con válvulas de compuerta cuando circulen gases peligrosos (tóxicos, explosivos, etc.), con presión positiva o temperaturas muy altas. Tampoco deberán sobresalir de la parte interior del ducto. Los puertos deben ser suficientemente resistentes para soportar una fuerza cortante vertical de 100 Kg, una fuerza radial (en el sentido del diámetro del ducto) de 35 Kg. y una fuerza lateral de 25 Kg.

b) Plataforma de operación. - La Plataforma de Trabajo deberá ser suficientemente amplia y resistente para que puedan trabajar por lo menos 3 personas de peso normal (70 Kg.) con equipo que pese hasta 100 Kg. En total unos 400 Kg. para mayor seguridad y estar provista de baranda y rodapié de protección. Deberá disponer de un medio seguro de ascenso, ejemplo: elevador o escalera tipo marino. Si la suma del diámetro interior del ducto, más el espesor de la pared de éste (chimenea), más la longitud del puerto es mayor de 3 m, será necesario una plataforma (que abarque) en todo alrededor del ducto y se dispondrá de 4 -

# DIMENSIONES Y REQUISITOS PARA INSTALACIONES DE PLATAFORMA Y PUERTOS DE MUESTREO EN DUCTOS Y CHIMENEAS. FIGURA N° 12



## REQUISITOS DE ESFUERZO DE LOS PUERTOS DE MUESTREO



puertos de muestreo, separados 90° entre sí. Si se utiliza escalera (tipo marino) la abertura de acceso a la plataforma deberá - distar como mínimo 1 m. de cualquier puerto de muestreo. El espacio libre mínimo horizontal necesario a cada lado del puerto debe ser de 60 cm. y cuando menos una distancia igual al diámetro de la chimenea más 1m en sentido diametral de la chimenea o ducto. El ancho mínimo de la plataforma debe ser de 1.25 m. El espacio libre hacia arriba de un puerto de muestreo debe ser como mínimo, un segmento anular de 30 cm. de altura por 3 veces el radio de la chimenea, más 1m a partir del centro de ésta. La distancia mínima a cualquier obstáculo en sentido radial de un puerto debe ser de 1 diámetro del ducto (chimenea), más 1m. El espacio libre hacia abajo de un puerto de muestreo debe ser como mínimo un sector anular de 60 cm. de altura por 3 veces el radio de la chimenea más 1m, a partir del centro de ésta.

Tren de Muestreo.- Esencialmente el tren de muestreo que se utilizó para efectuar las pruebas, está constituido por el siguiente equipo que se describe en la Figura N°.13, conforme a la dirección del flujo de la muestra a analizar y que consta de los siguientes componentes:

N°. 1.- Boquilla de muestreo tipo cuello de ganso, diferentes medidas, diámetro interior en cm, 0.47625, 0.635, 0.79375, 0.9525, 1.27.

N°. 2.- Porta Filtro para dedal de celulosa.

N°. 3.- Sonda, tubo de acero inoxidable de 1.27 cm. de diámetro interior.

N°. 4.- Tramos de manguera flexible. Hule grueso y resistente al vacío.

N°. 5.- Conexiones de vidrio pyrex.

N°. 6.- Tren de Impactores; a, c, d) Difusores tipo recto; b) Difusor tipo Greenburg-Smith. Capacidad 750 ml c/u, Vidrio pyrex.

N°. 7.- Porta impactores, medio de condensación, caja fría.

N°. 8.- Válvula tipo check.

N°. 9.- Válvula control fino (Tipo aguja).

N°. 10.- Termómetro bimetalico con carátula, cola pequeña, rango de temperatura de - 10°C A 120°C.

N°. 11.- Vacuómetro de lectura instantánea, rango de medición de 0 a 101592 Pa

N°. 12.- Gasómetro seco, con sensibilidad de  $\pm 560 \text{ cm}^3$

N°. 13.- Válvula control burdo (tipo globo).

N°. 14.- Bomba de vacío, 0.18643 Kw, 1750 rpm, motor monofásico 115 volts, 60 ciclos, C.A.

N°. 15.- Extensión eléctrica a toma de corriente alterna, 155 Volts 15 A, monofásica, 60 Hz.

## EQUIPO COMPLEMENTARIO DE MUESTREO (Fig.14 y 15)

Nº. 16.- Tubo Pitot, tipo "S" (Especial)

Nº. 17.- Manómetro diferencial inclinado, ámbito de operación de 0.00 a 2.54 cm. de H<sub>2</sub>O, sensibilidad de  $\pm 0.0254$  cm de H<sub>2</sub>O

Nº. 18.- Analizador de gases de combustión. (Orsat)

Nº. 19.- Termómetros bimetálicos con carátula, cola larga, rangos de temperatura de -10 a 300°C y de 90 a 550°C

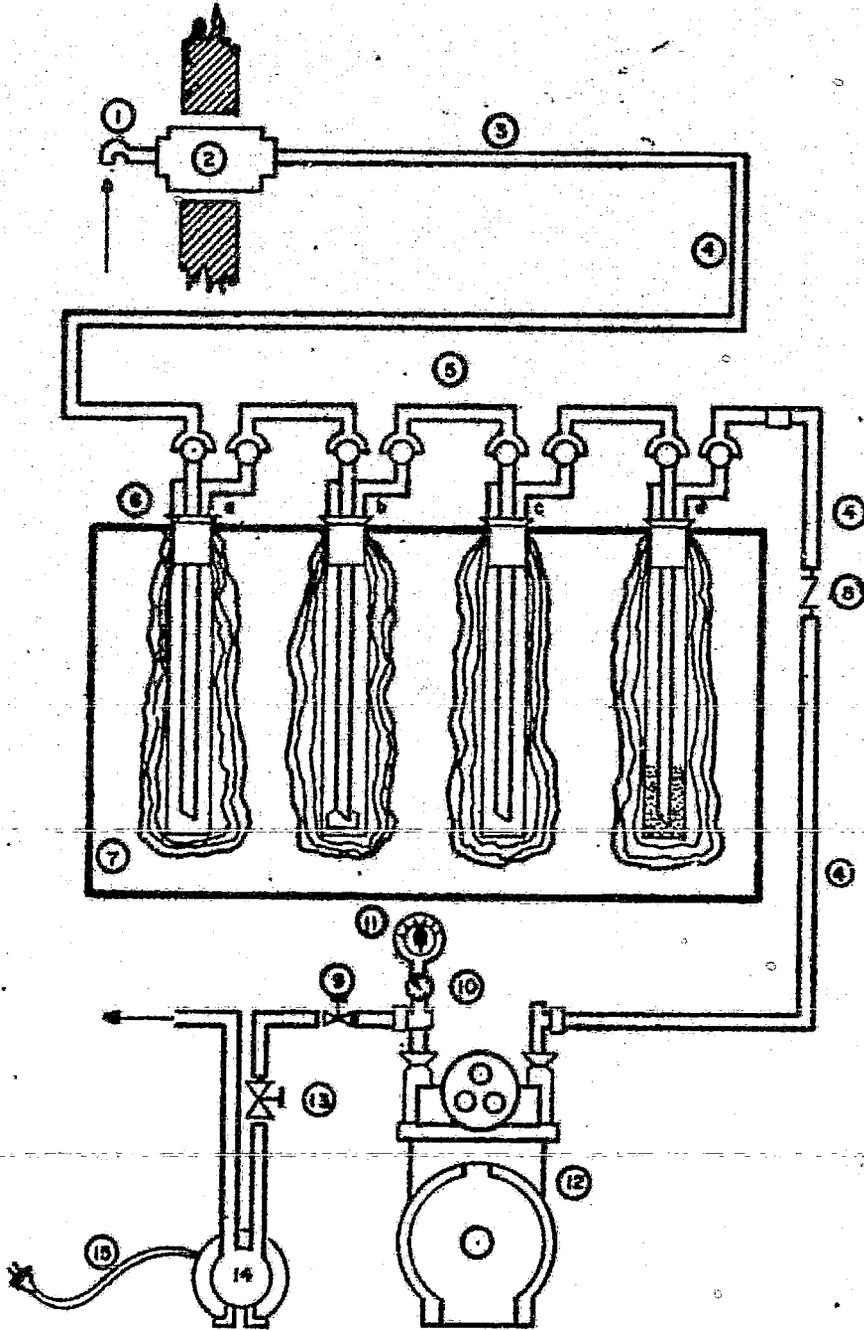
Nº. 20.- Cronómetro, con precisión de 0.2s

## PROCEDIMIENTOS PRELIMINARES Y DEFINITIVOS DE MUESTREO EN DUCTOS Y CHIMENEAS

Para la realización de las pruebas correspondientes a la obtención del diámetro, presión y temperatura de chimenea, así como contenido de humedad de los gases, peso molecular de gases, velocidad de gases que fluyen por ductos o chimeneas, selección de boquilla de muestreo, determinación de las condiciones Isocinéticas, preparación del equipo de muestreo, soluciones más comunes para muestrear gases en chimeneas, detección de fugas en el tren de muestreo, técnicas de muestreo, manejo de las muestras, cálculo de las emisiones a la atmósfera, etc., se llevaron a efecto 5 mediciones en el efluente (chimenea) del Horno Orión Cokeless, referente al Horno Rotatorio se realizaron 3 mediciones, con el más estricto apego a lo contemplado por las Normas --

# TREN DE MUESTREO

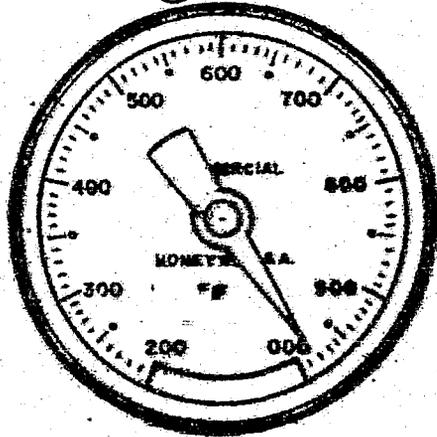
FIGURA N° 13



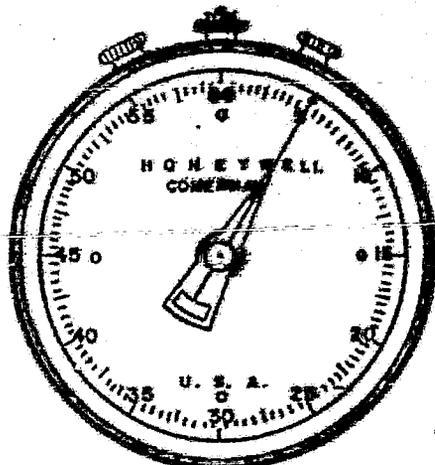
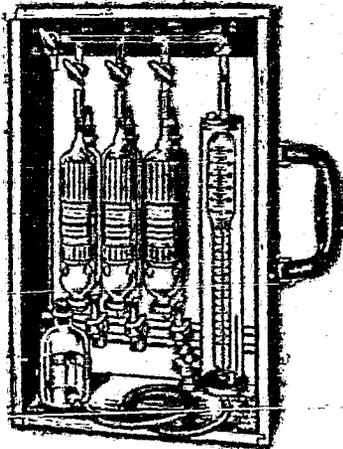
# EQUIPO COMPLEMENTARIO DE MUESTREO

FIG. N° 14

19 "TERMOMETRO"

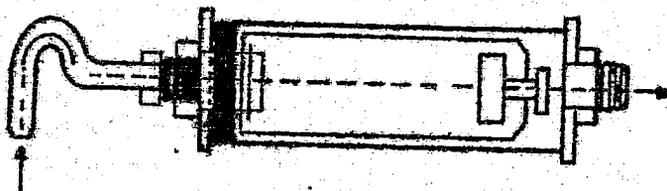


18 ANALIZADOR  
DE GASES "ORSAT"

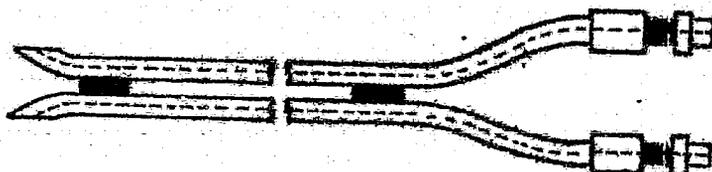


20 "CRONOMETRO"

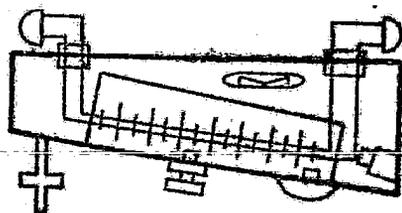
**EQUIPO COMPLEMENTARIO DE MUESTREO**  
**FIG. Nº 13**



② PORTAFILTRO PARA SEDAL DE CELULOZA



⑤ TUBO "PITOT" TIPO  $\phi$  (SERIAL)



⑦ MANOMETRO DIFERENCIAL INCLINADO

Oficiales Mexicanas en vigor NOM-AA-9, NOM-AA-10-1980, NOM-AA-35, NOM-AA-54.

Es importante resaltar la atención que se prestó a las condiciones de Isocinetismo que se aplicaron a las pruebas realizadas, ya que las mismas se calcularon después de cada una de las mediciones, con el objeto de conocer los resultados para su rechazo o bien su aceptación. Se tomaron como mediciones representativas aquéllas que arrojaron un porcentaje de Isocinetismo dentro del ámbito 90-110, aplicando para tal aceptación la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Iso} = \frac{Vs \text{ Bch} \times 100}{AB \times Tm^* \times Vch} \quad \text{en donde } Vs \text{ Bch} = \frac{Vc \times Tch}{Tg \text{ F.G.S.}}$$

\* Tm en segundos

### RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LAS EVALUACIONES

FABRICAS ORION, S.A.  
DIVISION FIERRO  
AV. COLON N°. 2712 Pte.  
MONTERREY, N.L.

#### ACTIVIDAD DE LA EMPRESA:

Fundición de Hierro Gris a partir de material de retorno, pedacería de monoblock, acero y chatarra.

#### PRODUCTOS OBTENIDOS:

Hierro Gris y Nodular (Suave y semi duro). 85% partes para industria automotriz y tractores; 15% tinajas de baño, lavabos, etc., para esmaltar.

FUENTE EMISORA EVALUADA: Chimenea Horno B, Cubilote "Sin Coque"

TIPO DE EVALUACION: Muestreo Isocinético (Determinación de material particulado)

TIPO DE COMBUSTIBLE UTILIZADO: Diesel centrifugado especial.

CONSUMO DE COMBUSTIBLE: 340 l/Hr.

SANGRADO: Intermitente.

TEMPERATURA DE SANGRADO: 1480° - 1500°C

TIEMPO DE CARGA AL HORNO: 5 minutos.

TIEMPO DE FUSION: 30 minutos.

AIRE SUMINISTRADO AL QUEMADOR: A razón de 9.44 l/s a 379211.63 Pa de presión cada uno de los 4 quemadores.

TIPO DE PROCESO: Dos hornos iguales A y B operando - alternadamente dos turnos por día, de 8 horas cada turno, 6 días a la semana.

**ANALISIS QUIMICO DE LA ESCORIA PRODUCIDA EN PORCIENTO (%)**

| Ca O | Mg O | Si O <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe O | Mn O | Ti O |
|------|------|-------------------|--------------------------------|------|------|------|
| 25.5 | 0.47 | 51.5              | 13.3                           | 3.7  | 1.83 | 1.8  |

BASICIDAD =  $\frac{CaO+MgO}{SiO} = \frac{25.5+0.47}{51.5} = 0.504$  ya que el resultado de las proporciones es  $< 1$ , la naturaleza de la escoria es ácida.

**ESPECIFICACIONES DE ELEMENTOS PARA LA OBTENCION DE HIERRO  
GRIS (LINEA SPO-FORD, LINEA SS MESA Y CHAROLA # 308)\***

| C %    | Si %    | C Equiva-<br>lente % | Mn %     | S %  | P %  | Temp.<br>°C | Chill | Dureza<br>Brinell |
|--------|---------|----------------------|----------|------|------|-------------|-------|-------------------|
| 3.5-37 | 2.4-2.5 | 4.33-4.55            | 0.60 MAX | 0.12 | 0.12 | 1440        | 0-1   | 4.2-4.5           |

\* Especificación de la empresa, piezas a moldear.

CONSUMO DE MATERIA PRIMA DURANTE EL PERIODO DE PRUEBAS

| D I A     | T U R N O  | Kg. de Materia Prima en c/carga |             |              |           | Subtotal de Materia Prima en c/turno |             |              |           | Nº. Total de cargas | Total de Ton. Fund. |      |
|-----------|------------|---------------------------------|-------------|--------------|-----------|--------------------------------------|-------------|--------------|-----------|---------------------|---------------------|------|
|           |            | Retor<br>ño                     | Lin<br>gote | Chata<br>rra | Ace<br>ro | Retor<br>no                          | Lin<br>gote | Chata<br>rra | Ace<br>ro |                     |                     |      |
| 21/VII/81 | MATUTINO   | 250                             | 50          | 200          | - -       | 1000                                 | 200         | 800          | - -       | 4                   | 64                  | 32   |
|           |            | 225                             | 225         | - -          | 50        | 13500                                | 13500       | - -          | 3000      | 60                  |                     |      |
| 21/VII/81 | VESPERTINO | 225                             | 225         | - -          | 50        | 6750                                 | 6750        | - -          | 1500      | 30                  | 45                  | 22.5 |
|           |            | 325                             | 75          | 100          | - -       | 4875                                 | 1125        | 1500         | - -       | 15                  |                     |      |
| 23/VII/81 | MATUTINO   | 225                             | 225         | - -          | 50        | 15750                                | 15750       | - -          | 3500      | 70                  |                     | 35   |
|           | VESPERTINO | 225                             | 225         | - -          | 50        | 13050                                | 13050       | - -          | 2900      | 58                  |                     | 29   |

**CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS DEL COMBUSTIBLE UTILIZADO  
(DIESEL CENTRIFUGADO)**

| PESO ESPECIFICO          | PUNTO DE IGNICION | VISCOSIDAD SUF.37.8°C | PODER CALORIFICO | CONTENIDO DE AZUFRE |
|--------------------------|-------------------|-----------------------|------------------|---------------------|
| 0.8489 g/cm <sup>3</sup> | 74°C              | 39s                   | 10046.7          | Kcal/Kg-0.4%        |

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Nº. de pruebas realizadas:         | 5, consistentes en 1 determinación de humedad, 1 prueba preliminar, 3 pruebas definitivas |
| Tipo de filtros utilizados:        | Cartuchos de celulosa, tipo de dal  |
| Altura física de la chimenea:      | 18.55 m   |
| Area de la chimenea:               | 1.86 m <sup>2</sup>   |
| Diámetro interior de la chimenea   | 1.54 m  |
| Extensión puerto de muestreo:      | 0.080 m   |
| Presión barométrica:               | 96275.04 Pa   |
| Factor calibración Tubo Pitot:     | 0.83 Adimensional   |
| Factor calibración Gasómetro seco: | 0.9511 Adimensional   |

**ANALISIS DE GASES DE COMBUSTION  
(METODO ORSAT)**

| MUESTREOS ISOCINETICOS REALIZADOS | PRUEBA PRELIMINAR | 1ER.DEFINITIVO | 2DO.DEFINITIVO | 3ER.DEFINITIVO | PROMEDIO |
|-----------------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------|
| FECHA                             | 21/VII/81         | 23/VII/81      | 23/VII/81      | 23/VII/81      |          |
| CO <sub>2</sub> %                 | 1.45              | 1.9            | 2.47           | 2.47           | 2.0725   |
| O <sub>2</sub> %                  | 16.35             | 15.2           | 16.67          | 16.67          | 16.22    |
| CO%                               | 0.5               | 0.25           | 0.325          | 0.325          | 0.35     |
| N <sub>2</sub> %                  | 81.7              | 82.65          | 80.53          | 80.53          | 81.35    |
| Ge                                | 0.9910            | 0.9827         | 0.99378        | 0.9982         | 0.99142  |

TABLA DE PRUEBAS Y RESULTADOS

| MUESTREOS ISOCINETICOS<br>REALIZADOS | PRUEBA<br>PRELIMINAR  | PRIMER<br>DEFINITIVO  | SEGUNDO<br>DEFINITIVO | TERCER<br>DEFINITIVO  | PROMEDIO              |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| F E C H A                            | 21/VII/81             | 23/VII/81             | 23/VII/81             | 23/VII/81             |                       |
| TM (minutos)                         | 80                    | 42                    | 40                    | 80                    | 60.5                  |
| Ptac (g)                             | 12.1                  | 11.2                  | 14.2                  | 15.6                  | 13.28                 |
| Tg (°K)                              | 305.24                | 303.88                | 306.79                | 308.36                | 306.1                 |
| TcH (°K)                             | 503.43                | 410                   | 437                   | 450                   | 450                   |
| Ved (m <sup>3</sup> )                | 1.120                 | 0.447                 | 0.950                 | 2.125                 | 1.161                 |
| Vc (m <sup>3</sup> )                 | 1.065                 | 0.425                 | 0.903                 | 2.021                 | 1.104                 |
| Pg (Pa)                              | 6962.41               | 11547.60              | 10599.40              | 21571.3               | 12670.17              |
| PAG (Pa)                             | 89312.62              | 84727.45              | 85675.64              | 74703.74              | 83604.86              |
| Fsch (Pa)                            | 47.325                | 32.380                | 41.347                | 43.987                | 41.26                 |
| <sup>1/2</sup> AP Prom. (Pa)         | 90.62                 | 84.07                 | 88.18                 | 92.76                 | 88.90                 |
| PcH (Pa)                             | 96309                 | 96309                 | 96309                 | 96309                 | 96309                 |
| Fgs                                  | 0.98243               | 0.9583                | 0.9747                | 0.9855                | 0.9752                |
| FGH                                  | 0.01757               | 0.04168               | 0.02526               | 0.01446               | 0.02474               |
| ABD (m <sup>2</sup> )                | 3.16x10 <sup>-5</sup> | 3.16x10 <sup>-5</sup> | 7.12x10 <sup>-5</sup> | 7.12x10 <sup>-5</sup> | 5.14x10 <sup>-5</sup> |
| VcH (m/s)                            | 8.29                  | 6.97                  | 7.50                  | 7.99                  | 7.69                  |
| VcHn (m/s)                           | 4.59                  | 4.62                  | 4.74                  | 4.96                  | 4.73                  |
| VT (m <sup>3</sup> )                 | 1.14                  | 0.46                  | 0.97                  | 2.15                  | 1.18                  |
| VTcH (m <sup>3</sup> )               | 1.74                  | 0.70                  | 1.23                  | 2.44                  | 1.53                  |
| Gg (m <sup>3</sup> /s)               | 2.33x10 <sup>-4</sup> | 1.77x10 <sup>-4</sup> | 3.96x10 <sup>-4</sup> | 4.43x10 <sup>-4</sup> | 3.12x10 <sup>-4</sup> |
| Pmg                                  | 28.69                 | 28.45                 | 28.77                 | 28.898                | 28.70                 |

(Continúa...)

TABLA DE PRUEBAS Y RESULTADOS

55.

| MUESTREOS ISOCINETICOS        | PRUEBA PRELIMINAR | PRIMER DEFINITIVO | SEGUNDO DEFINITIVO | TERCER DEFINITIVO | PROMEDIO |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|----------|
| F E C H A                     | 21/VII/81         | 23/VII/81         | 23/VII/81          | 23/VII/81         |          |
| FILTRO N°.                    | 21                | 4                 | 8                  | 3                 | - - -    |
| Pf (g)                        | 6.9756            | 5.7031            | 5.5858             | 6.4361            | 6.175    |
| Pf (g)                        | 7.1737            | 5.7900            | 5.7291             | 6.6174            | 6.327    |
| Pr (g)                        | 0.1981            | 0.0869            | 0.1433             | 0.1813            | 0.1524   |
| CP (Mg/m <sup>3</sup> )       | 113.66            | 123.55            | 115.784            | 74.2712           | 106.82   |
| CPN (mg/m <sup>3</sup> )      | 201.7172          | 226.92            | 178.51             | 117.82            | 181.24   |
| GcH (m <sup>3</sup> /s)       | 15.41             | 12.96             | 13.96              | 14.86             | 14.30    |
| GcHN(m <sup>3</sup> /s)       | 8.74              | 7.06              | 9.05               | 9.37              | 8.55     |
| g/m <sup>3</sup>              | 0.1136            | 0.1235            | 0.1160             | 0.074             | 0.1068   |
| PT-60 (%)                     | 53.8              | 50                | 61.2               | 36.5              | 50.37    |
| PT-80 (%)                     | 14                | 12                | 11.8               | 15.4              | 13.3     |
| PT-100 (%)                    | 13.6              | 15.2              | 7.5                | 15.9              | 13.05    |
| PF (%)                        | 18.6              | 22.8              | 19.5               | 32.2              | 23.27    |
| ECH (Kg/Hr)                   | 6.35              | 5.76              | 5.82               | 3.98              | 5.477    |
| PDP (Ton/Hr)                  | 5                 | 5                 | 5                  | 5                 | 5        |
| EMPINTI (Kg/Hr)               | 17.064            | 17.064            | 17.064             | 17.064            | 17.064   |
| CMPINTII (mg/m <sup>3</sup> ) | 666.1815          | 714.046           | 658.62             | 651.316           | 672.54   |
| Fe                            | 0.3028            | 0.3178            | 0.2710             | 0.1809            | 0.2681   |

CIA. FUNDIDORA BRIGAM, S.A.  
CZADA. LAZARO CARDENAS N°. 800  
GUADALAJARA, JALISCO.

ACTIVIDAD DE LA EMPRESA:

Fundición de Hierro Gris a partir de Monoblock, material de retorno, acero, gota y cigüeñal.

PRODUCTOS OBTENIDOS

Válvulas y conexiones de hierro fundido para redes de agua potable y alcantarillado.

FUENTE EMISORA EVALUADA:

Chimenea Horno Rotatorio.

TIPO DE EVALUACION:

Muestreo Isocinético (Determinación de material particulado).

TIPO DE COMBUSTIBLE UTILIZADO:

Diesel centrifugado.

CONSUMO DE COMBUSTIBLE:

250 l/Ton de metal fundido.

SANGRADO:

Intermitente.

TEMPERATURA DE SANGRADO

1350 - 1450°C

TIEMPO DE CARGA AL HORNO:

30 minutos

TIEMPO DE FUSION:

2.5 Horas.

AIRE SUMINISTRADO AL QUEMADOR:

40 m<sup>3</sup>/min.

TIPO DE PROCESO:

Intermitente (Duración de ciclo 3.5 horas) Se trabajan tres ciclos diarios.

ANALISIS QUIMICO DE LA ESCORIA PRODUCIDA EN PORCIENTO (%)

| CaO   | MgO   | SiO <sub>2</sub> | FeO  | MnO   | S    | C    |
|-------|-------|------------------|------|-------|------|------|
| 19.15 | 11.04 | 59.44            | 2.50 | 11.04 | 0.03 | 0.10 |

$$\text{Basicidad: } = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2} = \frac{19.15 + 11.04}{59.44} = 0.508$$

Dado que las proporciones son  $< 1$ , la naturaleza de la Escoria es ácida.

**ESPECIFICACIONES DE ELEMENTOS PARA LA OBTENCION  
DE HIERRO GRIS, TIPO "B" ASTM-4840**

| C %     | Si %  | Mn %      | S %       | P %       | Cr %    |
|---------|-------|-----------|-----------|-----------|---------|
| 3.3-3.5 | 2-2.2 | 0.60-0.80 | 0.02-0.12 | 0.08-0.50 | 0.00-15 |

**REPORTE DE FUSION - HORNO ROTATORIO  
DURANTE PERIODO DE PRUEBAS**

Fecha 22/Mayo/81      Carga Total 3 Tons.      Carga N°. 244

| H o r a | Operación              | Aire                        | Flujo            | Temp.                | Ma t e r i a l e s  |    |              |
|---------|------------------------|-----------------------------|------------------|----------------------|---------------------|----|--------------|
|         |                        | sec.<br>m <sup>3</sup> /min | Diesel<br>L.P.M. | Aire<br>secun.<br>°C | Canti-<br>dad<br>Kg | %  | C l a s e    |
| 10:34   | Encendido              | 8                           | 1.5              | 25°C                 | 1850                | 62 | Monoblock    |
| 10:46   | Corrección flama       | 8                           | 2.0              | 40°C                 | 600                 | 20 | Retorno      |
| 11:15   | Prueba Regulador       | 8                           | 1.5              | 50°C                 | 400                 | 13 | Cigüeñal     |
| 11:25   | 1a. Rotación x 3 seg.  | 8.5                         | 1.9              | 55°C                 | 150                 | 5  | Gota         |
| 12:05   | 1a. Rotación x 10 seg. | 8.5                         | 2.4              | 70°C                 |                     |    |              |
| 12:15   | 1a. Rotación x 30 seg. | 8.5                         | 2.5              | 80°C                 | 120                 |    | Grafito      |
| 12:45   | Recarga aleaciones     | 8.5                         | 2.5              | 90°C                 | 40                  |    | Fe-Silicio   |
| 12:53   | Encendido              | 8.5                         | 2.3              | 80°C                 | 30                  |    | Caliza       |
| 13:15   | Toda flama             | 8.5                         | 2.5              | 100°C                | 9                   |    | Fe-Manganeso |
| 14:10   | Prueba                 | 8.5                         | 2.5              | 130°C                | 12                  |    | Brix         |
| 14:30   | Vaciado                | 8.5                         | 2.5              | 130°C                |                     |    |              |
| 15:20   | Terminado              | -                           | -                | -                    | -                   |    |              |

**CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS DEL COMBUSTIBLE UTILIZADO**

| Peso específico          | Punto de ignición | Viscosidad Suf. 37.8°C | Poder Calorífico | Contenido de S |
|--------------------------|-------------------|------------------------|------------------|----------------|
| 0.8489 g/cm <sup>3</sup> | 74°C              | 39 S                   | 10046.7 Kcal/Kg. | 1.1%           |

Nº. DE PRUEBAS REALIZADAS: 3, consistentes en 1 estudio preliminar y 2 pruebas definitivas

TIPO DE FILTROS UTILIZADOS: Dedal de alundum (2), cartucho de celulosa (1)

ALTURA FISICA DE LA CHIMENEA: 15 m.

AREA DE LA CHIMENEA 0.148 m<sup>2</sup>

DIAMETRO INTERIOR DE LA CHIMENEA 0.436 m.

EXTENSION PUERTO DE MUESTREO: 0.26 m.

PRESION BAROMETRICA: 83982.4 Pa

FACTOR CALIBRACION TUBO PITOT: 0.83 adimensional

FACTOR CALIBRACION GASOMETRO SECO: 0.95111 adimensional

ANALISIS DE GASES DE COMBUSTION, METODO ORSAT

| Muestras Isocinéticas realizados | Primer Definitivo | Segundo Definitivo | Promedio |
|----------------------------------|-------------------|--------------------|----------|
| F e c h a                        | 22/V/81           | 22/V/81            |          |
| CO <sub>2</sub> %                | 3.53              | 3.53               | 3.53     |
| O <sub>2</sub> %                 | 2.93              | 2.93               | 2.93     |
| CO %                             | 0.3               | 0.3                | 0.3      |
| N <sub>2</sub> %                 | 93.24             | 93.24              | 93.24    |
| Ge                               | 0.9768            | 0.9858             | 0.9813   |

TABLA DE PRUEBAS Y RESULTADOS

| MUESTREOS ISOCINETICOS REALIZADOS | PRIMER DEFINITIVO     | SEGUNDO DEFINITIVO    | PROMEDIO              |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| F E C H A                         | 22/V/81               | 22/V/81               |                       |
| TM (minutos)                      | 36                    | 36                    | 36                    |
| Ptac (g)                          | 3.8                   | 6.4                   | 5.1                   |
| Tg (°K)                           | 311                   | 305.87                | 308.43                |
| TcH (°K)                          | 811.11                | 770.23                | 790.67                |
| Vcd (m <sup>3</sup> )             | 0.772                 | 0.808                 | 0.79                  |
| Vc (m <sup>3</sup> )              | 0.734                 | 0.768                 | 0.751                 |
| Pg (Pa)                           | 33525.25              | 8499.83               | 21012.54              |
| Pag (Pa)                          | 50457.2               | 75482.61              | 62969.90              |
| Psch (Pa)                         | 67.25                 | 67.25                 | 67.25                 |
| AP Prom. (Pa) <sup>1/2</sup>      | 104.64                | 104.64                | 104.64                |
| Pch (Pa)                          | 84050.17              | 84050.17              | 84050.17              |
| Fgs                               | 0.9852                | 0.9847                | 0.9849                |
| FGH                               | 0.01448               | 0.0153                | 0.01489               |
| ABD (m <sup>2</sup> )             | 7.12x10 <sup>-3</sup> | 7.12x10 <sup>-3</sup> | 7.12x10 <sup>-3</sup> |
| Vch (m/s)                         | 13.04                 | 12.71                 | 12.87                 |
| Vchn (m/s)                        | 3.92                  | 4.02                  | 3.97                  |
| VT (m <sup>3</sup> )              | 0.783                 | 0.820                 | 0.801                 |
| VTch (m <sup>3</sup> )            | 1.22                  | 1.855                 | 1.537                 |
| Gg (m <sup>3</sup> /s)            | 3.57x10 <sup>-4</sup> | 3.74x10 <sup>-4</sup> | 3.57x10 <sup>-4</sup> |
| PMg                               | 28.51                 | 28.51                 | 28.51                 |
| FILTRO N°.                        | 3                     | 9                     |                       |
| Pi (g)                            | 52.2024               | 7.8572                | 30.029                |
| Pf (g)                            | 52.2795               | 8.1362                | 30.207                |
| Pr (g)                            | 0.0771                | 0.279                 | 0.178                 |
| CP (mg/m <sup>3</sup> )           | 98.134                | 339.96                | 219.04                |
| CPN (mg/m <sup>3</sup> )          | 321.53                | 1057.73               | 689.63                |
| GcH (m <sup>3</sup> /s)           | 1.94                  | 1.89                  | 1.91                  |
| GcHN (m <sup>3</sup> /s)          | 0.5918                | 0.6073                | 0.5995                |

FF

(Continúa...)

TABLA DE PRUEBAS Y RESULTADOS

| MUESTREOS ISOCINETICOS REALIZADOS | PRIMER DEFINITIVO | SEGUNDO DEFINITIVO | PROMEDIO |
|-----------------------------------|-------------------|--------------------|----------|
| F E C H A                         | 22/V/81           | 22/V/81            |          |
| g/m <sup>3</sup>                  | 0.063             | 0.150              | 0.106    |
| PT-60 (%)                         | 63                | 55                 | 59       |
| PT-80 (%)                         | 7.6               | 11.6               | 9.6      |
| PT-100 (%)                        | 13.7              | 15.4               | 14.55    |
| PF (%)                            | 15.7              | 18                 | 16.85    |
| Ech (Kg/Hr)                       | 0.686             | 2.31               | 1.49     |
| PDP* (Ton/Hr)                     | 1.2               | 1.2                | 1.2      |
| EMPIETI (Kg/H)                    | 8.745             | 8.745              | 8.745    |
| CMPIETII (mg/m <sup>3</sup> )     | 1594.31           | 1581.26            | 1587.78  |
| Fe                                | 0.202             | 0.6689             | 0.4354   |

\* Se trabajan 7.5 horas diarias.

## C A P I T U L O V

### ANALISIS ECONOMICO

Al comparar la inversión inicial necesaria para fundir hierro gris, se encuentra que de los medios conocidos, la inversión más baja sería la requerida para instalar un sistema de fusión en cubilote convencional, sin embargo, al realizar un análisis económico de costos, tanto de combustible (Coque importado), operatividad y productividad en éste tipo de horno, así como el control de calidad del producto obtenido y sobre todo, lo más importante, enfocado al aspecto de control ambiental, el tener que abatir las emisiones nocivas a la salud, por medio de la instalación de equipos de control de emisiones a la atmósfera, que originan indiscutiblemente una inversión mayor, tanto en su operación, mantenimiento y amortización; a todo esto, se obtuvieron los siguientes resultados con respecto al Horno de Cubilote "Sin Coque" y al Horno Rotatorio, tal como se muestra en el Cuadro N°. 1.

En el Cuadro N°. 2 se contemplan los costos de inversión de los hornos propuestos y de los equipos de control de emisiones comúnmente usados en el Cubilote Convencional, debido a sus bajos costos, más no por su eficiencia de control ambiental, ya que en la práctica se ha detectado de un 60-75% de dicha eficiencia, por lo tanto no cumplen con lo establecido en el artículo 26 del Capítulo II (Emisión de Humos y Polvos) del Reglamento para la Preven

ción y Control de la Contaminación Atmosférica originada por la -  
Emisión de Humos y Polvos, que versa:

"Los cubilotes de fundición deben equiparse con aditamentos para la limpieza de gases que operen separando el 80% en peso de todos los polvos en los gases de descarga del cubilote".

Es importante hacer la aclaración que, debido a la repercusión de la crisis económica a nivel mundial, en nuestro país se ha detectado una creciente espiral inflacionaria, es por ello que los precios que se contemplan en el presente trabajo son estimativos a los costos del mes de abril del año de 1981.

#### CUADRO N°. 1

Costos comparados de la fusión de una tonelada -  
de hierro gris en cubilote convencional, horno rotatorio y cubilote "Sin Coque"

Para la obtención de estos costos se tomaron en cuenta las siguientes bases:

- a) Temperatura en el canal de vaciado a 1480°C.
- b) Igualdad de especificaciones químicas del -  
hierro gris.
- c) Condiciones similares de control de emisio--  
nes.

I Cubilote Convencional= ▲

II Horno Rotatorio= ●

III Cubilote "Sin Coque" △

I .- Tobera sencilla

II .- Recuperador de gases de combustión

III .- Material refractario esferas (importación)

I .- Aire de combustión a temperatura ambiente

II .- Aire primario (comprimido)

III .- Postquemador de gases de combustión, aire secundario

I .- Combustible enriquecido con oxígeno

II .- Combustible enriquecido con aire secundario proveniente del Recuperador de calor

III .- Materiales de consumo nacionales

I .- Coque importado

II .- Materiales de consumo nacionales

III .- Sistema refrigerante

CUADRO N°. 1

| PARTIDA | CONCEPTOS  | C O S T O S       |                  |             |           | ABRIL 1981 |           |
|---------|--|-------------------|------------------|-------------|-----------|------------|-----------|
|         | COMBUSTIBLES:  | Tipo de Fusión    | \$ 1,273.50=100% | I ▲         | II ●      | III △      | III △     |
| 1       | Sólido - Coque   | I ▲               | 86.38%           | \$ 1,100.00 | - - -     | - - -      | - - -     |
|         | Líquido Diesel   | II ●              | 18.85%           | - - -       | \$ 240.00 | - - -      | - - -     |
|         |  | III △             | 6.28%            | - - -       | - - -     | \$ 80.00   | - - -     |
|         | Gaseoso Gas nat.   | III △             | 2.36%            | - - -       | - - -     | - - -      | \$ 30.10  |
| 2       | CAMA DE MATERIAL REFRACTARIO                                     | I ▲               | - - -            | - - -       | - - -     | - - -      | - - -     |
|         |  | II ●              | 10.99%           | - - -       | \$ 140.00 | - - -      | - - -     |
|         |  | III △             | 54.97%           | - - -       | - - -     | \$ 700.00  | \$ 700.00 |
| 3       | ENRIQUECIMIENTO CON OXIGENO                                      | I ▲               | 6.48%            | \$ 82.50    | - - -     | - - -      | - - -     |
|         |  | II ●              | - - -            | - - -       | - - -     | - - -      | - - -     |
|         |  | III △             | - - -            | - - -       | - - -     | - - -      | - - -     |
| 4       | RECARBURIZADOR (GRAFITO)   | I ▲               | - - -            | - - -       | - - -     | - - -      | - - -     |
|         |  | II ●              | 13.43%           | - - -       | \$ 171.00 | - - -      | - - -     |
|         |  | III △             | 9.38%            | - - -       | - - -     | \$ 119.50  | \$ 119.50 |
| 5       | EQUIPO DE CONTROL DE EMISIONES, AMORTIZACION Y OPERACION (Mant.) | I ▲               | 7.15%            | \$ 91.00    | - - -     | - - -      | - - -     |
|         |  | II ●              | - - -            | - - -       | - - -     | - - -      | - - -     |
|         |  | III △             | - - -            | - - -       | - - -     | - - -      | - - -     |
|         |  | I ▲               |                  | \$ 1,273.50 | - - -     | - - -      | - - -     |
|         |  | II ●              |                  |             | \$ 551.00 | - - -      | - - -     |
|         |  | III △ Diesel      |                  |             |           | \$ 899.50  | - - -     |
|         |  | III △ Gas natural |                  |             |           |            | \$ 849.60 |

TABLA N°. 2

TABLA COMPARATIVA DE COSTOS DE DIVERSOS HORNOS DE FUSION PARA  
LA OBTENCION DE HIERRO GRIS  
(En miles de pesos m/n, abril 1981)

| TIPO DE HORNO                             | Capacidad Nominal Ton./N | Equipo de Control                   | Inversión en Horno | Costo del Equipo de Control | Vida media del Equipo de Control (años) | Costo del Hor no más equipo de Control | Costo de Operación * |
|---|--------------------------|-------------------------------------|--------------------|-----------------------------|---|--|----------------------|
| CUBILOTE CONVENCIONAL                     | 3                        | Capuchón Húmedo ***                 | 1,000              | 900                         | 3                                       | 1,900                                  | 1.2735               |
| CUBILOTE CONVENCIONAL                     | 2.5                      | Lavador, Cámara de sedimentación ** | 850                | 1,000                       | 3 - 4                                   | 1,850                                  | 1.5918               |
| ROTATORIO                                 | 2                        | - - -                               | 1,623              | - - -                       | - - -                                   | 1,623                                  | 0.5510               |
| CUBILOTE "SIN COQUE" (Combustible Diesel) | 5                        | - - -                               | 5,000              | - - -                       | - - -                                   | **<br>5,000                            | 0.8995               |

\* Costo de Operación = Costo de fusión de tonelada de metal líquido por hora.

\*\* Con asistencia técnica; además causa regalías.

\*\*\* Equipos de Control generalmente usados por su bajo costo.

Es importante mencionar que a los Hornos de Cubilote Convencional se les puede modificar para efectuar una conversión al sistema Cubilote "Sin Coque", obteniendo de esta manera una muy buena utilidad de inversión en el Horno, ya que del costo original se invierte únicamente el 80%.

Los costos de la fusión en Cubilotes adaptados al sistema "Sin Coque" varían dependiendo de los diversos tipos de Cubilote y el lugar en que se encuentran localizados. El principal factor del costo en la fusión del hierro en un Cubilote Convencional es el Coque, por lo que es fundamental establecer la cifra exacta de consumo, o sea que se deben de considerar:

Mermas en manejos y en el almacenamiento, el Coque de la cama y cualquier otra adición de refuerzo que se utilice durante la fusión. Al asignar el precio del Coque, considerar además - del valor de la factura, todos los demás gastos que su utilización representa por la fundición.

Dada la pequeña capacidad de los Hornos Rotatorios, - (de 1 hasta 5 ton/hora) no resulta conveniente la fabricación de hierro gris a fundidoras que requieren una productividad mayor de las 5 ton/hora, problema que se vé resuelto con la utilización - del Cubilote "Sin Coque" que maneja de 3 a 10 ton/hora en campañas de 12 horas diarias alternándose por lo general con otro horno de igual capacidad, es decir, por lo general se trabajan dos - hornos, uno en operación y el otro en preparación de campaña.

Además de considerar los costos de operación, productividad, y de amortización, resulta importante mencionar las demás ventajas que poseen los Hornos propuestos con respecto al Horno de Cubilote Convencional:

- a) Se abaten los costos de Desulfurado.
- b) Inversión menor al utilizar combustibles nacionales. (Líquidos o gaseosos)
- c) Inversión nula de Equipos Anticontaminantes, ya que cumplen con los parámetros de emisiones contemplados en la Legislación Ambiental de México.

## C A P I T U L O VI

### C O N C L U S I O N E S

Tomando en cuenta tanto las ventajas como desventajas de los Hornos propuestos en relación a la sustitución del Cubilote Convencional, se presenta a continuación un resumen de éstas, para poder fundamentar conclusiones:

#### HORNO ROTATORIO

##### Ventajas:

1. Obtención de un mejor control de la composición química del producto final.
2. Puede ser montado sobre una báscula para controlar con mayor precisión los pesos de cargas y descargas.
3. Obtención de una variedad de hierros colados (nodular, maleable, etc.) con relativa facilidad; no se requiere la Desulfuración.
4. Dependiendo del espesor y calidad del refractario, puede operarse en forma continua por varios meses, superando las 1000 toneladas de fierro fundido y con mantenimiento de refractario menos frecuente.
5. La operación del Horno es simple y sólo requiere de un operario.
6. El costo de operación es 43.26% menor que el de Cubilote Convencional.
7. No necesita instalación de Equipo de Control de Emisiones, dado que utiliza combustibles nacionales líquidos o gaseosos, efectuando una buena combustión, logrando así el abatimiento de humos en una proporción del 95%.

8. Las emisiones de material particulado (polvos) representan aproximadamente la sexta parte de las de un Cubilote Convencional.
9. Los aditamentos tanto de estructura como de operación del Horno, en su totalidad son construidos con materiales nacionales, evitando la fuga de divisas.

#### Desventajas

1. Baja eficiencia térmica.
2. Sistema de carga lento e intermitente, ya que tiene que interrumpirse la operación del quemador para introducir la carga al horno por la boca de salida de los gases.
3. Tiempo de fusión prolongado.
4. Ocupa un espacio mayor por su posición horizontal.
5. Inversión elevada en relación al Cubilote Convencional.
6. Requiere de fuerza motriz, misma que proporciona movimiento de giro.
7. Tiempo excesivo en la preparación del recubrimiento refractario y precalentado del Horno.

### HORNO DE CUBILOTE "SIN COQUE"

#### Ventajas

1. La inversión inicial por tonelada de capacidad de fusión es menor que la requerida para otros sistemas.
2. Las erogaciones improductivas que se realizan para abatir las emisiones contaminantes nocivas a la salud, provenientes de los hornos de cubilote convencionales, se han convertido en innecesarias con la utilización del Cubilote "Sin Coque" por lo que resulta un sistema de fusión limpio.

3. Las emisiones de humos son nulas.
4. Las emisiones de material particulado (polvos) representan aproximadamente las 2.73 veces menos que las de un Cubilote Convencional.
5. Existe la posibilidad de modificar Cubilotes Convencionales.
6. Utiliza combustibles nacionales líquidos o gaseosos.
7. El metal producido es más limpio y fluido a temperaturas más bajas que cuando es fundido en Cubilotes Convencionales.
8. Cuenta con m-dios para mantener un control rígido de las características del metal durante la Campaña de fusión.
9. La fusión del metal se realiza en atmósfera parcialmente reductora.
10. No requiere Desulfurar para producir Hierro Nodular.
11. Simplifica la producción de Hierro Maleable.
12. El costo de la fusión es menor que el de otros sistemas, cuyas capacidades de producción sean iguales.
13. La operación del Horno en términos generales es similar a la de un Cubilote Convencional.
14. Establecida la práctica del procedimiento de operación del Horno hasta llegar a hacerlo rutinario, se aprovechan los medios que el sistema ofrece para reducir el número de variables en el proceso, condición benéfica para el fundidor, tanto desde el punto de vista de calidad y uniformidad metalúrgica del producto como por el de economía en el costo de la fusión.
15. Asistencia técnica y regalías.

### Desventajas

1. Necesidad de obtener un cambio en la mentalidad - del personal a cargo, para que desde su iniciación cumpla con precisión y consistencia todos los pasos pre-establecidos antes de cada campaña.
2. Reparación del Ademe y accesorios.
3. Precalentado del Horno.
4. Utilización de soporte de carga (esferas refractarias) de importación (Inglaterra), aunque existe la posibilidad de fabricarse en México.
5. Requiere de un sistema refrigerante. (Recirculación de agua).
6. El 25% de sus componentes son de importación. (Inglaterra)
7. Causa fuga de divisas.

El abatimiento de las emisiones a la atmósfera, aunado a la economía, técnica moderna, mayor productividad y eficiente control de calidad del producto, fueron los factores imprescindibles que se tomaron en consideración para la realización del presente trabajo. El Horno Rotatorio, dada su limitada capacidad de fusión (1 a 5 Ton/hr), se recomienda a empresas fundidoras en pequeña escala, considerando que la mayoría de éstas cuentan con Cubilotos Convencionales sin Equipos de Control Ambiental, manejando un volumen de producción limitado, operando sus Cubilotos - 1 o 2 veces a la semana e inclusive utilizando combustibles inadecuados (llantas, madera, coque de bajo poder calorífico y alto contenido de azufre, etc.) que traen como consecuencia un grave problema de contaminación ambiental y sobre todo un producto de -

mala calidad; las ventajas que ofrecen estos Hornos son las adecuadas y propicias para las empresas fundidoras en pequeña escala, lo grando considerables aportaciones tanto en lo particular como para la comunidad en general.

A las empresas medianas que producen volúmenes de 5 a - 10 e inclusive hasta 15 Ton/hr. de metal fundido, se les recomienda la conversión al sistema Cubilote "Sin Coque", ya que éste brinda una amplia gama de satisfactores respecto a:

- a) Costos de Inversión.
- b) Costos de Fusión
- c) Costos de Operación
- d) Producción de Hierros Nodulares y Maleables
- e) Eficiente Control de Calidad

y sobre todo lo más importante:

Las emisiones de humos son nulos, las de polvos se encuentran dos veces por debajo de los parámetros permisibles de emisión, contemplados por el Reglamento de Humos y Polvos en vigor, - por lo que resulta inconveniente el tener que invertir en Equipos de Control Ambiental, además de considerar una inversión improductiva, salvo el caso de tener que apegarse a las disposiciones legales en materia de protección ambiental.

En general, la sustitución del Cubilote Convencional - por los Hornos propuestos, traerá como consecuencia múltiples aportaciones.

Se obtendrá una técnica moderna de fusión y auxiliará -  
a la Conservación del medio ambiente, no frenando de ninguna mane-  
ra el desarrollo industrial ni la capacidad de producción de la in-  
dustria del Hierro Gris en nuestro país.

A P E N D I C E

| TIPO DE EMISION   | CONCENTRACION<br>(g/m <sup>3</sup> ) | TAMAÑO DE PART.<br>(MICROMETROS) |
|-------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| CENIZAS           | <sup>-3</sup><br>5.6x10 - 0.14       | 8 - 20                           |
| COQUE             | 0.14                                 | MUY FINO                         |
| SMOG              | - - -                                | 0.01 - 4                         |
| OXIDOS METALICOS  | MODERADO                             | 0.7                              |
| SO <sub>2</sub>   | ALTO                                 | - - -                            |
| VAPORES DE ACEITE | ALTO                                 | 0.03 - 1                         |
| CO                | ALTO                                 | - - -                            |

TAMAÑO DE LAS PARTICULAS EXPULSADAS

| MICROMETROS | POR CIENTO (%) |
|-------------|----------------|
| 0 - 5       | 23.6           |
| 5 - 10      | 4.5            |
| 10 - 20     | 4.8            |
| 20 - 44     | 9.5            |
| > - 44      | 57.9           |

GRADO TOXICOLOGICO

SILICE (Si)      DIOXIDO DE SILICIO (SiO<sub>2</sub>)

PATOLOGIA

Silicosis

La reacción linfática perialveolar produce nodulación

La reacción con los tejidos intersticiales (de la pared bronquial y vascular) produce fibrosis lineal

SIGNOS

Generalmente después de 10-15 años de exposición:

Y

SINTOMAS

Disnea, Tos, dolor en el pecho, disminución de la capacidad vital, disminución de la capacidad torácica

DIOXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>)

PATOLOGIA

Corrosivo

SIGNOS

Conjuntivitis y necrosis corneal

Nasofaringitis

Y

SINTOMAS

Anosmia, edema de laringe, Traqueítis y

Bronquítis

Dolor en el pecho y tos, Disnea, Cianosis, Neumonitis y Edema pulmonar, Náuseas y vómitos

Fatiga. Quemaduras de piel

OXIDO FERROSO (FeO)      OXIDO FERRICO (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

PATOLOGIA

Siderosis con infiltración linfocítica pero no fibrosis

SIGNOS

Conjuntivitis benigna, Tos, Bronquítis crónica.

Y

SINTOMAS

Fiebre de vapores metálicos

## COQUE (C)

|                         |  |
|-------------------------|--|
| PATOLOGIA               | Irritante. Pneumoconiosis.   |
| SIGNOS<br>Y<br>SINTOMAS | Conjuntivitis e hiperplasia epitelial de la córnea.<br>Eczema. Bronquitis. Enfisema. |

## MONOXIDO DE CARBONO (CO)

|                         |  |
|-------------------------|--|
| PATOLOGIA               | Forma carboxihemoglobina, y por tanto Anoxia en los tejidos  |
| SIGNOS<br>Y<br>SINTOMAS | Carboxihemoglobina por debajo del 10%: Ninguno. Carboxihemoglobina entre 10-30%: Dolor de cabeza, somnolencia, lasitud, náuseas y vómitos, velocidad respiratoria aumentada, - aumento de la velocidad del pulso.<br>Carboxihemoglobina entre 30-40%: los mismos síntomas, más: disminución de la visión, disminución de la presión sanguínea, incoordinación muscular.<br>Carboxihemoglobina entre 40-60%: los mismos síntomas anteriores, más: debilidad generalizada, confusión mental.<br>Carboxihemoglobina 60% o más: Inconsciencia, convulsiones, muerte. |

## OXIDO DE ZINC (ZnO)

|                         |   |
|-------------------------|---|
| PATOLOGIA               | Nada establecido, pero puede ser: liberación de un pirogen endógeno o liberación de una sustancia parecida a la Histamina, procedente de los alveolos o formación de un proteínato metálico.  |
| SIGNOS<br>Y<br>SINTOMAS | Fiebre de los vapores metálicos. El intervalo entre la exposición y la aparición de los síntomas es de 4-6 horas como promedio. Irritación del tracto respiratorio superior, tos seca, dolor subesternal moderado, dolor de cabeza, náuseas y vómitos, malestar, sabor metálico en la boca.<br>Los escalofríos profundos generalmente duran de 1 a 3 horas.<br>Sudoración y fiebre, dolor de músculos y articulaciones, sed marcada. A veces bronquitis y neumonía, cianosis. |

## N O M E N C L A T U R A S

|                         |   |
|-------------------------|---|
| ABD                     | Area de la boquilla disponible, m <sup>2</sup> .  |
| AP <sup>1/2</sup> Prom. | Presión en el manómetro inclinada, Pa.  |
| CMPIET II               | Concentración máxima permitida para industria existente por Tabla II, mg/m <sup>3</sup> . |
| CMPINT II               | Concentración máxima permitida para industria nueva por Tabla II, mg/m <sup>3</sup> .     |
| CP                      | Concentración de polvo en chimenea, mg/m <sup>3</sup> .                                   |
| CPN                     | Concentración de polvo a condiciones normales mg/m <sup>3</sup> .                         |
| Ech                     | Emisión por chimenea, Kg/Hr.  |
| EMPIET I                | Emisión máxima permitida para industria existente por Tabla I, Kg/Hr.                     |
| EMPINT II               | Emisión máxima permitida para industria nueva por Tabla II, Kg/Hr.                        |
| FGH                     | Factor de gas húmedo, adimensional.   |
| Fgs                     | Factor de gas seco, adimensional.   |
| Fe                      | Factor de emisión, adimensional.  |
| g/m <sup>3</sup>        | Gramos por metro cúbico de gas muestreado.  |
| Ge                      | Gravedad específica, adimensional.  |
| Gch                     | Gasto volumétrico en Chimenea, m <sup>3</sup> /s  |
| GchN                    | Gasto volumétrico en chimenea a condiciones normales, m <sup>3</sup> /s.                  |

|           |   |
|-----------|---|
| Gg        | Gasto volumétrico en el gasómetro, m <sup>3</sup> /s.                               |
| Pag       | Presión absoluta en el gasómetro, Pa.   |
| Pch       | Presión absoluta en la chimenea, Pa.  |
| Pg        | Presión absoluta de vacío en el gasómetro Pa.                                       |
| Psch      | Presión estática de la chimenea, Pa.  |
| PMg       | Peso molecular promedio del gas, adimensional.                                      |
| Pi        | Peso inicial de filtro, g.  |
| Pf        | Peso final de filtro, g.  |
| PF        | Partículas finas, en %.   |
| Pr        | Peso de polvo retenido, g.  |
| Ptac      | Peso total de agua condensada, g.   |
| PT-60(%)  | Partículas tamiz 60, en %.  |
| PT-80(%)  | Partículas tamiz 80, en %.  |
| PT-100(%) | Partículas tamiz 100, en %.   |
| PDP       | Peso del proceso, Ton/Hr.   |
| Tch       | Temperatura de Chimenea, °K.  |
| Tg        | Temperatura promedio del gasómetro, °K.   |
| Vc        | Volumen corregido para el gasómetro, m <sup>3</sup> .                               |
| Vcd       | Volumen de gas muestreado por el medidor, en la prueba definitiva, m <sup>3</sup> . |

- Vch**            **Velocidad de gases en chimenea, m/s.**
- Vchn**           **Velocidad de gases en chimenea a condiciones normales, m/s.**
- VsBch**         **Volumen succionado a través de la boquilla a condiciones de chimenea, m<sup>3</sup>.**

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

1. COMISION COORDINADORA DE LA INDUSTRIA SIDERURGICA  
Boletfn. Año 7, N°. 1. Enero - Marzo. 1980  
México.
2. J.H. GREENBERG/R.E. CONOVER  
Iron Foundry Emission.  
A.T. Kearney & Co.  
CHICAGO.
3. R.T. TAFT AND H.R. PERKINS  
Cokeless Before The 1980's,  
Foundry Trade Journal.  
August, 1978.
4. HANS J. HEINE/TECHNICAL EDITOR  
The Cupola - Dying or Reviving?  
Foundry M&T/June, 1975.
5. R.T. TAFT  
Ten years of Cokeless Melting  
Hayes Shell Cast. (Developments) Limited.
6. SUBSECRETARIA DE MEJORAMIENTO DEL AMBIENTE  
Memoria, Primera Reunión Nacional Sobre Problemas  
de Contaminación Ambiental.- Tomo II  
Dirección General de Planeación.  
México.- 1973.
7. TEXAS AIR CONTROL BOARD  
Compliance Sampling Manual, Revised October 1975.  
The Source Sampling Section, Measurements and  
Analysis Program.  
Austin, Texas, U.S.A.
8. WESTERN PRECIPITATION DIVISION OF  
JOY MANUFACTURING, CO.  
Methods for Determinations of Velocity, Volume,  
Dust and Mist Content of Gases.  
Bulletin WP - 50  
Los Angeles, Calif. U.S.A.- 1968.

9. SECRETARIA DE PATRIMONIO Y FOMENTO INDUSTRIAL  
Determinación del Flujo de Gases en un Conducto por medio del Tubo Pitot.  
Norma Oficial Mexicana NOM-AA-9-1973.  
Diario Oficial, México.
10. SECRETARIA DE PATRIMONIO Y FOMENTO INDUSTRIAL  
Determinación de la Emisión de Partículas Sólidas Contenidas en los Gases que Fluyen por un Conducto  
Norma Oficial Mexicana NOM-AA-10-1974.  
Diario Oficial, México.
11. SECRETARIA DE PATRIMONIO Y FOMENTO INDUSTRIAL  
Determinación de Dióxido de Carbono, Monóxido de Carbono y Oxígeno en los Gases de Combustión.  
Norma Oficial Mexicana NOM-AA-35-1976.  
Diario Oficial, México.
12. SECRETARIA DE PATRIMONIO Y FOMENTO INDUSTRIAL  
Determinación del Contenido de Humedad en los Gases que Fluyen por un Conducto.  
Método Gravimétrico.  
Norma Oficial Mexicana NOM-AA-54-1976..
13. DANIELSON, JOHN A.  
Air Pollution Engineering Manual  
Cincinnati, OHIO, D.H.E.W. 1967.
14. ING. LUIS HEGEWISH A.  
Fabricación de Hierros Grises y Nodulares en Hornos Rotatorios.  
Revista Técnica N°. 2, Año 1, Octubre, 1978.  
Sociedad Mexicana de Fundidores. MEXICO.
15. W.J. ROSCROW  
Rotatory Melting for Today's Foundries.  
Monometer Manufacturing Company Limited. 1976.
16. FABRICAS ORION, S.A.- DIVISION FIERRO  
Pláticas a Fundidores.  
Gerencia de Proyectos.  
Monterrey, N.L. México. Dic. 1980.

17. FABRICAS ORION, S.A. DIVISION FIERRO  
Reportes de Fusión, Laboratorio y Análisis,  
Producción.- Gerencia de Proyectos.  
Monterrey, N.L.- México. Julio, 1981.
18. COMPANIA FUNDIDORA BRIGAM, S.A.  
Reportes de Fusión, Cálculos de mezclas,  
Producción.- Jefatura de Producción.  
Guadalajara, Jal.- México, Mayo 1981.
19. SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA  
Nueva Ley Federal de Protección al Ambiente.  
Diario Oficial. Enero, 1982.
20. SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA  
Reglamento para la Prevención y Control de la  
Contaminación Atmosférica Originada por la  
Emisión de Humos y Polvos.  
Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente.  
México, 1971.
21. E.R. PLUNKETT  
Manual de Toxicología Industrial  
Editorial URMO, S.A. de Ediciones  
Enciclopedia de la Química Industrial  
Tomo 12, 1974.