



6
2j
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

Fundamentos básicos sobre la
Contaminación en la Fusión de
algunos Metales

TRABAJO MONOGRAFICO
DE ACTUALIZACION

Que para obtener el título de

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P R E S E N T A :

DIEGO DANIEL CALDERON MARTINEZ

MEXICO, D.F.

TEBIS CON
FALLA DE ORIGEN

1991



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 está 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

CAPITULO I

Introducción al Tema

7

CAPITULO II

Información General del Tema

2.1	Principales Elementos Contaminantes en la Industria de la Fundición	10
2.2	Procesos de Fusión	15
2.2.1	Generalidades	15
2.3	Principales Hornos de Fusión	19
2.3.1	Horno de Reverbero ó de Hogar Abierto	19
	A) Características	19
	B) Principales Elementos Contaminantes	20
2.3.2	Convertidor Bessemer	23
	A) Características	23
	B) Principales Reacciones	23
	C) Principales Elementos Contaminantes	25
2.3.3	Hornos Siemens Martin	25
	A) Características	25
	B) Principales Reacciones	26
2.3.4	Horno Básico de Oxígeno	31
	A) Características	31
	B) Principales Elementos Contaminantes	32
2.3.5	Horno de Cubilote	33
	A) Características	33
	B) Principales Reacciones	35
	C) Principales Elementos Contaminantes	36
2.3.6	Horno de Crisol	38
	A) Características	38
	B) Principales Elementos Contaminantes	40
2.3.7	Horno de Arca Eléctrico	40
	A) Características	40

B) Principales Reacciones	41
C) Principales Elementos Contaminantes	43
2.3.8 Horno Eléctrico de Inducción	46
A) Características	46
B) Principales Elementos Contaminantes	46
2.4 Operaciones Unitarias importantes durante la Fusión en los Hornos	48
2.4.1 Carga de Materiales	48
2.4.2 Soplado de Oxígeno	48
2.4.3 Escoriado	48
2.4.4 Refinación	49
2.5 Análisis y Cuantificación de Contaminantes en algunos Hornos	50
2.5.1 Horno Básico de Oxígeno	50
2.5.2 Horno de Hogar Abierto	51
2.5.3 Horno de Arco Eléctrico	52
2.6 Efectos de los Elementos Contaminantes sobre el Medio Ambiente y en la Salud Humana	53
2.6.1 Partículas en Suspensión	53
A) Efectos en la Salud Humana	53
B) Efectos en el Clima	54
C) Efectos sobre la Visibilidad	54
D) Efectos sobre los Materiales	55
E) Efectos en la Vegetación	55
2.6.2 Dióxido de Azufre (SO ₂)	56
A) Efectos sobre la Salud	56
B) Efectos sobre la Visibilidad	57
C) Efectos sobre los Materiales	57
2.6.3 Monóxido de Carbono (CO)	58
A) Efectos en la Salud	58
B) Efectos en la Vegetación y en los Materiales	59
2.6.4 Óxidos de Nitrógeno	60

A) Efectos sobre la Salud	59
B) Efectos sobre los Materiales	60
C) Efectos en la Vegetación	60
2.6.5 Sulfuro de Hidrogeno (H ₂ S)	61
A) Efectos en la Salud	61
B) Efectos en la Vegetación	61
C) Efectos en los Materiales	61
2.6.6 Fluoruros	62
A) Efectos en la Salud	62
B) Efectos en los Animales	63
C) Efectos sobre la Vegetación	64
2.6.7 Plomo (Pb)	64
A) Efectos sobre la Salud y el Metabolismo	64
B) Efectos en la Vegetación	65
2.6.8 Hidrocarburos	65
A) Efectos sobre la Salud	65
B) Efectos en la Vegetación	65
2.6.9 Oxidantes Fotoquímicos	65
A) Efectos sobre la Salud	66
B) Efectos en la Vegetación	66
C) Efectos en los Materiales	66
2.7 Criterios y Normas Biológicas para la Protección del Medio Ambiente	67
2.8 Mantenimiento del Problema y Posible Solución de la Contaminación generada por los Procesos de Fusión	75
2.9 Equipo Anticontaminante y su Costo	80
2.9.1 Horno de Cabilote	80
2.9.2 Horno de Arco Eléctrico	87
A) Campanas de Extracción	87
B) Colectoras Filtro	90
C) Costos de Equipo Anticontaminante	100
2.9.3 Convertidor al Oxígeno	103
2.9.4 Horno Siemens Martin	108

CAPITULO III

Discusión

111

CAPITULO IV

Conclusiones

121

BIBLIOGRAFIA

124

CAPITULO I

INTRODUCCION AL PENAL

INTRODUCCION

La fundición no solamente se refiere a la producción de hierro y acero, sino que es más extensa, a partir de la fusión se pueden obtener otros metales y aleaciones no ferrosos, aunque para estos últimos el proceso en general se llama pirometalurgia ó en dado caso pirorefinación, donde la fusión es la base primordial para producir estos metales y aleaciones. Los procesos de fusión son la base de la industria metal-mecánica o pesada, ya que de ella se originan toda clase de productos metálicos que van desde un simple tornillo o alambre hasta la conformación de maquinaria y equipos pesados con piezas inclusive muy sofisticadas, claro que mediante otros procesos posteriores a la fusión.

El equipo principal son los hornos, donde se realiza la fusión del metal; existen de diferentes capacidades, de diferentes tipos y técnicas de operación. En ellos se cargan todos los materiales que conformaran y ayudaran a obtener un metal o aleación con el alto grado de pureza que se requiera; a parte del metal base podemos mencionar: minerales, ferroaleaciones, sinter, carbon e incluso gases.

Entre estos materiales una vez cargados al horno y a la temperatura de fusión (no necesariamente), se producen ciertas reacciones químicas, que por la temperatura y cinética de reacción se generan gases que pueden ir a parar a la atmósfera, por lo que dañan seriamente a la ecología y al ambiente.

Las emisiones atmosféricas de los procesos de fusión se producen al fundirse los metales para moléarlos, se usan cuatro tipos de hornos: cubilotes, hornos de crisol, hornos de arco eléctrico y hornos de inducción eléctrica. Los cubilotes se emplean para producir el 90 % de las fundiciones grises. En este tipo de hornos se quema coque en contacto directo con el metal, las emisiones más importantes son las partículas de polvo y monóxido de carbono.

Hay cuatro procesos principales que contribuyen a la contaminación del aire en la industria del hierro y el acero: coqueificación, sinterización, fusión y corte.

Casi todo el carbon de coque que se produce, se utiliza en hornos de productos secundarios. Los principales tipos de hornos son : los altos hornos, hornos Siemens Martin, hornos de oxígeno básico y los hornos eléctricos. Las emisiones resultantes consisten de partículas sólidas, monóxido de carbono, pequeñas cantidades de óxido de nitrógeno y otros gases de combustión.

El objetivo de este trabajo se centró en presentar un panorama general sobre la contaminación generada por los procesos de fusión, saber cuales son los principales elementos contaminantes de cada uno de ellos, así como las causas y efectos sobre el medio ambiente y la salud. Plantear las posibles soluciones para disminuir la contaminación por estos procesos de fusión. La existencia de equipos anticontaminantes y su relativo costo, presentan una alternativa más para resolver este problema. Además de conocer los criterios y normas de los índices de contaminación, como una base para estudios posteriores ó una evaluación más completa y cuantitativa.

CAPITULO II

INFORMACION GENERAL AL TEMA

2.1 PRINCIPALES ELEMENTOS CONTAMINANTES EN LA INDUSTRIA DE LA FUNDICION

Los procesos de fusión son la parte regular de muchos procesos que conforman la industria de la fundición, pero es importante que antes de mencionar cada uno de ellos, señalar cuales son los principales elementos contaminantes y sus fuentes de emisión de esta industria que funciona a base de la combustión.

2.1.1 Partículas Sólidas

Las principales fuentes estacionarias de emisión de partículas son los procesos de combustión y las operaciones industriales que se desarrollan junto con éstos. La principal emisión de partículas debido a la combustión, es la ceniza volante, integrada por aquellas partes sólidas e incombustibles de los carburantes, demasiado pequeñas para depositarse en la cámara de combustión. La ceniza volante se compone de un gran número de compuestos inorgánicos. Una ceniza volante típica conocida, producida a partir del carbón puede tener la composición siguiente:

Silice SiO_2	40 %
Alumina Al_2O_3	20 %
Oxido de hierro Fe_2O_3	15 %
Oxido de calcio CaO	10 %
Oxido de magnesio MgO	15 %
Carbono y otros	

Las siguientes tablas (1 y 2) muestran en resumen la contribución de emisión de partículas al aire por la industria de la fundición.¹⁵

TABLA. 1

Industria o Proceso	Naturaleza	Principales fuentes
Ind. Siderúrgica	Polvo de óxido de hierro	Altos hornos, hornos de fabricación de acero, Máquina de aglomeración, por vitricación
Fundición de hierro gris	Polvo de óxido de hierro, aceite y grasas, vapores metálicos	Cubilotos, agitadores, fabricación de machos
Fundición de metales no ferrosos	Humo, vapores metálicos, aceites y grasas	Hornos de fundición y de fusión

TABLA. 1

Industria o Proceso	Naturaleza	Principales fuentes
Fabricación de coque	Polvos de coque y de carbon, alquitran de carbon	Carga y descarga de los hornos, extinción y manejo de materiales.

TABLA. 2

Fuente	Concentración de emisión de partículas
Fabricación de hierro y acero	
Gases de la maquina de aglomeración por vitrificación	10 Kg/ton de aglomerado
Horno de Hogar Abierto	
Con lanza de oxígeno	11 Kg/ton de acero
Sin lanza de oxígeno	7 " " "
Horno Básico de Oxígeno	23 " " "
Horno de Arco Eléctrico	
Con lanza de oxígeno	5.5 Kg/ton de acero
Sin lanza de oxígeno	3.5 " " "
Alto horno	
Carga de mineral	55 Kg/ton de hierro
Fundición de Aluminio	
Cloración, lanzamiento de cloro gas en el baño	500 g/Kg de cloro usado
Grisol del horno	0.95 Kg/ton de metal co.
Horno de reverberatorio	2.15 " " " "
Horno de suésao	16.1 " " " "
Fundición de Latón y Bronce	
Grisol del horno	1.95 Kg/ton de metal co.
Horno eléctrico	1.5 " " " "
Horno de reverbero	13.2 " " " "
Horno giratorio	10.5 " " " "
Fundición de Hierro Gris	
Cubilote	8.7 Kg/ton de metal co.
Horno de inducción	1.0 " " " "
Horno de reverbero	1.0 " " " "
Fundición de Plomo	
Cubilote	150 Kg/ton de metal co.
Horno de sales	0.05 " " " "
Hornos de reverbero y suésao	77 " " " "
Fundición de Magnesio	
Horno de sales	2.2 Kg/ton de metal co.
Fundición de Acero	
Horno de Arco Eléctrico	7.5 Kg/ton de metal co.

TABLA. 2

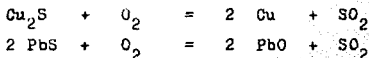
Fuente	Concentración de emisión de partículas
Fundición de Acero	
Horno de inducción	0.05 Kg/ton de metal cgo.
Horno de hogar abierto	5.3 " " " "
Fundición de Zine	
Cubas de galvanizado	2.7 Kg/ton de metal cgo.
Horno de tostación	44.4 " " " "
Horno de sales	0.05 " " " "
Horno de sudado	5.4 " " " "

2.1.2 Fuentes de Oxidos de Azufre

Los óxidos de azufre, principalmente SO_2 , se generan durante la combustión de cualquier tipo de combustibles que contengan azufre y son emitidos por procesos industriales cuyas materias primas contengan azufre, debido al contenido de azufre elevado en los carbones bituminosos del combustible. Utilización éstos productos en grandes cantidades representa aproximadamente el 75 % de todo el SO_2 emitido.

Las mayores fuentes industriales de SO_2 son los de fusión de menas metálicas y la refinación del petróleo.

Los hornos de fusión primaria de metales no ferrosos y de diversas menas metálicas importantes, tales como las de: Cu, Pb y Zn existen en forma de sulfuros. Las menas metálicas están frecuentemente mezcladas con grandes cantidades de ganga. El proceso de eliminación de ganga, concentración de la mena y la evacuación de azufre en forma de SO_2 se denomina fundición. Por ejemplo las reacciones importantes en el caso del Cu y Pb son las siguientes:



La concentración de SO_2 en los gases de salida, en el caso de un control moderado llegan a alcanzar 800 ppm.¹⁵

TABLA. 3

Fuente	Concentración de emisión de SO_2
Fundición de Cu primario	625 Kg/ton de mena
Fundición de Pb primario	330 " " "
Fundición de Pb, cubilote sec.	32 " de metal cargado.
Fundición de Pb, horno sec. de reverbero y sudado	75 Kg/ton de metal cargado
Fundición de Zn primario	265 Kg/ton de mena

tipo de horno

Partículas (kg/ton)

Horno de Arco Eléctrico	2 a 20
Horno Siemens Martin	1 a 10
Horno Siemens Martin con Oxígeno	4 a 5.5
Horno Eléctrico de Inducción	0.05

TABLA. 4

Tamaño de Partículas (micras)	Capacidad de un horno de arco (ton)				
	1.5	4	14	29	59
0 a 5	57.2	63.1	59	49.3	71.6
5 a 10	17.8	17.7	13.1	17.7	8.3
10 a 20	3.4	5.2	4.1	6.4	3.1
20 a 50	1.6	3.1	3.1	14.1	7.5

TABLA. 5

(kg/ton de metal cargado)

Referencia 20

La contribución a la contaminación ambiental por parte de la industria de la fundición, son principalmente: gases y humos, partículas sólidas y ceniza flotante. Todos estos contaminantes están constituidos por una gran variedad de elementos químicos y con una gran variedad de concentraciones y tamaños de partículas. Y son producidos por las reacciones, la temperatura, el combustible, los materiales de carga, el tipo de metal o aleación que se va a fabricar y por las características y factores de operación de los diversos tipos de hornos que se utilizan en la industria de la fundición.

Por lo tanto de acuerdo a lo anteriormente expuesto podemos determinar cuáles son los principales elementos contaminantes.

En realidad vemos que existen los mismos elementos en las mismas formas de contaminación esto es:

Dentro de los gases y humos ;

CO	FeO	MnO	SiF
CO ₂	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	HF
N ₂	Fe ₃ O ₄	SO ₂	H ₂ F ₂
H ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	C ₂ H ₂
O ₂	CaO	SiO ₂	

Dentro de los polvos :

Fe ₂ O ₃	CaO	C	Al ₂ O ₃
Fe ₃ O ₄	P ₂ O ₅	MnO	SO ₂
FeO	SiO ₂	Fe	además de Cu, Zn y Cr

Dentro de las cenizas ;

Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	MgO
SiO ₂	MnO	C
FeO	Fe	CaO

Por las cantidades emitidas y por su peligrosidad a la salud del bien estar humano y del ambiente los principales elementos contaminantes estan;

los óxidos de hierro
 los óxidos de carbono
 los óxidos de azufre e hidrocarburos de los combustibles
 las partículas sólidas y los óxidos de nitrógeno

2.2 PROCESOS DE FUSION

Mencionaremos algunos de los procesos de fusión más importantes y utilizados en la producción de metales, casi todos están centrados en la fabricación de hierro y acero, pero cabe hacer notar que algunos, como el horno de crisol ó el horno eléctrico de inducción, son utilizados en la producción de metales no ferrosos.

2.2.1 GENERALIDADES

El horno metalúrgico tiene por objeto alcanzar la temperatura necesaria para el desarrollo de las reacciones indispensables para la separación del metal de su ganga, por lo tanto ha de construirse con características adecuadas, para resistir las temperaturas tan elevadas que se presentan durante el transcurso del proceso.

En general estas temperaturas son sensiblemente más elevadas que la correspondiente a la temperatura de fusión del metal que ha de beneficiarse.

El horno metalúrgico ha de asegurar un calentamiento efectivo, por lo que el calentamiento de los metales y demás materiales que se cargan al horno, ha de efectuarse en el sentido contrario a la circulación de éstos, que sucede en hacia el hogar a medida que han de calentarse con mayor intensidad al aproximarse al hogar.

Es evidente que cuanto mayor es el recorrido de las llamas y gases generados, mayor será la cantidad de calor utilizado y estos gases generados se evacuarán a una temperatura más baja, con un aprovechamiento más completo del calor disponible del horno. Además las paredes del horno deben absorber la cantidad máxima de calor generado por el combustible, con el objeto de reducir el consumo al mínimo del mismo, esto significa que los revestimientos del horno deben ser altamente refractarios.⁹

En el taller de fundición pueden usarse todo tipo de hornos para la fusión de los metales, sin embargo los requisitos de cada taller son a veces únicos y uno y otro tipo de hornos, pueden ser mejor para una operación particular.

Por ejemplo los hornos de hogar abierto son deseables en grandes fundiciones que necesitan de 10 a 200 ton de metal fundido al mismo tiempo.

Un pequeño taller de fundición por obra determinada en que pueden necesitarse de 1 a 15 ton de metal a intervalos frecuentes, el mejor puede ser

el horno de arco eléctrico. En otra función más, en que solamente se necesitan de 20 Kg a 1 ton de metal o de aleaciones de diversas composiciones especiales, el horno eléctrico de inducción ofrece mejor comportamiento general. ¹⁰

La elección del horno es dictada por :

- 1) Consideraciones de costo inicial.
- 2) Costo relativo de mantenimiento y reparación.
- 3) Costo básico de operación.
- 4) Disponibilidad y costo relativo de diversos combustibles en la localidad particular.
- 5) Limpieza y nivel de ruido de operación.
- 6) Eficiencia de la fusión y en particular la velocidad de fusión.
- 7) El grado de control requerido (purificación ó refinación del metal).
- 8) Composición y temperatura de fusión del metal.
- 9) Elección del personal ó influencia del vendedor.

En el taller de fundición se recibe el material de primera fusión como: el arrabio o hierro esponja, por ejemplo en el caso de la fabricación de acero, los demás materiales fundentes y aleantes, para obtener lingotes ó piezas coladas. Para la obtención de éstas últimas a través de vaciar ó colar el metal líquido, solidificado éste se obtiene la pieza deseada para un posterior maquinado y acabado, en el caso de los lingotes una laminación.

Los siguientes esquemas muestran una secuencia típica de las operaciones realizadas en un taller de fundición, para la obtención de piezas coladas. ¹⁰
En dichos esquemas podemos ver que los procesos de fusión, son parte importante, como todos los demás procesos que conforman un taller de fundición.

Principales operaciones de un taller de fundición para la obtención de piezas coladas.

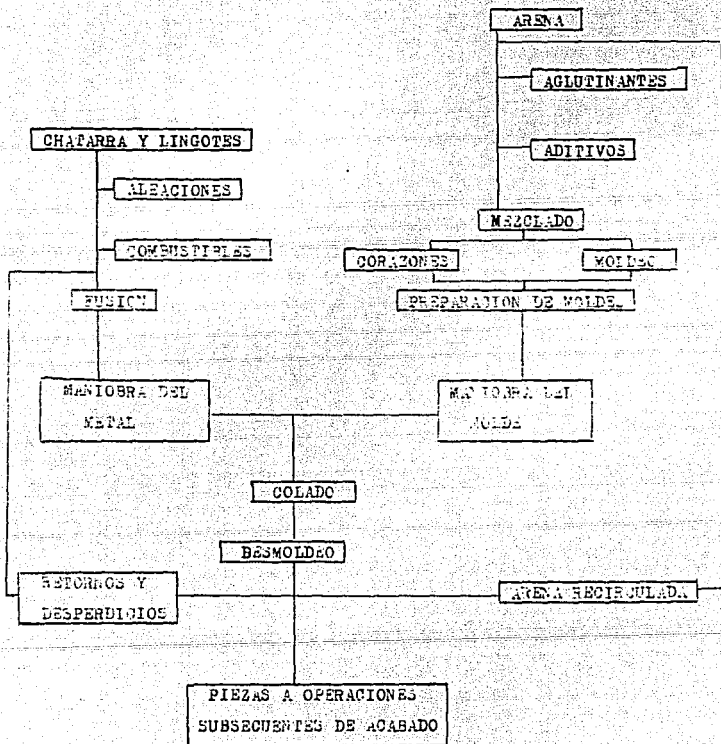


FIG. 1

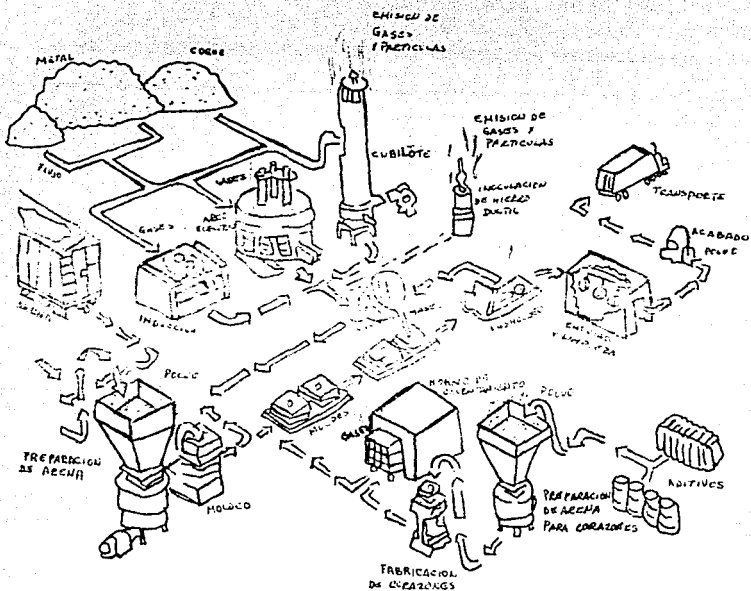


FIG. 2

Principales operaciones unitarias de un taller de fundición para la producción de piezas coladas.

Los hornos para aplicaciones metalúrgicas pueden ser de combustibles, sólidos, líquidos ó gaseosos ó eléctricos (de inducción, de resistencia o de arco). Entre los hornos de combustibles hay que considerar las siguientes variedades:

- a) Hornos en los cuales el metal ó mineral que ha de calentarse se halla en contacto con el combustible, los que pueden ser de tiro natural y envolvente accidental, como las pilas de carbonear ó permanentemente en los hornos de calcinación, de tostación de minerales ó alimentados por aire soflado constituyen los hornos de cuba (cubilotes, altos hornos, etc.).
- b) Hornos en los cuales los cuerpos a calentar se hallan separados del combustible, solo actúan en contacto con las llamas y gases de la combustión, alimentándose con combustibles sólidos, líquidos ó gaseosos. Comprende la importantísima variedad, los hornos de reverbero (hornos Siemens, hornos de Púcelar, hornos de Temple, etc.).
- c) Hornos de los cuales los cuerpos a calentar se hallan separados del combustible y de los productos de combustión. Alimentándose con combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, pertenecen a este grupo, los hornos de Crisol, los de Cementación, los de mufla, los de hogar interior (en las calderas de vapor, etc.).
- d) Hornos en los cuales la combustión es originada por reacciones esenciales, como por ejemplo en los convertidores Bessemer y Thomas para la refinación del hierro fundido.

2.3 PRINCIPALES HORNOS DE FUSION

Como su nombre lo indica, los hornos de fusión son los equipos que realizan en si los procesos de fusión y que ahora mencionaremos cada uno de ellos; sus características; sus principales reacciones y sus emisiones contaminantes.

2.3.1 HORNO DE REVERBERO O DE HOGAR ABIERTO

A) Características

Este horno es una gran unidad hecha de ladrillo que se utiliza para producir grandes cantidades de acero. Una instalación típica y una sección del horno, se muestran en la figura 3. Dicho horno convierte el arrabio en acero oxidando los excesos de carbono, pero en vez de emplear aire como en el convertidor Bessemer, se le suministra oxígeno mediante una carga de min-

ral de hierro que se arroja al horno. El oxígeno del mineral se combina con el carbono, el silicio y el manganeso del baño, disminuyendo por lo tanto el carbono del arrabio y al mismo tiempo reduciendo el mineral de hierro metálico. Los productos resultantes se mezclan para formar la composición intermedia. En la práctica, rara vez se carga el horno de hogar abierto con arrabio puro. En general, un porcentaje considerable de la carga es chatarra de acero. Esto disminuye el contenido de carbono en la mezcla y facilita la reducción del mineral. El combustible utilizado para calentar el horno, ya sea gas o petróleo, arde en contacto directo con la escoria que cubre el metal fundido. Por consiguiente la atmósfera del horno es oxidante y quemará gradualmente el carbono, el manganeso y silicio, aun sin la ayuda del mineral de hierro. El horno básico de hogar abierto tiene, además, la capacidad de eliminar ampliamente el fósforo y parcialmente el azufre. Actualmente la mayor parte de los hornos están equipados con lanzas de oxígeno que van rapidez al proceso de fusión.

Cuando la carga del horno de hogar abierto ha alcanzado el nivel de carbono apropiado, el baño no es oxidado tan altamente como ocurre en el proceso Bessemer, pero aún está elevadamente oxidado y efervescente para ser vaciado. Cuando se desea tener un acero apagado (libre de gases) se suelen añadir a la carga cantidades adecuadas de manganeso, silicio, aluminio u otros desoxidantes.

Aunque la mayor parte del acero producido en hornos de reverbero es de bajo contenido de carbono y sin aleaciones especiales, justamente un gran porcentaje contendrá más carbono - con o sin aleaciones especiales (tales como el níquel, cromo, vanadio, etc.). Los aceros simples de bajo carbono se utilizan en placas, hojas, alambre, figuras estructurales, etc y los aceros de aleación se emplean en caso de engranes, flechas y otras piezas de maquinaria que realizan trabajo pesa¹³do.

Principales Elementos Contaminantes

Los principales contaminantes del proceso de hogar abierto son: a) la ceniza y polvo de los materiales cargados; refractarios y escoria, b) humo de la combustión de hierro; particularmente cuando el oxígeno gaseoso es usado para refinar y c) el bióxido de azufre principalmente del combustible.

El humo del óxido de hierro producido por el uso de la inyección de oxígeno, es el mayor problema, la cantidad varía en el ciclo de producción y excede el 90 % de las partículas de emisión durante el período de la inyección de oxígeno, el análisis del total de partículas colectadas de los desechos gaseosos muestra un 90 a 91 % de óxido de hierro, de 4 a 6 % de otros óxidos y de 0,5 a 1.5 % de azufre.

En una planta con horno de hogar abierto en el Reino Unido, el particular contenido de desechos gaseosos es del orden de 6 a 8 g/Nm³ y la cantidad de polvo y humos de óxido de hierro, recuperados de la limpieza es en unidades promedio sobre 7 Kg/ton de acero producido. El humo del óxido de hierro es extremadamente fino en un rango de tamaño de 0.1 a 1.0 micron con un tamaño promedio de 0.2 a 0.3 micrones.

En consideración para la emisión de polvos y arena de los hornos no usando oxígeno para refinar, el equipo de limpieza no es en este momento específicamente requerido, pero la emisión de partículas no debe exceder de 458 µg/Nm³ y la altura de la chimenea debe ser adecuada, para una segura dispersión, el equipo de limpieza puede, sin embargo, ser requerido sobre un gran horno de esta categoría. El SO₂ contenido en los desechos gaseosos de un horno de hogar abierto depende del contenido de azufre en el combustible. Los desechos gaseosos emitidos por este tipo de horno enriquecido con oxígeno consisten de :

Fe ₂ O ₃	89 %	MnO	0.6 %
FeO	1.9 %	P ₂ O ₅	0.5 %
SiO ₂	0.9 %	S	0.4 %
Al ₂ O ₃	0.5 %	Alcalinos	1.4 %
CaO	0.9 %		

El tamaño de partículas es muy fino, más de la mitad son bajo un micron y la porción del resto de las partículas no excederían los 5 micrones de diámetro. Esto sería adicionado a esa porción de partículas finas incrementándose con el desarrollo de la aplicación con oxígeno. El tamaño de las pequeñas partículas, combinadas con rango de gran volumen de gases emitidos y a las altas temperaturas de escape, también como los valores bajos de recuperación de material, hacen de la colección de gases del horno de hogar abierto, muy difícil y relativamente caro. ¹⁸

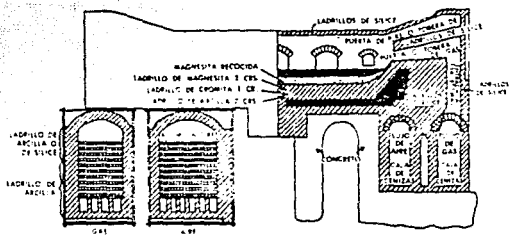


Fig. 3 Ladrillo de magnésita recalcada

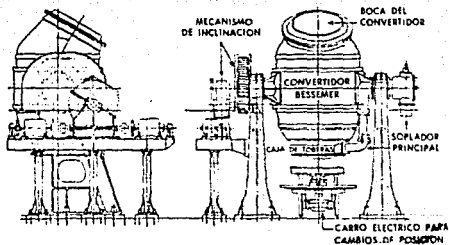


Fig. 4 Convertidor Bessemer

2.3.2 CONVERTIDOR BESSEMER

A) Características

Este es uno de los equipos más antiguos que se utilizan para producir grandes volúmenes de acero, aunque ya no extenso su empleo, puesto que ha sido reemplazado en gran parte por el proceso del oxígeno, la figura 4 muestra que es un recipiente enorme de ladrillo provisto de ventiladores ó toberas cerca del fondo, por donde se puede inyectar aire a presión.

El arrabio del alto horno se vacía en el convertidor, se pone en operación el compresor y se permite que el aire circule a través del metal. Este aire quema el manganeso, el silicio y el carbono. Cuando se detiene el sopleado, el metal está lleno de oxígeno y se encuentra muy agitado y en ebullición. Ciertos elementos de aleación (principalmente manganeso y silicio) se añaden para desoxidar la carga y mejorar su calidad. El convertidor Bessemer no se utiliza para la fabricación de acero de herramienta, pero se emplea para productos de acero suave como alambre, tornillería, placas, planchas metálicas, etc. ¹³

B) Principales Reacciones

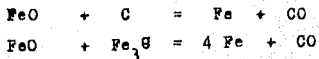
Parece lo más probable que cerca de las toberas del convertidor, el primer elemento que se oxida es el hierro que se encuentra en proporción mucho mayor que el silicio y el manganeso, el óxido de hierro reacciona con estos elementos.



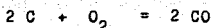
Los óxidos se unen químicamente por las combinaciones:



En este primer período es, en esencia la formación de la escoria, la cual tiene un exceso de óxido ferroso. A medida que se eleva la temperatura comienza el período de combustión de carbono, las reacciones que ocurren entonces son:



éstas unidas a

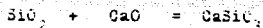


eliminan rápidamente el carbono restante.

Estas reacciones ocurren durante el proceso ácido, por el lado del proceso básico tenemos el silicio ya no es en este proceso un elemento termógeno.

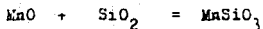
De hecho la proporción de este elemento debe ser pequeña para evitar el ataque al revestimiento del convertidor y la neutralización de la escoria.

Al principio la escoria es ácida porque la cal no se disuelve rápidamente ya que se introduce fría y en bloques, algo gruesos y la temperatura del baño se eleva con relativa lentitud. Esta circunstancia determina que el arrabio sea sobre en silicato, para eliminar al mínimo el ataque del revestimiento básico. Luego el óxido de silicio formado reacciona con el calcio.

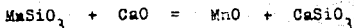


Delante de las toberas se forma una cierta proporción de óxido ferroso que reacciona con el silicio y simultáneamente con el manganeso, según las dos primeras reacciones.

El manganeso solo se elimina rápidamente en los primeros momentos de la operación, cuando la escoria es ácida, antes de descomponerse el carbono, ya que en estas condiciones existe sílice y puede formar el silicato de manganeso



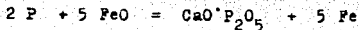
Así como que se eleva la temperatura la reactividad de la cal aumenta y la que se encuentra en la escoria se descompone el silicato de manganeso según la reacción



El fósforo actúa solo muy lentamente al principio y de hecho su eliminación no se puede comenzar más que cuando el carbono ha desaparecido completamente, porque el pentóxido de fósforo formado, no saturado con la cal, sería reducido por el carbono existente en el baño.



En caso en un medio oxidante, abundante en óxido ferroso y muy básico el pentóxido de fósforo del arrabio se reduce con el carbono y se disuelve en el hierro, la reacción de desfosforización es la siguiente:



Esta última reacción se desplaza tanto más a la derecha, cuanto más es la concentración en el óxido de hierro y en el óxido de calcio libres de la escoria.¹⁴

C) Principales Elementos Contaminantes

El proceso por convertidor para la producción de acero, se basa sobre el uso del fósforo en el hierro primario. Ordinariamente aire ó aire enriquecido con oxígeno (arriba de 28 a 30 % de O_2) es soplado desde el fondo, durante el soplado humos y polvos son formados, consistiendo en partículas de óxido de hierro, cuya dimensión excede de 25 a 30 milicrones. El volumen del gas es considerado en cantidad de aire requerido para la conversión del hierro primario. Para que éstos dos problemas (Las pequeñas partículas y el volumen de gases entrantes) sean solucionados, los gases provenientes del acero fundido en el convertidor, es un problema complicado, cuya solución requiere gastos de equipo los cuales en su momento, pueden comprometer económicamente la planta del convertidor.¹⁵

2.3.3 HORNOS SIEMENS MARTIN

A) Características

El horno Siemens Martin básico, es un horno regenerativo que trabaja bajo el principio de utilizar el calor que contienen los gases de combustión salientes, para recalentar el aire entrante para la combustión. En la figura 5 se muestra un diagrama esquemático de su estructura. Indica las diferencias, en una línea central longitudinal del horno, en una sección transversal, entre una boveda básica completamente suspendida y una silice obsoleta, y las relaciones reales entre el hogar las cámaras de escoria colocadas por debajo. El baño contenido en el crisol está abierto tanto a la flama como a la inspección a través de las puertas. El piso de operación está aproximadamente al nivel de la solera del crisol que mide 3 pies (90 cm) de profundidad, pero es muy ancho, a fin de facilitar la transferencia de calor de la flama a la carga y exponer también una área de

oxidación. Un horno de 350 ton puede tener un crisol elíptico tan grande como de 50 x 20 pies (15 x 6 m) con siete puertas. El refractario arriba del nivel del piso de trabajo es casi completamente básico, la bóveda suspendida está construida de ladrillo de magnesita, el crisol de magnesita aislada y las bajantes son ya sea básicas o altamente aluminosas. Cierta equipo adicional y auxiliar no ha recibido la atención que se merece:

1.- El intercambiador de calor que usa gas caliente, detrás de los generadores produce el aire necesario para la atomización del combustible líquido que se utiliza y también afecta notablemente el tiro, que es vital para la combustión del horno.

2.- El sistema de presión bajo la bóveda del horno ajusta automáticamente las compuertas de escape y/o los extractores de calor recuperado en los intercambiadores de calor y mantiene una presión ligeramente positiva dentro del horno; lo que previene la infiltración innecesaria de aire frío a través de las puertas y permite el ahorro de combustible. ¹¹

B) Principales Reacciones

La refinación en un horno Siemens Martin realmente se inicia desde la operación de carga; cuando la primera carga de chatarra es fría que se introduce al horno encendido y caliente se comienza a oxidar y proporciona FeO para la refinación. La primera capa que se coloca sobre la solera es chatarra ligera como recortes; esta chatarra evita la adherencia de la cal que se carga después, en 3 a 5 % en peso de la carga metálica. Si la cal se cargará directamente sobre el piso, se pegaría y produciría costras. Si se usa caliza y algún óxido, se deberán cargar con la cal o encima de ésta, el resto de la chatarra se cargará a continuación, una vez que toda la chatarra está dentro, las puertas se encostrarán con dolomita calcinada o cruda, por debajo del marco anterior de las puertas. Estas costras en declive expuestas a la flama se sinterizarán y se evitará que el metal líquido o la escoria espumosa que se forma desde el principio, se desborden.

Si se emplea hierro colado, ya sea en lingote frío o chatarra de lingoteras se les carga junto con la chatarra, por lo general junto con la cal, para evitar una oxidación prematura del carbono para neutralizar rápidamente la sílice proveniente del silicio oxidado en el hierro fundido.

La chatarra se coloca encima del hierro fundido, que sirve para proteger su carbono bloqueándolo de la flama. En esta etapa el combustible se aprovecha plenamente. Cuando la chatarra se cubre con un óxido pastoso semi-fundido, pero aun sobresalen puntas de la misma en varios puntos de la misma superficie del baño, se levanta una puerta lateral, se coloca una canaleta sobre su base y se vacía el arrabio líquido por ella.

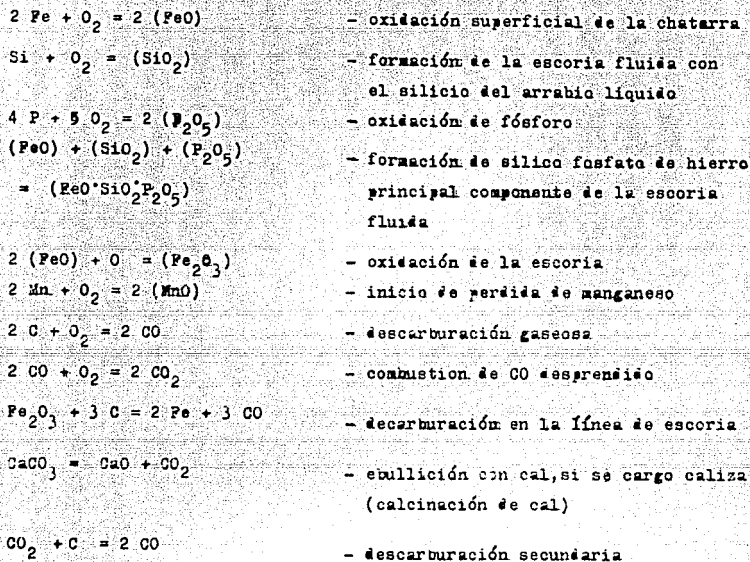
El silicio en el arrabio líquido se óxida casi inmediatamente y forma un silicato de hierro con el FeO excedente; el próximo elemento que puede óxidarse es el fósforo, que forma parcialmente su pentóxido y se distribuye entre el metal fundido y la escoria: el P_2O_5 es soluble en el silicato ferroso. Parte del manganeso del metal se pierde también en esta etapa. La escoria primaria resultante es ácida, compuesta de sílice, óxido de fósforo y óxido de hierro y de manganeso y posiblemente algo de cal que quedó encima de la carga. Esta escoria es sumamente corrosiva para el revestimiento del horno.

El moderno Siemens Martín está diseñado para espumar y escurrir la escoria primaria y hacerla salir parcialmente por la puerta frontal. La reacción de la escoria ácida primaria disminuye la erosión del crisol y el consumo de cal y de combustible.

La chatarra mantiene abajo la cal y una vez que se funde, los trozos de cal suben a la escoria donde claramente son visibles, como masas blancas que flotan y se disuelven, haciendo básica la escoria. La oxidación del carbono provoca una ebullición franca de la superficie de la escoria, y el CO se óxida a CO_2 e inmediatamente se desprende. Las adiciones de espatoflúor se pueden usar en este momento para ayudar a la disolución de la cal y formar una escoria desulfurante y desfosforante.

Cuando ya no se ven fragmentos de chatarra por encima de la superficie de la escoria, sino que la mayor parte de la chatarra esta en el fondo del crisol, se toma la primera muestra de orientación y se envía al laboratorio al mismo tiempo se toma la lectura de la temperatura del baño, utilizando un pirómetro.¹¹

En resumen de manera simplificada las reacciones, se establecen en el esquema siguiente:



La inyección de oxígeno dentro del baño causa una agitación completa por llevar una forma activa de oxígeno que tiene contacto directo con el carbono o con otros elementos oxidables. La velocidad más baja de decarburación por la oxidación natural del aire se debe a que ésta ocurre por un proceso de difusión basado en el transporte de oxígeno del aire a través de la escoria hasta el carbono en el baño, siendo el hierro el transportador.

El mecanismo parece ser :

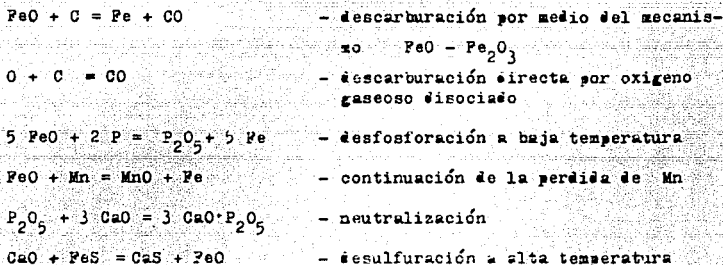
- 1.- El FeO en la capa superior de la escoria se oxida en la atmósfera del horno a Fe_2O_3 .
- 2.- El óxido se difunde a través de la escoria hacia las capas más bajas o es transferido al mismo sitio por la turbulencia.
- 3.- Al encontrarse un átomo de carbono en el acero, con la interfase

escoria/metal reacciona:



4.- El CO que escapa agita la escoria y promueve la flotación del FeO a las capas superiores de la escoria donde se reoxida nuevamente y la secuencia se repite.

La desulfuración, la desfosforación y la pérdida de manganeso siguen las líneas descritas por las siguientes reacciones en el baño durante y después de la fusión de la chatarra resumidas así:



El baño contiene mucho FeO y MnO debido a una buena solubilidad de éstos en el acero líquido; además formarían inclusiones durante la solidificación del acero ya que no flotara en una olla alta.

Por estas razones es que se interrumpe en muchas hornadas la caída de manganeso y carbono, para asegurar un mejor control químico y obtener una mejor limpieza del baño, por medio del bloque en el horno, incluso algunas con bajo carbono destinadas a aplicaciones de alta calidad. El bloqueo es un proceso de desoxidación de un baño de acero, ya sea en un horno Siemens Martin o en un horno de arco eléctrico; consiste en adicionar al horno una gran cantidad de algún metal que robe su oxígeno a los óxidos de hierro y manganeso y formar su propio óxido, insoluble en el acero líquido, uno con una energía de formación más alta que la de los óxidos de hierro y manganeso, tal elemento es el silicio. Parte del silicio en forma de silice y silicatos suben a través del metal y la escoria los absorberá.¹¹

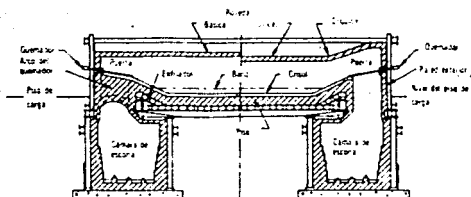


Fig. 5 Horno Siemens Martin

SECCION TRANSVERSAL DE UNA
PLANTA DE OXIGENO BASICA

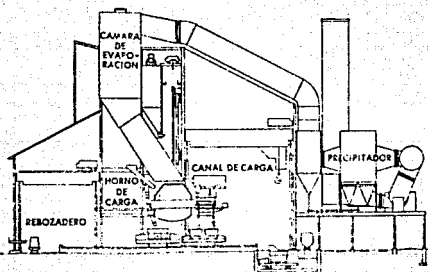
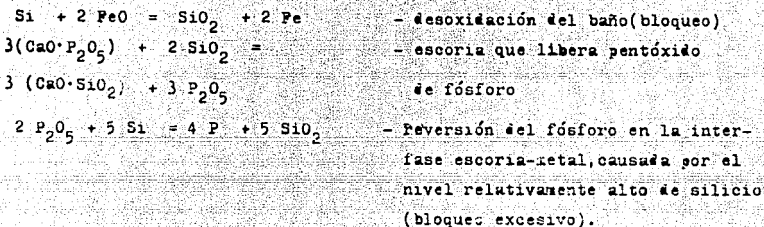


Fig. 6 Horno Basico de Oxígeno

Los materiales ligeros, aunque sean desoxidantes más fuertes tales como, el FeSi 75 %, el aluminio y el titanio, es impráctico emplearlos, ya que es imposible hacerlos penetrar en la escoria para que se disuelvan en el acero, también una alta concentración localizada de un potente desoxidante tal como el aluminio (ó aún el Si en un 0.2 % en exceso), pueden reducir el fósforo de la escoria, lo que resultará en su reversión al baño de acero. 11



2.3.4 HORNO BASICO DE OXIGENO

A) Características

Un método reciente para la producción de acero, conocido como proceso básico de oxígeno, utiliza un convertidor semejante al Bessemer y un proceso similar al horno de reverbero, pero en lugar de usar mineral como oxidante, utiliza oxígeno. Los materiales necesarios que incluyen chatarra de acero y una gran proporción de arrabio, se cargan en un gran convertidor de fondo sólido, se introduce por la boca del convertidor un conducto enfriado por agua que lleva una corriente de oxígeno puro, conocido como "lanza de oxígeno". La oxidación de las impurezas en el arrabio fundido suministra el calor necesario para el proceso. Cuando se han quemado las impurezas hasta el grado deseado, el metal se extrae y se termina de manera semejante a la de los hornos de hogar abierto. La figura 6 muestra una sección transversal de una planta de oxígeno básico. La producción normal de un par de hornos, en los que uno de ellos es cargado mientras el otro está en operación, es tan alto que se obtienen 300 ton en 45 minutos. La mayor parte del tonelaje de acero que se producía en los convertidores Bessemer y/o hornos de reverbero se pueden producir ahora en este equipo. 13

B) Principales Elementos Contaminantes

En los procesos de combustión por oxígeno puro o ligeramente diluido es extremadamente rápido el horno básico de oxígeno, así esos humos son violentamente liberados a temperaturas entre 1400 a 2000 °C. El polvo emitido consiste de partículas de óxido de hierro, cuando se inicia el soplado, más tarde el óxido de hierro y de manganeso forman los característicos humos cafés, éstos humos de óxidos cubren una gran área. En realidad estos polvos que son muy finos pueden cubrir una superficie de 300 a 500 m², el vasto polvo incluye:

Fe ₃ O ₄	70 a 72 %	CaO	10 %
Fe ₂ O ₃	6 a 8 %	P ₂ O ₅	2.5 %
Fe	7 %	SiO ₂ y	
		otras sustancias	4.5 %

incluyendo las trazas de azufre

En el aire húmedo el el espato de flúor es introducido para el flujo de la escoria, el desecho de gases contiene también SiF₄, HF y H₂F₂. El tamaño de grano de las partículas varía entre 0.03 y 1.8 micrones con un promedio entre 0.06 y 0.12 micrones. La cantidad de polvo emitido por un convertidor de este tipo es entre 15 y 25 Kg/Ton de arrabio o sobre 800 Kg para un convertidor comercial de 40 Ton, las pérdidas de metal van del orden de 10 Kg/Ton de arrabio. La contaminación del aire durante el proceso Kaldor es principalmente al soplado de oxígeno puro dentro del vessel, causando considerable concentración de partículas finas en los desechos gaseosos, debido a las altas temperaturas formadas en el área donde el oxígeno penetra en la superficie del baño, el hierro es directamente oxidado a finos polvos de óxido de hierro.

El óxido de hierro es usado como flujo de diferentes cantidades dependiendo de la composición del metal caliente y de los agentes enfriadores, es decir, pedazos de mineral de hierro, el oxígeno es soplado por el vessel y junto con el óxido de hierro, producen las principales pérdidas de polvo. Estos polvos llevan principalmente CO₂ y los excesos de aire forman los característicos humos cafés en la producción de acero. ¹⁸

La composición de los gases exitosos de un horno Kaldo es la siguiente:

CO ₂	15 %
O ₂	12 %
N ₂	73 %
CO	0.1 %
H ₂	0.1 %

La composición del polvo varía considerablemente y el tamaño de las partículas son muy pequeñas sobre la media viene siendo menor de 0.5 micrones. El crecimiento del uso de oxígeno en la refinación de acero se tiene la necesidad de limpiadores de gas, debido a la gran cantidad de polvos descargados, los gases pueden ser limpiados ya sea por un método húmedo, como los secadores venturini ó por método seco, como un precipitador electrostático. Cuando el método húmedo es usado mecánicamente, las impurezas con un rango de 1 a 12 g/l son descargados dentro de los efluentes de agua. 18

2.1.5 HORNO DE CUBILOTE

A) Características

Desde los últimos años del siglo pasado, en la elaboración de hierro colado se ha ido restringiendo el empleo del alto horno, hasta tal punto que en la actualidad son pocas las explotaciones siderúrgicas en el que se funde el hierro de primera fusión.

Los primeros cubilotes construidos para este objetivo, consumían una cantidad considerable de combustible, por lo que se fueron ideando nuevos sistemas durante el transcurso del tiempo. Es evidente que los nuevos procedimientos inventados para obtener fundiciones especiales, han influido eficazmente en las disposiciones constructivas de los cubilotes modernos. Los cubilotes se aplican exclusivamente a la obtención de hierro colado por contacto directo con el combustible, durante una media hora aproximadamente en que tarda la carga, en el descenso de la cuba, en lugar de 5 ó 6 horas para ello en un horno de reverbero.

El cubilote es un horno de eje vertical con el hogar en la misma, por lo tanto no es un horno de llama ni de función intermitente como los de reverbero o de crisol, es de acción continua, rápida y económica. Los cubilotes

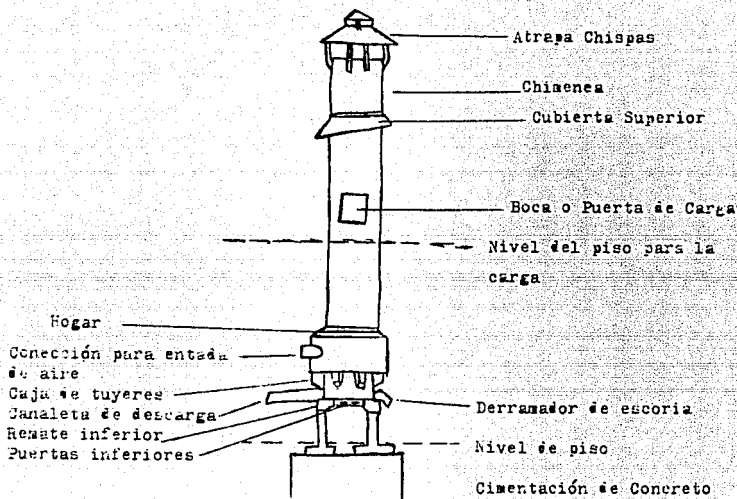


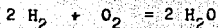
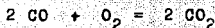
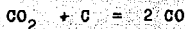
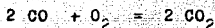
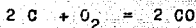
FIG. 7

HORNO DE CUBILOTE

no pueden emplearse en la fabricación de aceros, puesto que estos son de composición más delicada que el hierro colado, ya que la más mínima variación en el contenido de carbono, llega a representar un elevado tanto por ciento respecto al carbono que presenta el acero, generalmente comprendido entre 0.2 a 0.6 % y de que al variar ocasionaría un cambio absoluto en las características esenciales del acero resultante. Tampoco son aplicables al tratamiento de otras aleaciones, como por ejemplo; bronce, latón, plata alemana, metal antifricción, etc. Porque estas aleaciones se hallan constituidas por metales sometidos a oxidaciones sumamente distintas entre sí, sufrirían profundas alteraciones en contacto directo con el combustible.⁵

B) Principales Reacciones

Como hemos visto los hornos de cubilote, por su fácil fabricación en general se utilizan para la producción de hierros grafiticos, éstos debido a su alto contenido de carbono (de 2 a 6.6 % de C), no necesita un riguroso control para su elaboración como el caso de los aceros, algunas de las reacciones que se presentan son: ¹⁶

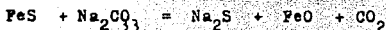


Todas estas reacciones también se llevan a cabo en los otros hornos anteriormente mencionados, otras reacciones que se puedan presentar son;





La desulfuración se puede realizar como en los otros métodos ó por la adición de carbonato de sodio, solo que su uso es limitado, por riesgos de salud y el efecto indeseable sobre los refractarios, aún así la reacción es:



el sulfuro es oxidado por el CO_2 y el aire al Na_2O 13

C) Principales Elementos Contaminantes

El proceso fusión en un horno de cubilote está acompañado de un desprendimiento de una gran cantidad de gases, de polvos finos, vapores y gases que son descargados por medio de un tiro natural formado en su chimenea. La mayor proporción de emisiones la constituyen el material fino que se encuentra presente en cualquier carga; óxido de hierro es el principal componente. Como todos sabemos, el óxido de hierro se forma sobre toda la superficie del hierro expuesto al ambiente, en forma de una capa suelta y suave que la cubre. Cuando se maneja chatarra y ésta se carga al horno, la capa de óxido se quiebra y se separa del metal, parte de ella se reduce a partículas finas.

Otra fuente de partículas finas, que conocemos es el polvillo de coque. El coque es un material poroso con resistencia mecánica limitada, que facilita su rompimiento cada vez que se maneja. Como es tan poroso, tiene una densidad aparentemente baja y partículas relativamente grandes pueden ser arrastradas por la chimenea del horno. Otra fuente de partículas finas, la cual frecuentemente se ignora, es la tierra y arena que se recoge al manejar las cargas, pudiera considerarse que no causa ningún daño, ya que después de todo, la cantidad que se puede recoger llega a ser solamente de algunos kilos por carga y todos sabemos que la sílice, principal componente de la tierra y arena mencionadas, es inerte. Como veremos ésta idea está muy lejos de ser verificada ya que se ha encontrado que es una fuente de dificultades.

La vaporización de algunos materiales que se introducen al horno de cubilote, es el motivo de la mayor parte que ocasiona las emisiones del horno.

TABLA 6

Emisiones generadas por Hornos de Gubilote

CARACTERISTICAS	HORNO 1	HORNO 2	HORNO 3
Diametro zona de fusión (m)	1.2	1.2	0.95
Altura de la chimenea (m)	16.5	12.8	9.8
Altura puerta de carga (m)	5.0	6.2	4.9
Altura cámara de coque (m)	0.12	0.19	0.15
Peso de carbón (Kg)	930	1370	640
Carga: pesacería de hierro (Kg)	350	175	47
pesacería de acero (Kg)		302	103
coladas (Kg)	225	139	138
hierro colado (Kg)	550		
lingote (Kg)		69	80
Caliza (Kg)	14	28	8
ferro glaze (Kg)	1.5		2.4
coque (Kg)		125	580
Tiempo total de soplado (min)	320	150	80
Fusión de hierro (ton/hr)	8	5.5	4
Producción (ton/hr)	8.5	6.2	4.3

Periodo de Emisión

Emisiones del horno (m ³ /min)	170	465	86
Velocidad de las emisiones (m/s)	2.4	3.9	1.8
Analisis de los gases (ORSAT) %CO			
%CO ₂	0.33	0.4-0.8	1 - 9
%O ₂	19	20	15
Particulas sólidas (g/m ³)	11	0.3	0.05
Aceites condensables, grasa (g/m ³)	0.04	0.06	0.0005

Periodo de Fusión

Emisiones del horno (m ³ /min)	450	586	138
Velocidad de las emisiones (m/s)	12	13.2	9.2
Analisis de los gases (ORSAT) %CO			
%CO ₂	4	4	11
%O ₂	16	15	8
Particulas sólidas (g/m ³)	13	40	55.3
Particulas sólidas (Kg/hr)	34	90	31.5
Particulas sólidas (% de peso procesado)	0.55	1.48	0.75
Aceites condensables, grasas (g/m ³)	0.90	0.68	0.29
Bioxido de azufre (% vol) SO ₂	0.014	0.002	0.01
Temperatura media de la chimenea (°C)	510	650	900
Tamaño de las Particulas			
de 50 a 25 micron	25	35	25
(% del con- de 25 a 10 micron	30	30	25
tenido to- de 10 a 5 micron	15	10	25
tal) de menos a 5 micron	30	25	25

Sabemos que el zinc se encuentra en piezas de hierro galvanizado, causa contaminación en el aire, sin embargo, muchos otros materiales tienen presión de vapor apreciable bajo las condiciones de operación del horno de cubilote. Si consideramos una temperatura de 2100°C en la zona de fusión del horno, nos encontramos con que el hierro, la sílice y el silicio en sí, tienen una presión de vapor considerable. Este vapor condensará para formar partículas extremadamente finas ó humos que son difíciles de capturar; en muchos casos los vapores formarían óxidos antes de enfriarse. En la tabla 6 muestra las cantidades porcentuales de los gases emitidos por 3 hornos de cubilote.

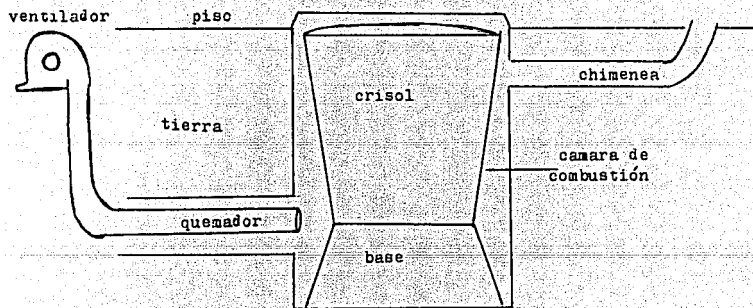
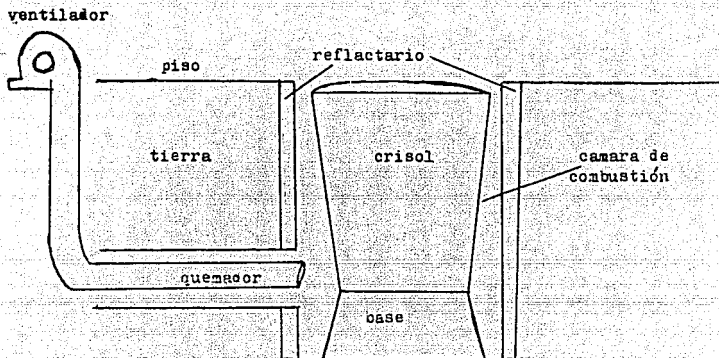
2.3.6 HORNO DE CRISOL

A) Características

Las formas primitivas de las vasijas de arcilla para contener los metales fundidos eran similares al crisol comúnmente usado. Esta vasija se coloca en una fosa en la tierra, alrededor de ella se colocaba madera que era inflamada. Hoy en día puede usarse con combustible de aceite mineral, petróleo, coque ó gas. Todos los metales no ferrosos se funden fácilmente en unidades que queman coque y hasta el hierro gris puede ser fundido, si se permite el tiempo necesario para ello. En el caso de las primeras vasijas el tiro para la combustión era proporcionada por una chimenea, para quemar la madera y fundir el metal en el crisol. En un solo foso pueden colocarse varios crisoles. El acero puede fundirse en los hornos de foso usando unidades que queman petróleo ó gas, de hecho se pueden hacer en esa forma aceros muy excelentes hoy en día.⁹

El horno de foso está siendo reemplazado por hornos de crisol que operan a nivel del piso, no necesita para ello una chimenea costosa y el manejo de los crisoles es sencillo y seguro.⁸

El horno de crisol tiene su importancia mencionarlo porque como ya se ha indicado se utiliza para producir cualquier metal. El horno de crisol no recibe arrabio y lo óxida como en el convertidor Bessemer o el de hogar abierto, el proceso de crisol realmente es una operación de mezclado. Los crisoles con frecuencia estaban cargados con hierro puro en barra y arrabio refinado, el cual al mezclarse, daba el porcentaje de carbono deseado.



HORNOS DE CRISOL

FIG. 8

Si son necesarias aleaciones, se agregan con el resto de la carga, dejándolas mezclarse hasta tener la composición uniforme.

Aunque el acero producido en el crisol se considera de alta calidad, en esta época difícilmente igualaría los estándares de excelencia en el acero ¹⁰

B) Principales Elementos Contaminantes

Aunque no se cuentan con datos sobre las posibles emisiones de contaminantes generados por hornos de crisol, es de esperarse que éstos sean similares a los generados por los métodos de producción de hierro y acero como: óxidos de hierro, óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno entre otros, además como también opera con metales no ferrosos, se generarían gases de metales como de plomo, zinc, cobre y otros. De acuerdo al tipo de combustible que se utiliza, si son impuros y no se realiza una completa combustión de éstos, se producirían otros tantos contaminantes como el SO_2 , hidrocarburos, etc. Puesto que estos hornos son aún muy usados, es necesario hacer una evaluación específica de los contaminantes que se generan en este tipo de hornos y estudiar la posibilidad de instalar equipos anticontaminantes para reducir el problema.

2.3.7 HORNO DE ARCO ELECTRICO

A) Características

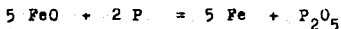
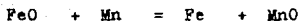
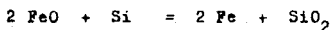
Actualmente, éste horno es el mayor productor de acero de primera calidad. Las unidades para fabricar el acero tienen una capacidad instalada de aproximadamente de 1 a 50 tons y el horno procesa una carga alrededor de 5 a 6 horas. La figura 9 muestra un horno de arco eléctrico He-roult de 10 ton. Los detalles mecánicos de este tipo de hornos, difieren un poco particularmente en las aplicaciones de carga y descarga. A través de huecos ajustados en el techo, se proyectan grandes electrodos de carbono ó de grafito - 17 plg (43.5 cm) de diámetro. Estos electrodos penetran unas cuantas pulgadas dentro de la carga, atravesando este espacio se presenta súbitamente un arco eléctrico. El principio es muy semejante al del alumbrado público, excepto que los carbones son infinitamente mayores y el calor del arco es enorme. Este calor derrite la carga y la mantiene fundida durante la refinación.

Puesto que no está quemando combustible en el horno eléctrico, no será necesario oxígeno para mantener la combustión. Por consiguiente la atmósfera del horno puede ser reductora y el metal no se oxida continuamente durante el proceso, como sucede en el horno de hogar abierto. Bajo esta atmósfera reductora, el metal puede ser altamente refinado y si desea, pueden agregarse cantidades de aleación sin peligro que se consuman durante la oxidación. El horno básico de arco eléctrico puede reducir el contenido de fósforo y de azufre a cantidades sumamente bajas.

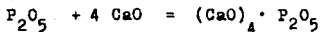
Estos hornos se cargan totalmente con restos de acero cuidadosamente seleccionados o con hierro puro de análisis conocido, nunca se cargan con arrabio. Si la carga consiste de materiales fríos, se le llama fundición fría, siendo este proceso diferente del de la carga del horno eléctrico con acero previamente fundido en un horno de reverbero. El proceso de fundición fría, el más lento y más costoso, se utiliza casi universalmente para la fabricación de acero fino.¹³

B) Principales Reacciones

Después de fundir la mezcla cargada, se introduce en el hierro un determinada cantidad de cal, mineral de hierro u óxido de hierro y se conecta la corriente. El proceso de fusión del acero se puede dividir en dos períodos; el de oxidación y el de reducción. El primer período debido al oxígeno del mineral o del óxido de hierro, se oxidan todas las impurezas (excepto el azufre);

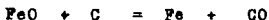


La presencia de la cal asegura la reacción



Al descargar las escorias producidas y se carga nuevamente con una pequeña cantidad de cal y mineral, formadas las segundas escorias se toma la muestra para determinar la cantidad de fósforo y de nuevo se sacan las escorias. Estas operaciones se repiten hasta que se elimine casi por completo el fósforo.

Con un elevado contenido de carbono se quema parcialmente;



En el segundo período sobre la superficie del metal, se arrojan las escorias básicas compuestas de cal y espato de flúor y después se agrega el coque desmenuzado. La desoxidación del metal y la transformación del azufre en las escorias se efectúa según las reacciones;



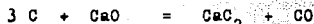
Se extraen las escorias producidas y se carga de nuevo escoria básica, repitiendo la operación hasta la eliminación casi completa del azufre.¹⁶

Proceso de Doble Escoria

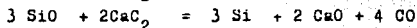
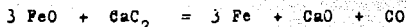
Esta es la práctica que hace más atractiva al horno de arco eléctrico para la producción de acero de alta calidad y de alta aleación. Después que el período oxidante se completa, con todo el fósforo oxidado en la escoria y el nivel de carbono en el baño, ligeramente por debajo del nivel de vaciado, se remueve toda la escoria oxidante basculando el horno y los restos de escoria flotante se rastrillan fuera del horno.

Una vez limpia la superficie del baño, se agrega al horno una mezcla de cal y fundentes necesarios, luego se adiciona coque. Bajo los arcos se forma carburo de calcio, que produce condiciones altamente reductoras. El contenido de óxido de hierro en la escoria no excede del 1 %, pero dado que la escoria primaria se extrajo completamente, no hay una reversión del fósforo por no estar presente en la escoria.

El carburo de calcio o el de silicio también se usan cuando se requiere una rápida formación de la escoria reductora. En condiciones reductoras y a altas temperaturas, la cal y el carbono reaccionan para formar el carburo;

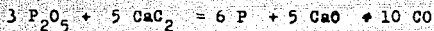


Puesto que uno de los productos resultantes escapa, la reacción es irreversible. El carburo se destruye (óxida) fácilmente con cualquier óxido con el que hace contacto:

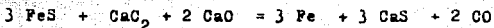


reacciones que son de desoxidación. Puesto que el CO escapa, las reacciones son irreversibles y el elemento reducido se disuelve en el baño, mientras que el CaO queda libre para reaccionar con nuevas adiciones de coque. El manganeso, el vanadio, el columbio y el tungsteno reaccionan de manera similar.

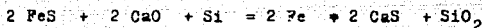
Una fuerte reversión del fósforo ocurriría si algo de pentóxido de fósforo quedara en la escoria :



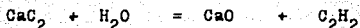
Contrariamente a la desulfuración en condiciones oxidantes, la desulfuración en una escoria reductora procede libre e irreversiblemente, debido al escape a la atmósfera de un producto resultante :



La otra razón de buena desulfuración es la alta solubilidad del CaS en la escoria en ausencia de FeO. Si se requiere acero de bajo carbono, las adiciones de coque se sustituyen por ferrosilicio o aluminio con resultados similares :



Para mantener las condiciones reductoras, con frecuencia se hacen pequeñas adiciones de coque ó carburo, ferrosilicio ó aluminio. Sin embargo, cada vez que se abre una puerta se admite oxígeno, el cual tiende a destruir el carburo formado bajo los arcos. La escoria reductora con carburo es de color gris oscuro a negro y cuando se humedece con agua emite olor a acetileno :



La escoria reductora sin carburo (alto CaO, bajo FeO + MnO) es blanca. ¹¹

C) Principales Elementos Contaminantes

El horno de arco eléctrico produce grandes cantidades de polvo y humo durante su operación, por la presión interna generada por la carga de los materiales que serán calentados, fundidos y químicamente tratados, causan la emisión de humos y partículas finas, aunque también por la apertura alrededor de los electrodos, tuberías y puertas. Cuando el horno es abierto para cargar, las emisiones tienen lugar.

El uso de lanzar oxígeno dirigido hace incrementar las emisiones, en volumen y concentración. En los hornos con un adecuado equipo de colección y limpieza para esas descargas, con una ventilación normal son llevadas lejos y liberadas ultimamente en la atmósfera donde son disipadas.

Estos problemas estan fuertemente relacionados con las condiciones de trabajo y pueden ser resueltos por un buen sistema de ventilación, pero éstos no corrigen la contaminación del aire. Las cantidades y tipos de partículas las cuales emanan de los hornos de arco eléctrico dependen de muchas variables, tales como; la composición de la carga; el uso de óxidos y materiales combustibles; el rango de fusión; la temperatura del horno; el estado físico de los agentes de flujo y la aplicación de oxígeno.

Las cantidades de emisiones generadas durante varias etapas del proceso también son varias, el rango de emisión es más grande durante el soplado de aire (oxígeno), esto es un 75 % de todas las emisiones que dan lugar en la primera mitad del proceso. Las cantidades de polvo producido varían de menos de 1 Kg/ton del producto a lo mucho 17 Kg/ton. El reporte de la cantidad está en sobre 4.5 a 5.8 Kg/ton. Esos polvos y humos varían considerablemente con el tamaño y concentración. Los valores típicos con respecto a tamaños de partículas emitidas son :

Diam. de partículas en micrones	Porcentaje
arriba de 44	7 a 16
de 10 a 44	7 a 71
menos de 10	18 a 80

Sin embargo otros reportes indican que sobre el 95 % es menos de 0.5 micrones con partículas no muy grandes de 2 micrones de diametro; el 70 % en 0.5 micrones y el 92 % en un rango de 0.44 micrones. La composición del polvo tendrá que ser reportada como lo siguiente :

Componente	Porcentaje
Fe ₂ O ₃	19 a 44
CaO	5 a 22
Al ₂ O ₃	1 a 13
MnO	3 a 12
SiO ₂	2 a 10
FeO	4 a 10
MgO	2 a 15
C	2 a 8

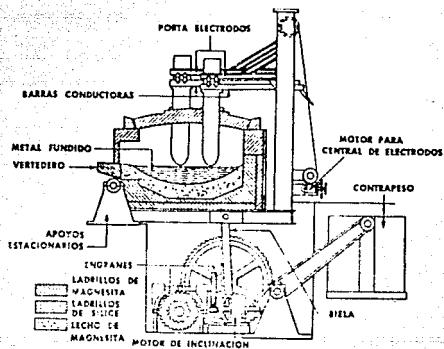


Fig. 9 Horno de Arco Eléctrico

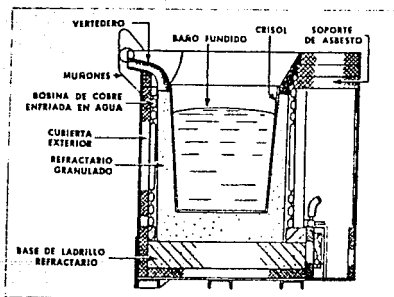


Fig. 10 Horno Eléctrico de Inducción

Otros; Zn, Cr, Cu, etc.

La gravedad específica es sobre 4, otras características del polvo incluyen el aglomerado, enpastado y tendencias de adherencia, todo lo cual influye en los tipos y facilidades de limpiar el aire para aplicarlos a éstos tratamientos de tales desechos.¹⁶

2.3.8 HORNO ELECTRICO DE INDUCCION

A) Características

Este horno se emplea en una extensión limitada para la producción de acero (figura 10). Opera según el principio de un transformador eléctrico. Lo principal es una corriente alterna de alta frecuencia que pasa por un serpentín de cobre enfriado por agua, el cual encierra el crisol en donde se realiza la fusión.

El crisol se llena con restos de acero cuidadosamente seleccionados, los cuales actúan como secundario del transformador. Cuando se hace pasar la corriente de alta frecuencia a través del serpentín de cobre, se generan corrientes en los trozos de acero ocasionando un calentamiento que en pocos minutos funden completamente la carga.

Una de las ventajas de este horno es que después de la carga ha sido totalmente fundida, las corrientes inducidas ocasionan una acción mezcladora en el baño produciendo uniformidad en la temperatura y la composición. La capacidad de los hornos de inducción varía desde unos cuantos cientos de libras hasta 5 ó 6 toneladas, y cuando trabaja a toda capacidad, pueden sacar una carga aproximadamente cada hora. Desde luego, no hay condiciones oxidantes presentes de modo que se pueden fabricar acero apagado de alta calidad, en la misma forma que en el horno de arco eléctrico. El horno de inducción, como se emplea actualmente, tiene muy poca capacidad para eliminar el fósforo o el azufre, por lo que estas impurezas deben mantenerse a muy bajos niveles al cargar las materias primas, excepto por el método del calentamiento, el acero que se fabrica sigue en gran parte los principios del anticuado horno de crisol.¹³

B) Principales Elementos Contaminantes

Respecto a este aspecto no se cuentan con datos de sus emisiones de contaminantes, sucede lo mismo que con el horno de crisol.

Los combustibles y fuentes de fuerza para fundir metales ¹² así como los tipos de hornos en que cada uno de ellos usa normalmente.

Combustibles y hornos para fundir metales y aleaciones para el uso de la fundición

Combustibles	forma del combustible	metal fundido	Horno
Carbon	butinoso, pulverizado, piedra (antracita) o briquetas	hierro colado	Horno de oxígeno
		hierro colado	Cubilote
		hierro colado	Cubilote
Coque	trozos clasificados	hierro colado	Cubilote
		no ferrosos	Horno de Crisol
Petróleo		no ferrosos	Horno de Crisol
		hierro y acero	Hogar Abierto
Gas		no ferrosos	Horno de Crisol
		hierro y acero	Hogar Abierto
Electricidad	Arco Directo	acero y h. colado	Horno Eléctrico 1,2,3 fases
	Arco Indirecto	no ferroso	Horno de Balanceo
		hierro colado	(arco indirecto)
	Resistencia	no ferrosos	Horno de Balanceo
	Inducción	todos los metales	Horno de Inducción de vuelco y de izado.

TABLA 7

2.4 Operaciones Unitarias importantes durante la Fusión en los Hornos.

2.4.1 Carga de Materiales

La rotación lateral de la cubierta del horno durante la operación de carga hace ineffectivo todo el sistema cerrado de evacuación, durante los periodos de intensa emisión, más esas emisiones son debido al aceite impregnado en la chatarra, la arena húmeda recirculada para moldear, la suciedad y materias orgánicas. Pruebas de los efectos se muestran en las líneas de limpieza, que las emisiones se duplican, cuando hay suciedad y baja calidad de la chatarra usada. Cuando 5 ton por metal caliente que es cargado como chatarra húmeda hasta de 1 % en peso de aceite, más de 9 Kg de ceniza y polvo son emitidos en un corto tiempo. Las emisiones durante la carga de los hornos es aproximadamente el 10 % del total. En contraste las emisiones generadas durante el soplado son usualmente despreciables, a menos que las mediciones de aleantes se practiquen en la olla. Durante la fusión de la carga se ocasionan rápidamente elevadas temperaturas removiendo el aceite impregnado de la chatarra y algunos metales no ferrosos volátiles tales como el Pb, el Cu, el Zn y Mg son expulsados a la atmósfera.

2.4.2 Soplado de Oxígeno

El soplado de oxígeno en la producción de aceros, ayuda a bajar el contenido de carbono y acelera el proceso de fundición. El oxígeno genera emisiones gaseosas de CO y CO₂ e incrementa el potencial de emisión de partículas, realizando una práctica cuidadosa de esta operación se puede mantener la correcta energía química y calorífica y teniendo el horno una cubierta cerrada durante el soplado de oxígeno, se reduciría al menos el escape de partículas.

2.4.3 El Escoriado

El escoriado se utiliza una vez por fusión, pero puede ser utilizado dos veces para ciertos aceros aleados, esta segunda escoria de ser con un mínimo de escape de aire, es decir la ventilación debe ser suspendida ó duramente restringida dentro del horno, durante estos periodos se escapan los humos a través de los agujeros de las cubiertas de los hornos y

provocan un mal ambiente en la planta. Las emisiones durante el primer escoriado son más pronunciadas en los hornos con una evacuación directa, que los hornos con cubierta de desplazamiento lateral.

2.4.4 Refinación

Las operaciones de refinación y manejo del metal fundido, son combinadas con la segunda escoriación, son principalmente para la producción de piezas coladas, donde los estándares de seguridad y moldeo son muy altas. En esta parte solo se notan ligeros cambios de temperatura y varias pequeñas reacciones, las emisiones son de moderada intensidad.

Durante la refinación y purificación del hierro y acero muchas partículas finas escapan como chispas a lo largo del chorro ó corriente de metal líquido, esas emisiones son pequeñas en la producción de hierro gris, tal vez porque el acero necesita más temperatura, estos pueden ser de menor intensidad que los generados en la carga ó tratamientos como la desoxidación ó adiciones especiales, mientras el metal fundido es refinado en la olla causa violentas emisiones en un corto tiempo.

2.5 Analisis y Cuantificación de Contaminantes de algunos Hornos

2.5.1 HORNO BASICO DE OXIGENO

Se tiene que un horno básico de oxígeno, genera un promedio de 20 Kg/ton de desechos gaseosos, que de acuerdo al porcentaje de su composición, la cantidad de cada uno de los contaminantes es :

Fe_3O_4	14.2 Kg/ton	CaO	4 Kg/ton
Fe_2O_3	1.7 "	P_2O_5	0.5 "
Fe	1.7 "	SiO_2	0.9 "

Suponiendo :

Capacidad comercial de ; 20 ton

Numero de fusiones al día ; 5

Producción diaria : 100 ton

Entonces para cada contaminante se tiene :

Fe_3O_4	1420 Kg/día	CaO	400 Kg/día
Fe_2O_3	170 "	P_2O_5	50 "
Fe	170 "	SiO_2	90 "

Dado una cantidad de desechos totales : 2300 Kg/día

2,3 ton /día

2.5.2 HORNO DE HOGAR ABIERTO

Para un horno de hogar abierto, se generan 7 Kg/ton de desechos gaseosos, que según la composición reportada anteriormente de tales desechos, la cantidad de cada contaminante es :

Fe_2O_3	6.23 Kg/ton.	MnO	0.042 Kg/ton
FeO	0.133 "	P_2O_5	0.035 "
SiO_2	0.063 "	S	0.028 "
Al_2O_3	0.035 "	Alcalinos	0.098 "
CaO	0.063 "		

Suponiendo :

Capacidad comercial : 20 ton

Número de fusiones al día : 5

Producción diaria : 100 ton

Entonces por cada contaminante se tiene :

Fe_2O_3	623 Kg/día	MnO	4.2 Kg/día
FeO	13.3 "	P_2O_5	3.5 "
SiO_2	6.3 "	S	2.8 "
Al_2O_3	3.5 "	Alcalinos	9.8 "
CaO	6.3 "		

Resultando una cantidad de desechos totales : 673.4 Kg/día

2.5.3 HORNO DE ARCO ELECTRICICO

Los hornos de arco eléctrico generan un promedio de desechos gaseosos de 5.65 Kg/ton de acuerdo a la composición de estos gases, se tienen las cantidades siguientes de cada contaminante:

Fe_2O_3	1.78 Kg/ton	SiO_2	0.339 Kg/ton
CaO	0.76 "	FeO	0.395 "
Al_2O_3	0.395 "	MgO	0.48 "
MnO	0.423 "	C	0.282 "

Suposición :

Capacidad comercial : 20 ton

Numero de fusiones al día : 5

Producción diaria : 100 ton

Fe_2O_3	178 Kg/día	SiO_2	33.9 Kg/día
CaO	76 "	FeO	39.5 "
Al_2O_3	39.5 "	MgO	48 "
MnO	42.3 "	C	28.2 "

Resultando una cantidad de desechos gaseosos totales de : 485.4 Kg/día

2.6 Efectos de los Elementos Contaminantes sobre el Medio Ambiente y en la Salud Humana

2.6.1 Partículas en Suspensión:

A) Efectos en la Salud Humana

La mayor parte de los efectos dañinos que las partículas en suspensión efectúan sobre el cuerpo humano afectan al aparato respiratorio.

En general afectan a la superficie, sin introducirse en el interior de los pulmones, siendo eliminadas posteriormente, por lo que las lesiones, si se producen, son de carácter leve.

Ahora bien como normalmente las ciudades con partículas en suspensión en cantidad superior a la natural presentan asimismo la existencia de gases perjudiciales, en particular el SO_2 , las lesiones pueden ser más profundas y llegar a ser permanentes.

El proceso de retención de partículas inhaladas por el aparato respiratorio, en el aparato digestivo, e incluso en la linfa y en la sangre, se ha comprobado a escala de laboratorio, aunque hasta ahora no se conoce con exactitud la totalidad del proceso. Sin embargo, la importancia de estas lesiones es prácticamente nula.

Algunos estudios han investigado sobre la posibilidad de daño en la vista debido a las partículas en suspensión en el aire, llegando a la conclusión que tan solo presentan problema las irritaciones transitorias ocasionadas por las partículas de mayor tamaño, que se introducen en el ojo de manera aleatoria.

Así pues, en conjunto, puede decirse que la existencia de partículas en suspensión en el aire en niveles inferiores a los $300 \mu g/m^3$ no presentan problemas para la salud humana por sí mismas. Sin embargo, la presencia de compuestos sulfurados modifica sustancialmente la afección anterior.

- Concentraciones permanentes de partículas por arriba de $750 \mu g/m^3$, acompañadas por concentraciones de SO_2 superiores a $715 \mu g/m^3$, puede producir la muerte y en cualquier caso, lesiones pulmonares permanentes.

- Concentraciones permanentes de partículas por encima de $300 \mu g/m^3$, unidas a una cantidad de SO_2 mayor a $630 \mu g/m^3$ produce enfermos de bronquitis crónica.

- Concentraciones permanentes de partículas por arriba de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con más de $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de SO_2 dan lugar a bajas de trabajo por lesiones temporales.
- Concentraciones permanentes de partículas por encima de $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con presencia de SO_2 superior a $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ producen molestias respiratorias a niños y a personas de edad avanzada.
- Concentraciones permanentes de partículas por encima de $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sin presencia de SO_2 dan lugar a una mayor cantidad de salivación y esputos en las personas que viven en ese ambiente.

B) Efectos en el Clima

Las partículas suspendidas en la atmósfera absorben la luz solar, reduciendo la energía solar que llega a la tierra, así como produciendo sombras y reduciendo notablemente la luminosidad y visibilidad.

En zonas urbanas en latitudes altas la importancia de este efecto es mayor, pues se ha comprobado que una concentración de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ llega a reducir la luz solar en un tercio de su valor en verano y hasta dos tercios en el invierno.

El efecto que produce esta absorción de energía solar es doble, pues, por una parte, no produce la necesaria función clorofílica, con su incremento del contenido de CO_2 en la atmósfera, es decir, indirectamente enrarece la misma, y por otra, es notable el descenso general de la temperatura en la atmósfera en las últimas décadas.

- Tomando como base una concentración de partículas de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la luz se reduce en un 5 % por cada $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ más que se aumenta la concentración.

C) Efectos sobre la Visibilidad

Además de la luz solar, las partículas en suspensión absorben la luz producida por medios artificiales, reduciendo la visibilidad, y asimismo el contraste entre los objetos y sus sombras.

La reducción de visibilidad se encuentra naturalmente ligada a la concentración de partículas, pero asimismo influye el tamaño de las mismas. Para una misma concentración, las partículas que absorben una mayor cantidad de energía son las de diámetros comprendidas de 0.1 a 1 μm .

Experimentalmente se ha conseguido una fórmula que liga la concentración de partículas, con la distancia de visibilidad de un punto de luz.

Dicha fórmula es:

$$L_v = \frac{A \cdot 10^3}{G'}$$

Donde: L_v - distancia visible (en Ft)

A - cte. de valor entre $1.2^{0.4}$ a $1.2^{2.4}$

G' - concentración de partículas (MJ/m^3)

El valor de la constante A , varía desde $1.2^{0.4}$ para un tamaño de partículas de 100% comprendidas entre 0.1 y 1, hasta $1.2^{2.4}$ para un 100% superior a las 10.

De acuerdo con esta fórmula se obtiene un campo de visión de aproximadamente 3 Km para concentraciones de 50 a 200 MJ/m^3 .

D) Efectos sobre los Materiales

Los efectos que las partículas en suspensión pueden tener sobre los materiales son los siguientes:

- Corrosión: realizada por aquellas partículas de mayor tamaño y dotadas de elevadas velocidades (efecto de pequeña incidencia)
- Ataque químico: puede realizarse directamente por las partículas, o generalmente, por los gases también existentes conjuntamente (H_2S y SO_2 , tras el efecto de abrasión por las partículas).

En conjunto puede decirse que el efecto más usual es la corrosión.

Aunque se conoce que las partículas tienen una influencia en la corrosión de materiales, resulta muy difícil precisar en qué porcentaje es debido a las partículas en suspensión y qué porcentaje a los gases contenidos en el aire.

E) Efectos en la Vegetación

Los efectos que producen sobre la vegetación las partículas en suspensión pueden considerarse como muy pequeños y prácticamente inexistentes.

Tan solo pueden cifrarse como peligrosos aquellos que se derivan para zonas muy próximas a puntos de producción de partículas en notable cantidad.

Por ejemplo, en zonas próximas a explotaciones mineras a cielo abierto y fábricas de cemento, el estado de la vegetación circundante es debido a la

deposición de polvo sobre las hojas, lo que evita la normal realización de las funciones propias de las plantas.

Como cifra puede citarse que los inconvenientes en las plantas comienzan con deposiciones de polvo por encima de las 500 t/Km² por mes y aun en esto no son extremadamente peligrosas, a no ser que se trate de polvos con composiciones químicas tóxicas para los vegetales.

2.6.2. Dioxido de Azufre (SO₂)

A) Efectos sobre la Salud

Los efectos de los óxidos de azufre sobre la salud, se reflejan en irritaciones del sistema respiratorio. Las afecciones pueden ser permanentes o temporales; los análisis de numerosos estudios epidemiológicos indican claramente que existe una relación entre la contaminación atmosférica, medida en contenido de SO₂ acompañado de partículas y los efectos sobre la salud de gravedad variable.

- A concentraciones de unos 0.52 ppm (1,500 µg/m³) de SO₂ (media de 24 h), junto con partículas en suspensión de un índice COH o (2), o mayor, puede producirse un incremento de mortalidad.

- A concentraciones de unos 0.25 ppm (715 µg/m³) de SO₂ y mayores (media de 24 h), junto con humos a una concentración de 750 µg/m³, puede presentarse un incremento en la tasa diaria de defunciones.

- A concentraciones de 0.19 ppm (500 µg/m³) de SO₂ (media de 24 h), con bajos niveles, pueden producirse incrementos en la tasa de mortalidad.

- A concentraciones comprendidas entre 0.11 ppm (300 µg/m³) y 0.19 ppm (500 µg/m³) de SO₂ (media de 24 h) con bajos niveles de partículas, pueden presentarse casos de absentismo al trabajo y un aumento en los ingresos en hospitales.

- A concentraciones del orden de 0.25 ppm de SO₂, junto con partículas pueden presentarse en pacientes mayores de 54 años y con bronquitis agudas fuertes incrementos en las tasas de enfermedad.

- A concentraciones del orden de 0.21 ppm (600 µg/m³) de SO₂, con concentraciones de humos de unos 300 µg/m³, pueden presentarse una agravación de los sistemas de los pacientes con afecciones pulmonares crónicas.

(COH) coeficiente de opacidad.

- A concentraciones comprendidas entre 0.337 ppm ($105 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y 0.092 ppm ($265 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de SO_2 , acompañada de concentraciones de humos de unos $185 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pueden presentarse incrementos en la frecuencia de síndromes respiratorios y enfermedades pulmonares.
- A concentraciones del orden de 0.046 ppm ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de SO_2 (media anual) acompañados de concentraciones de humos de unos $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pueden presentarse aumentos de frecuencia y gravedad de enfermedades respiratorias en los escolares.
- A concentraciones del orden de 0.04 ppm ($115 \mu\text{g}/\text{m}^3$) de SO_2 (media anual) acompañados por concentraciones de humos de unos $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$, puede presentarse un incremento en la mortalidad a causa de bronquitis y cáncer del pulmón.

B) Efectos sobre la Visibilidad

La reducción de visibilidad se encuentra fundamentalmente ligada a la concentración de partículas y su distribución de tamaño, el total de partículas en suspensión en áreas urbanas, generalmente del 5 % al 20 %, consisten de ácido sulfúrico y otros sulfatos, y de ellas, el 80 % o más (en peso) tienen un radio inferior a una micra. Por consiguiente, la suspensión de sulfatos en el aire puede afectar de manera significativa la visibilidad. Como los niveles de contenido de SO_2 presentan en general, una correlación con los niveles del total de partículas en suspensión, y dado que puede estimarse la relación existente entre el contenido de SO_2 y sulfatos en suspensión, para una humedad relativa dada, es posible estimar la visibilidad para diversas humedades relativas, partiendo de la concentración de SO_2 .

C) Efectos sobre los Materiales

Fundamentalmente los efectos del SO_2 , se presentan en forma de corrosión metálica, se ha determinado claramente que las velocidades de corrosión de diversos metales, son más altas en zonas urbanas e industriales con niveles relativamente altos de contaminación.

Según el tipo de metal de que se trate y de su situación y tiempo de exposición, las velocidades de corrosión fueron de 1 1/2 a 5 veces mayores en atmósferas contaminadas que en zonas rurales. Aunque las altas concentraciones de SO_2 tienden, en general, a coincidir con altos niveles de presen-

cia de partículas, parece ser que la concentración de SO_2 es la determinante fundamental de los efectos corrosivos.

Estos efectos corrosivos afectan fuertemente a todo tipo de equipos eléctricos, habiéndose determinado que pueden reducir hasta 1/3 la duración de los herrajes de las líneas aéreas de transmisión eléctrica y de los vientos de alambre de los mismos. Incluso, en determinados sectores, ha sido necesario substituir los contactos eléctricos normales por otros a base de metales menos afectados por la corrosión, como el oro.

Además de estos efectos de corrosión metálica, los óxidos de azufre, atacan a muy diversos materiales de construcción, tales como, caliza, mármol, morteros y pinturas de cubierta, originando su deterioro y decoloración. Asimismo el SO_2 afecta a los tejidos teñidos, dando inestabilidad a los colores, incluso al cuero y al papel, que se decoloran y hacen frágiles. A concentraciones de 1 ppm de SO_2 pueden incrementar hasta un 50 % el tiempo de secado de ciertas pinturas a base de aceites.

2.6.3 Monóxido de Carbono (CO)

A) Efectos en la Salud

Debido a su origen (combustión incompleta de materias orgánicas) el CO es emitido a la atmósfera en mayores cantidades que cualquier otro contaminante urbano.

El CO es absorbido por los pulmones y reacciona principalmente con las hemoproteínas y, sobre todo, con la hemoglobina de la sangre. La absorción de CO va acompañada de una reducción de la capacidad portadora de oxígeno disponible a los tejidos. La afinidad de la hemoglobina para el CO es más de 200 veces que para el oxígeno, formando un compuesto, la carboxihemoglobina (COHb) más estable que la oxihemoglobina (O_2Hb).

La magnitud de la absorción del CO aumenta con la concentración, duración de la exposición y ritmo respiratorio. Basados en un cuidadoso estudio, se pueden resumir como sigue, los efectos que diversos niveles de contaminación del aire producen en el organismo humano, de acuerdo con la National Air Pollution Control Administration:

- La exposición experimental de sujetos no fumadores, a concentraciones de $35 \text{ mg}/\text{m}^3$ (30 ppm) durante ocho y doce horas, ha indicado un valor de equili-

nio de la COH del 5 por ciento del 30 % de este valor de equilibrio, a una
 4 % de COH, se produce ya después de cuatro horas de exposición. Estos he-
 tos experimentales comprueban las formulas usuales para calcular los valo-
 res de equilibrio de la COH, tras la exposición a bajas concentraciones de
 de CO. Estas formulas indican que la exposición continua de sujetos sanos a
 terios no fumadores a 25 mg/m^3 (20 ppm) dan por resultado a nivel de COH
 en la sangre cerca del 3.7 % y a 12 mg/m^3 (10 ppm) a nivel del orden del 2 %.
 - La exposición experimental de sujetos no fumadores a 55 mg/m^3 (50 ppm)
 durante 9 minutos va acompañada de una disminución en la capacidad de
 el terminando de intervalos de tiempo. La exposición produce un aumento
 de cerca de 2 % de COHb en la sangre. El mismo aumento de COHb se presenta
 por exposición continua durante ocho o más horas a 17 mg/m^3 (15 ppm).
 - La exposición experimental a concentraciones de CO suficientes para pro-
 ducir niveles del orden de 5 % de COHb, no produce ciertos casos de disminu-
 ción en los resultados de ciertos tests psicomotrices y una disminución en
 la agudeza visual.
 - La exposición experimental a concentraciones de CO suficientes para pro-
 ducir niveles de COHb por encima del 5 %, ha evidenciado tensiones fisiolo-
 gicas en pacientes con dolencias cardíacas.

B) Efectos en la Vegetación y en los Materiales

Otros estudios sobre los posibles efectos del CO no han demostrado relación
 entre los niveles de concentración de CO en el ambiente y efectos adversos
 sobre la vegetación, materiales u otros aspectos del bienestar humano.

2.6.4 Oxidos de Nitrogeno

A) Efectos sobre la Salud

a) Oxido Nitrico

No existen indicios de que el NO produzca efectos tóxicos importantes a
 las concentraciones atmosféricas registradas hasta ahora.

b) Oxido Nitroso

(1) Exposición de corta duración

Aunque los estudios disponibles son minimos, puede indicarse lo siguiente:

1. El umbral olfativo del NO_2 es del orden de $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.12 ppm).
2. Una exposición a $9.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (5 ppm) durante 10 minutos ha producido un aumento en la resistencia al paso del aire en las vías respiratorias.
3. La exposición laboral durante 30 minutos a $101.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (50 ppm) ha producido edema pulmonar a las 18 horas, acompañado de una reducción del 50 % de la capacidad vital considerada como normal.

(2) Exposición de larga duración

Se ha observado un aumento de afecciones respiratorias agudas en grupos familiares, cuando la gama media de concentraciones de NO_2 durante 24 hrs. medias a lo largo de un período de 6 meses, estuvo comprendida entre 117 y $305 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.062 y 0.109 ppm) junto con un nivel de nitratos en suspensión de $3.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

B) Efectos sobre los Materiales

a) Oxígeno Nitríco

Se han observado efectos perjudiciales a niveles de contaminación ambiental sobre los materiales, pero no se han determinado de manera exacta las concentraciones de NO que producen tales efectos.

b) Oxígeno Nitroso

Características similares

C) Efectos en la Vegetación

a) Oxígeno Nitríco

En ciertas leguminosas expuestas a concentraciones de $12,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (10 ppm) la fotosíntesis aparente se redujo en un 50 a 70 % siendo el porcentaje de 10, para valores de $4.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (4 ppm).

b) Oxígeno Nitroso

Se han observado efectos característicos en las plantas, sensibles a los NO_x al someterlas a la exposición directa de NO_2 .

1. Una exposición al NO_2 durante 8 meses, a concentraciones de $470 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.25 ppm) origina caída de hojas y reducción de rendimientos en los naranjos.
2. Una exposición a concentraciones de $940 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.5 ppm) durante 35 días dio lugar a caída de hojas y clorosis en árboles de cítricos.

2.6.5 Sulfuro de Hidrogeno (H_2S)

A) Efectos en la Salud

Aparte de la ingestión accidental ocasional y menos frecuentemente, lenta absorción a través de la piel, el H_2S es absorbido y eliminado por los pulmones, excretándose una pequeña fracción por la orina en forma de sulfuros. La acción irritante del H_2S sólo comienza a concentraciones de 70 ppm, se indica que ya incluso a 15 ppm se ha observado ciertos efectos irritantes, que aumentan entre 18 a 28 ppm. Incluso una exposición súbita a concentraciones inferiores a 30 y 50 ppm, no afectan el organismo. De 500 a 700 ppm durante un período de media a una hora, puede poner la vida en peligro. La inhalación de 5,000 ppm causa la muerte instantánea. El efecto irritante predomina a bajas concentraciones de H_2S y el deprimido del sistema nervioso a altas. El primero afecta a la mucosa ocular, ocasionando conjuntivitis dolorosas, lagrimación, fotofobia y a veces lesiones corneales. También ataca a las vías respiratorias, ocasionando rinitis, bronquitis y asma pulmonar. La exposición continua a bajas concentraciones puede ocasionar fatiga, insomnio e irritabilidad.

Las concentraciones altas pueden ocasionar colapso súbito y muerte por parálisis respiratoria. Se han comprobado también náuseas, vómitos, anorexia y, si hay contacto directo con la piel, eritema e hiperemia. El H_2S reacciona rápidamente con la metahemoglobina, formando sulfhemoglobina, hiperventilación inicial seguida de una hipoventilación, que se corresponden con una acción excitante y deprimiente, respectivamente.

B) Efectos en la Vegetación

La acción del H_2S en las plantas se manifiesta por agotamiento de las hojas y retoños jóvenes, agotamiento basal y marginal de los meros jóvenes. Las hojas maduras no quedan afectadas. Las diferentes especies presentan respuestas muy diferentes a los efectos del H_2S . La temperatura es tan importante como la concentración, aumentando los daños con las temperature.

C) Efectos en los Materiales

El H_2S afecta fundamentalmente a la plata por la formación de sulfuros, incluso a niveles de concentración muy bajos del orden de 0.01 a 0.02 ppm. El efecto perjudicial del H_2S se ve fuertemente potenciado por la presencia

de humedad y la presencia de hierro actúa también de fuerte catalizador.

2.6.6 Fluoruros

A) Efectos en la Salud

Según la concentración y el tiempo de la exposición del organismo humano a los efectos del fluor, las afecciones producidas tienen carácter agudo y crónico.

Principales Efectos de los Compuestos Fluorados en el Organismo Humano y Animal

Efecto	Dosis	Tiempo	Concentración
Muerte	Única	2 a 4 horas	2500 a 5000 mg
Lesiones de riñón	Repetida	Meses	100 ppm (2)
Lesiones de Tiroides	"	Meses o años	50 ppm
Pérdida de peso	"	4 o más años	40 ppm (3)
Fibrosis invalidante(1)	"	10 a 20 años	2 a 30 mg o más
Rotadura de esmalte dental	"	Primeros 5 años de vida	2 a 8 ppm o más

(1) Efectos en el hombre

(2) En el agua

(3) En los alimentos

a) Afecciones Agudas

Se presentan daños en la piel y del pulmón. La reacción violenta del F_2 con la piel da lugar a una quemadura térmica. Por el contrario, las soluciones de HF producen quemaduras químicas de lenta evolución y muy dolorosas. En casos agudos, los tejidos delicados del pulmón pueden quedar intensa e incluso totalmente, afectados por altas concentraciones de F_2 o HF.

La intensidad creciente de los efectos agudos en el hombre a diversas concentraciones se han resumido a continuación:

3 ppm: No se notan efectos locales inmediatos.

10 ppm: Muchas personas experimentan molestias.

- 30 ppm : Todos los afectados se quejan y rehúsan fuertemente su permanencia en la zona.
- 50 ppm : Irritación clara de la conjuntiva, conductos nasales, faringe y traquea, ya a los pocos momentos de exposición.
- 120 ppm : Concentración máxima tolerada por dos sujetos (55) durante menos de un minuto. Se presentan los síntomas del caso anterior y además escozor en la piel.

Los límites máximos de concentración de F_2 y HF que pueden ser inhalados en un breve periodo de tiempo único, de acuerdo con las normas del Comité de Toxicología son las siguientes :

Agente	Tiempo		
	10 min	30 min	60 min
Fluor (F_2) ppm	15	10	5
Fluoruro de Hidrógeno (HF) ppm	20	10	8

Los límites anteriores se entienden como objetivos en la planificación de operaciones y no para obreros en sus tareas normales ni para el público en general.

b) Riesgos Crónicos

La medida de la cantidad de fluoruros excretados en la orina ha demostrado ser un índice valioso del alcance de la exposición y un medio de prevenir daños acumulativos. Una concentración media de F que no exceda de 5 mg/l, que corresponde a una absorción diaria de 5 mg, no produce esclerosis ósea en los obreros. La cantidad de fluoruros que retiene un individuo que aspira aire conteniendo 2.5 mg de polvos fluorados por m^3 es, aproximadamente 5 u 6 mg. Según lo antes indicado anteriormente, las concentraciones en atmósferas industriales no sobrepasan con frecuencia 10 mg/m^3 . Los estudios realizados en personas que viven cerca de instalaciones que emiten humos o polvos fluorados, indican que en salvo pocas excepciones, su salud no se ha visto afectada.

B) Efectos en los Animales

Los compuestos fluorados perjudican al ganado y animales domésticos. Tales efectos no se derivan de la inhalación de flúor, sino de la ingestión de

pastos y forrajes contaminados. La toxicosis por flúor se manifiesta inicialmente por el notado dental. Si la ingestión de flúor es alta, se produce un crecimiento óseo normal, dado que el flúor tiene una clara afinidad por el calcio, por lo que interfiere en el desarrollo normal de los huesos. Los signos de fluorosis avanzada son lesiones óseas, pérdidas de peso, disminución de fertilidad y de producción de leche.

La fluorosis puede evitarse reduciendo el flúor en la ración total diaria del ganado a 30 ó 50 ppm, lo que a su vez ha de hacerse evidentemente mediante el apropiado control de la contaminación ambiental, para evitar la contaminación de los pastos y forrajes.

c) Efectos sobre la Vegetación

De los diversos compuestos del flúor que pueden contaminar la atmósfera, el HF es el más peligroso y perjudicial, y el menos, el polvo de CaF_2 . Los fluoruros solubles penetran y se acumulan en las hojas vegetales, produciendo necrosis foliar, clorosis y retrasos de crecimiento.

Existe una gran diferencia de sensibilidad entre las diferentes especies vegetales, incluso dentro de la misma especie, se presenta también diferencias notables de susceptibilidad al flúor, debido tal vez a las variaciones genéticas ó a diferencias fisiológicas basadas en el medio ambiente. Puede decirse, sin embargo, que los daños se presentan siempre en las hojas jóvenes.

2.6.7. Plomo (Pb)

A) Efectos sobre la Salud Humana y el Metabolismo

Las manifestaciones de envenenamiento por plomo son variadas y se reflejan en diversos sistemas orgánicos. Entre las mismas hay que destacar; anemia, cólicos abdominales agudos, encefalopatías agudas y crónicas neuropatías periféricas y crónicas. Los síntomas de envenenamiento agudo por plomo remiten al cesar la exposición al plomo y por la terapia adecuada. Sin embargo, en los niños la encefalopatía aguda es seguida por secuelas neurológicas permanentes en al menos el 25 % de los casos.

En casi ninguno de los casos de envenenamiento por plomo ha sido posible cuantificar la cantidad de plomo absorbida antes de iniciarse los síntomas. Sin embargo estudios llevados a cabo parecen indicar que el nivel de plomo en la sangre es un índice bastante sensible de una reciente absorción de Pb.

Se han presentado síntomas evidentes de envenenamiento por plomo, con niveles en sangre por debajo de $80 \mu\text{g}/100 \text{ g}$.

En casos agudos en niños los valores hallados fueron de $170 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ pasando a $110 \mu\text{g}/100 \text{ g}$ en 99 casos de encefalopatías.

Hay que señalar que aunque las cantidades ingeridas por el organismo son altas por ingerirlos por alimentos que por aire respirado, sin embargo el cuerpo absorbe un porcentaje mayor del plomo inhalado (10.5) que el plomo ingerido ($\sim 10\%$).

Desde el punto de vista del metabolismo, se ha comprobado que el plomo no tiene ninguna función biológica beneficiosa. Todos los datos experimentales indican que los efectos metabólicos de pequeñas concentraciones de plomo son de tipo inhibitorio adverso. Por consiguiente, un aumento del contenido de plomo en el cuerpo viene acompañado de un riesgo mayor de empoisonamiento en la salud.

B) Efectos en la Vegetación

Las plantas no absorben cantidades sustanciales de plomo en el suelo o de la atmósfera, ni tampoco de los depósitos sobre sus hojas. La concentración en las tierras tiene efecto muy pequeño, sobre el contenido de plomo en el tejido vegetal, salvo en determinados casos en que los suelos llevan altos contenidos de materia ácida y orgánicos.

2.6.8 Hidrocarburos

A) Efectos sobre la Salud

El estado actual de conocimientos no demuestra ningún efecto directo sobre la salud por contaminación directa de hidrocarburos en el aire, aunque muchos de los efectos atribuidos a neblinas fotoquímicas están relacionadas indirectamente con los niveles de contaminación de estos hidrocarburos.

B) Efectos en la Vegetación

Se han observado algunos efectos adversos, a concentraciones de etileno de 0.001 a 0.5 ppm en periodos de duración de 8 a 24 horas.

2.6.9 Oxidantes Fotoquímicos

Los oxidantes fotoquímicos son el resultado de una compleja serie de reacciones atmosféricas iniciadas por la luz solar. Cuando se acumulan en la

atmósfera sustancias orgánicas reactivas y óxidos de nitrógeno y fueran expuestas a los componentes ultra violeta de la luz solar, se forman nuevos compuestos, entre ellos el ozono y los nitratos de peroxiacilo.

La absorción de la energía de la luz ultravioleta por el óxido de nitrógeno produce su disociación a óxido nítrico y a átomos de oxígeno, que en su mayoría reaccionan con el oxígeno para dar ozono. Una pequeña parte de los átomos de oxígeno y el ozono reaccionan también con ciertos hidrocarburos para formar otros productos contaminantes de los que ya se ha mencionado anteriormente.

A) Efectos sobre la Salud

En las condiciones existentes en las zonas en que se han realizado estudios se ha observado cierta disminución en la capacidad física para concentraciones medias de oxidantes comprendidos entre 0.03 y 0.3 ppb. Se han producido asimismo con mayor frecuencia ataques de asma en pacientes sujetos a esta afección cuando las concentraciones alcanzaron puntos de 1.13 ppb, correspondiente a valores máximos entre 0.05 y 0.06 ppb. Ciertas irritaciones oculares han tenido lugar en experimentos con sujetos sensibles a concentraciones medias de 0.03 a 0.05 ppb con picos de 0.1 ppb.

B) Efectos en la Vegetación

Se han observado efectos perjudiciales en plantas sensibles a este tipo de influencia a concentraciones de 0.05 ppb durante cuatro horas de duración.

C) Efectos en los Materiales

Algunos materiales, especialmente el caucho, son muy sensibles a bajas concentraciones de ozono. También se ven afectados la celulosa en los tejidos y ciertos tintes. La cuantificación de los efectos no se ha hecho en forma precisa, pero se han presentado a los niveles de concentración de oxidantes presente en muchas atmósferas urbanas.

2.7 Criterios y Normas Ecologicas para la Protección del Medio Ambiente

La composición natural media de la capa inferior de la atmósfera, de importancia directa para el hombre y su medio ambiente, esta siendo alterada por distintos compuestos, que procedentes de numerosas materias primas utilizadas en procesos industriales y actividades humanas, acaban parando a la atmósfera en forma contaminante.

El grupo intergubernamental sobre la vigilancia del medio ambiente de las Naciones Unidas, ha aprobado una serie de criterios para seleccionar los contaminantes prioritarios indicadores de la calidad del aire.

Los criterios adoptados son los siguientes :

- La gravedad de los efectos reales posibles sobre la salud y el bienestar del hombre, sobre el clima y sobre los ecosistemas terrestres o acuaticos teniendo en cuenta la estabilidad de los ecosistemas en cuestión.
- la persistencia y resistencia a la degradación del medio ambiente, así como la acumulación en el hombre y las cadenas alimentarias.
- La posibilidad de que la transformación química en los sistemas físicos y biológicos, originan sustancias secundarias más tóxicas o más perjudiciales al compuesto original.
- Omnipresencia o movilidad.
- Frecuencia y magnitud de la exposición.
- El posible valor de la información obtenida, para evaluar el estado.
- Posibilidad de utilizarlo, por su distribución generalizada, para realizar mediciones uniformes dentro del programa mundial, regional o subregional.

Con estos criterios se eligieron para la Red Municipal de Vigilancia los siguientes contaminantes del air:

SO ₂	CO
O ₃	CO ₂
NO	Particulas en suspensión
NO ₂	Asbestos
Pb	Hidrocarburos reactivos

La calidad del aire basada en los criterios higienico-sanitarios y de la protección al medio natural, se determino midiendo los niveles de emisión e inmisión de contaminantes en la atmósfera.

Se entiende por nivel de emisión, la concentración máxima admisible de cada tipo de contaminante de los vertidos a la atmósfera, medida en peso o en volumen. El nivel de emisión puede venir también fijado, por peso máximo de cada sustancia contaminante vertida a la atmósfera, en un periodo de tiempo determinado o por unidad de producción.

En cuanto a los niveles de inmisión se entiende como tales a los límites máximos tolerables de presencia en la atmósfera de cada contaminante aisladamente o asociado a otros.

Los niveles de emisión tolerables no deben ser nunca uniformes para todas las actividades ya que en cada una de ellas varían las características del proceso, materias primas utilizadas, condiciones de las instalaciones y la composición de los afluentes. ²⁶

NORMAS MEXICANAS PARA LA PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

NTE-CCAT-007/88 . Establece los niveles máximos permisibles de emisión de partículas a la atmósfera, de monóxido de carbono, dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, provenientes de procesos de combustión en fuentes fijas que utilizan combustóleo, cuando los gases de combustión no estén en contacto directo con los materiales del proceso.²²

COMBUSTION. Oxidación rápida que consiste en la combinación de oxígeno con aquellos materiales o sustancias capaces de oxidarse, dando como resultado la generación de gases, luz y calor.

COMBUSTIBLE. Combustible que se obtiene como residuo de la destilación del petróleo y satisface una especificación de calidad establecida.

ZONA CRITICA. Es aquella que por sus características topográficas y meteorológicas se dificulta la dispersión o se registren altas concentraciones de contaminantes en la atmósfera.

CONTAMINANTE	NIVELES MAX. DE EMISION PERMISIBLES	
	ZONAS CRITICAS	RESTO DEL PAIS
partículas	Kg/m ³ (a)	Kg/m ³ (a)
	4.240	6.740
CO	0.600	0.660
SO ₂	57.000	95.000
NO _x (b)	6.600 (c)	6.600 (c)
	8.000 (d)	8.000 (d)

- a) Kg de contaminante por cada m³ de combustóleo consumido a 25 °C .
- b) Los óxidos de Nitrógeno expresados como dióxido de Nitrógeno, los niveles máximos permisibles se especifica de acuerdo a la capacidad del equipo en 2 grupos.
- c) Para equipos de combustión de capacidad hasta de 106×10^6 Joules/hr.
- d) " " " " " " mayor a 106×10^6 " "

NTE-CCAT-005/88 .Establece los niveles maximos permisibles de emisión de partículas, de CO, SO₂ y NO_x provenientes de los procesos de combustión de diesel de fuentes fijas, cuando los gases de combustión no esten en contacto directo con los materiales del proceso.²²

DIESEL. Aceite combustible que resulta de la destilación del petróleo cuando el 10 % destila a temperatura minima de 200 °C y el 90 % destila a temperatura maxima a 360 °C y cumple una especificación de calidad establecida.

CONTAMINANTE	NIVELES MAX. PERMISIBLES	
	ZONAS CRITICAS	RESTO DEL PAIS
	Kg/m ³ (a)	Kg/m ³ (a)
particulas	0.260	0.300
CO	0.606	0.665
SO ₂	17.000	34.000
NO _x (b)	2.700	3.000

a) Kg de contaminantes por cada m³ de diesel consumido a 25 °C .

b) Los óxidos de Nitrogeno expresados como bioxidos de nitrogeno.

NTE-CCAT-008/88 . Establece los niveles maximos de emisión a la atmósfera de partículas, de CO, SO₂ y NO_x provenientes de la combustión de gas natural de fuentes fijas.²³

CONTAMINANTE	NIVELES MAX. PERMISIBLES	Kg/10 ⁶ m ³
particulas	100	
CO	500 (c)	
	640 (d)	
SO ₂	10	
NO _x (b)	2250 (c)	
	9000 (d)	

- a) Kg de contaminante por cada millon de m³ de gas natural.
- b) Los óxidos de nitrógeno expresados en bioóxidos de nitrógeno.
- c) Para equipos de combustión de capacidad hasta de 106 X 10⁹ Joules/hr
- d) " " " " " " mayor a 106 X 10⁹ " "

NFE-CGAT-009/68. Establece los niveles máximos permisibles de emisión de partículas sólidas a la atmósfera provenientes de fuentes fijas, con excepción de las originadas en los hornos de calcinación en la industria del cemento.²²

Flujo de Gas m ³ /min	Niveles Máximos Permisibles de Partículas	
	Zonas Críticas	Resto del País
5	1,536 Mg/Nm ³	2,304 Mg/Nm ³
10	1,148	1,722
20	858	1,287
30	724	1,089
40	641	982
50	584	876
60	541	811
80	479	715
100	437	655
200	326	489
500	222	333
600	182	273
1000	166	249
3000	105	157
5000	84	127
8000	69	104
10000	63	95
20000	47	71
30000	40	60
50000	32	48

La interpolación y extrapolación de los datos no contenidos en esta tabla para zonas críticas esta dada por:

$$R = 3020 \quad C \quad (\text{exp.} - 0.42)$$

y para el resto del país

$$E = 4529.7 C (\text{exp.} - 0.42)$$

donde :

E = Nivel máximo permisible de emisión en Mg/N m^3

C = Flujo de gases en la fuente en m^3/min

La emisión esta referida a 25°C y 760 mm Hg. base seca.

respecto a los desechos en aguas residuales, las características que deben que tener, por ejemplo en la industria del acero son: 24

Parametros	Límites Máximos Permisibles	
	Promedio diario	instantaneo
pH	6 - 9	6 - 9
Sólidos suspensos totales (mg/l)	30	36
Grasas y aceites	50	70
N - amoniacal como (NH_4) en mg/l	30	36

NTE- CCA-018/88. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de fuentes fijas.²⁵

Parámetros	Límites Máximos Permisibles	
	Promedio diario	instantáneo
pH	6 - 9	6 - 9
Sólidos totales suspendidos mg/l	30	35
Cu mg/l	1	1.2
Cr "	1	1.2
Zn "	10	12
Cd "	0.01	0.012
Pb "	5	7
Grasas y aceites mg/l	10	12
As mg/l	5	6

Los siguientes datos son los límites máximos permisibles de elementos contaminantes, adoptados por la EPA (Environmental Protection Agency) y aplicados en la evaluación de la calidad del aire por el INAIN (Instituto Autónomo de Investigaciones Ecológicas), así como las técnicas analíticas para la evaluación de dichos contaminantes:

PARAMETRO	TECNICA ANALITICA	SENSIBILIDAD	LIMITE MAX. PERMISIBLE
CO	Plata coloidal en suspensión	12.5 ppm	13 ppm
Pb	Técnica de la Látizona	0.05 mg/m ³	0.15 mg/m ³
Oxidantes Totales	Método de Haagen-Smit	0.05 ppm	0.24 ppm
O ₃	Método DPD	0.02 ppm	0.11 ppm
NO ₂	Método de Griess-Saltman	0.14 ppm	0.21 ppm
SO ₂	Método de West-Gaeke	0.01 ppm	0.13 ppm

2.8 Planteamiento del Problema y Posible Solución de la Contaminación generada por los Procesos de Fusión

La contaminación generada por los procesos de fusión son los gases y las partículas sólidas, que están constituidas por una variada composición química. Sabemos que cada uno de éstos componentes afectan de alguna manera la salud y el medio ambiente. Los contaminantes son generados por las operaciones unitarias que conforman el proceso de fusión, tales como: la carga del horno, la fusión de la carga, refinación y purificación del metal por inyección de oxígeno, el escoriado y vaciado. Además si a esto le sumamos que los materiales de carga no son puros, así como los combustibles utilizados por algunos hornos también no lo son. Considerando todo esto y que los hornos de fusión operan de diferente manera, se recomienda realizar la siguiente evaluación, aunque se hizo para un horno de arco eléctrico, puede ser usado para los otros procesos de fusión, antes de hacer una inversión en la instalación de sistemas de control de contaminación.

Realizar Mediciones de Campo.

Primera mente se debe efectuar un recorrido general, tanto en el interior como en los alrededores de la planta, con el propósito de detectar las fuentes de emisión de contaminantes y sus descargas en el interior y exterior de la planta. Para facilitar el análisis de las observaciones primarias es recomendable tomar fotografías de las condiciones observadas. Las fotografías ilustrarán el problema actual de las emisiones generadas en la planta sometida a estudio y mostrarán si hay necesidad de instalar un sistema de control de contaminación por emisiones de humo y polvo, lo cual será verificado con las mediciones de opacidad y el análisis de las concentraciones de polvo en el ambiente.

Medición de la Opacidad

Para la medición de la opacidad de una planta se debe considerar por reglamento la interpretación de la carta de humo de Ringelmann. Estas proporcionan diferentes tonalidades de gris, por medio de las cuales pueden compararse las columnas de humo de las chimeneas o zonas de emisión de humos. La oscuridad u opacidad aparente de una columna de humo, depende de la concentración de contaminantes, tamaño de partículas, de las condiciones naturales y de las partículas. Las cartas de humo dan las tonalidades de gris equivalentes

ta :

No. de Carta	% de Opacidad
0	0 chimenea sin emisión alguna
1	20
2	40
3	60
4	80
5	100 chimenea que emite humo negro

El humo se debe observar cuando sale de la chimenea o zona de emisiones para compararse con el número de tarjeta a que corresponda con mayor precisión.

La carta de humo de Ringelmann generalmente se utiliza para evaluar emisiones negras o grises, el principio de opacidad equivalente hace posible su utilización para evaluar otros colores de humo. El reglamento se refiere a cualquier emisión visible de tal opacidad que oscurezca la visibilidad del observador en escala comparativa a la carta de humo de Ringelmann. La opacidad se define como el grado en que la luz transmitida se oscurece.

Como se realiza una Evaluación

Como todo principio de un estudio lo primero que hay que definir, es el objetivo que se persigue:

Objetivo: Establecer los criterios específicos a seguir para la detección, evaluación y control de emisiones de humos y polvos contaminantes para el medio ambiente generadas en el área de fusión de una planta de fundición.

El alcance de realizar ese estudio está constituido por los eventos siguientes que se enumeran :

1er. Evento

Detección de las fuentes de emisión y observaciones de campo:

- Observación y análisis de opacidad en el interior y exterior de la planta (Mediciones de Campo)
- Análisis de las concentraciones de polvo en el ambiente
- Comparación de datos obtenidos con la reglamentación existente
- Recomendaciones

2o. Evento

Diseño del Sistema de Control de Contaminación:

- Datos de los hornos y del área de fusión
- Selección del tipo de sistema de control de contaminación
- Sistema de Captura de Humos para Hornos
- Volúmenes de extracción de los hornos
- Procesos del Sistema de captura
- Control de emisiones fugitivas
- Cálculo de volumen de la campana tipo cobertizo
- Análisis de las emisiones fugitivas

3er. Evento

Configuración del Sistema de Control de Humos

- Arreglo del Sistema
- Modificaciones del área de fusión
- Especificaciones del equipo
- Estimación de costos

4o. Evento

Análisis del cumplimiento con la reglamentación

- Razón de peso de las emisiones del proceso
- Concentraciones de polvo a la salida de los colectores
- Análisis de opacidad de la planta
- Análisis de concentraciones de polvo en el ambiente

5o. Evento

Consideraciones de Negocios en las especificaciones de los colectores de Bolsa

- Técnicas de costeo del ciclo de vida
- Especificaciones y costeo del ciclo de vida
- Costos de operación
- Costos de reemplazo de bolsas
- Consideraciones de mantenimiento

Después de revisar la operación de la planta, observar las emisiones de humo y determinar las concentraciones de polvo, se concluye o no, si hay la necesidad de instalar sistemas de control de contaminación del aire en la planta que se ha de considerar.

Para cada proceso de fusión, la evaluación es particularmente específica ya que aun, para un mismo proceso las condiciones de operación son diferentes, las siguientes recomendaciones son básicas para la instalación de un sistema de control de contaminación:²⁷

- Configuración del sistema
- Sistema de captura de humos de los hornos
- Ductería de los hornos
- Campanas tipo cobertizo
- Modificaciones al edificio
- Ductería de las campanas
- Ventiladores principales
- Colectores de bolsa
- Sistema de manejo de polvo
- Separar y/o enclaustrar las áreas problema para manejar un volumen definido de contaminantes (para un mejor control)
- Para la planta sometida a estudio se recomienda cubrir con lamina las aberturas localizadas arriba de los rieles de la grua
- En los casos en que la rebaba y/o chatarra utilizada para la carga de los hornos, este humeaa o impregnaaa de aceite antes de vaciarse en dichos hornos, se recomienda usar precalentadores de rebaba y chatarra con un sistema de extracción y colección de polvos incluido
- Tiempo de preparación de las especificaciones y emisión de pedidos para la compra del equipo
- Tiempo de entrega de cotizaciones por los proveedores
- Selección del proveedor y autorización de fondos para la adquisición del sistema
- Tiempos de entrega e instalación de equipo por el proveedor

- Tiempo requerido de la planta para la instalación del equipo.
- Pruebas funcionales y entrega de equipos.

Realizando este estudio tan detallado, se reducen las emisiones contaminantes, hay que hacer una fuerte inversión, pero a largo plazo esto sería benéfico, por cualquier aspecto que se le mire; en lo económico, en lo ecológico y en la producción de la planta y en la propia salud de los trabajadores, y no habría la necesidad de reubicar la planta, porque de todas maneras se tendría que hacer un estudio parecido, para cumplir con las normas y reglamentos.

Otras recomendaciones :

Estudiar la posibilidad de utilizar oxígeno líquido, para reducir las emisiones de gases y humos metálicos.

Mejorar la preparación de la carga, reemplazando la carga de mineral de hierro en los hornos que lo utilicen, por algún tipo de aglomerado como los pellets o algún otro tipo, especialmente preparado para la carga.

Desarrollar y mejorar las técnicas para el tratamiento y aprovechamiento del polvo generado por los hornos de hogar abierto.

Desarrollar equipos para precalentar la carga, con un quemador de gases parcialmente reduciendo esos gases y reciclando el polvo colectado, a través de un circuito cerrado de producción.

2.5 Equipo Anticontaminante y su Costo

2.9.1 HORNO DE CUBILOTE

Partiendo de la base de que se requiere colectar el 80 % de las emisiones totales generadas en un horno de cubilote, considerese recomendable el ataque del problema instalando un sistema de control de contaminación en 2 ó 3 etapas.

La primera etapa consiste en la instalación de una cortina hidráulica (figura 11 y 12). Mediante esta primera etapa se pueden alcanzar mejoras importantes en la reducción de las emisiones. La cortina hidráulica lavará la ceniza y eliminará las partículas de tamaño mayor y una parte de material fino. Se estima que las eficiencias que se pueden obtener de la cortina hidráulica, son del orden de 30 a 70 % y en algunas ocasiones podrían llegar al 80 %, sin embargo, no existen posibilidades de predecir el nivel de esta eficiencia, el cual depende de las características de la carga y sus impurezas. La cortina hidráulica puede servir como tapa seca, con lo cual se derivan los gases generados por el horno hacia un sistema de colección de mayor eficiencia.

Segunda etapa es donde se requiere un colector húmedo tipo venturi, que se prefiere sea de garganta variable, acoplado al cuerpo del horno a través de un codo de toma y de un enfriador tipo orificio que enfría los gases provenientes del horno para que estos entren al colector a una temperatura conveniente. Se tiene un extractor en el lado limpio del sistema, que es el que proporciona la energía necesaria para vencer la caída de presión a través del colector y los componentes del sistema; dicho extractor descarga a su vez los gases limpios a través de una chimenea al final del sistema. En combinación con el sistema descrito para los gases, se tiene el circuito cerrado para el agua a través de un sedimentador y bombas cuya función es reducir el consumo de agua al mínimo y separar los polvos colectados en forma de lodo. En la figura 13 se presenta un colector Venturi múltiple, de garganta variable, que permitirá operar en la segunda etapa con una eficiencia media y en la tercera etapa con alta energía para dar el máximo de eficiencia de colección de partículas en caso de requerirlo.

El colector venturi permitirá cambiar de un nivel de energía intermedio

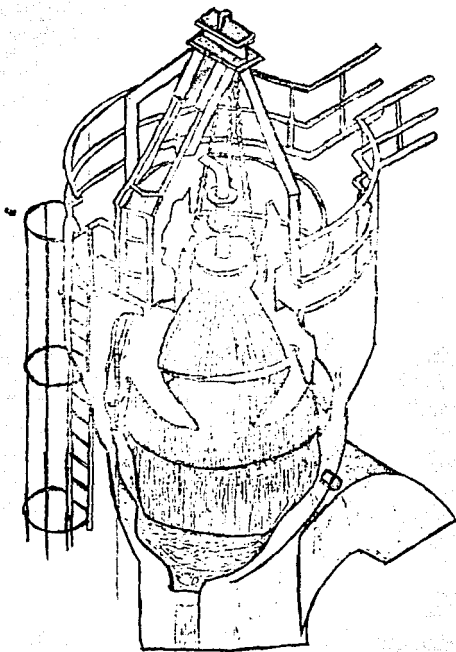


FIG. 11

Cortina Hidráulica para un Horno de Cubilote

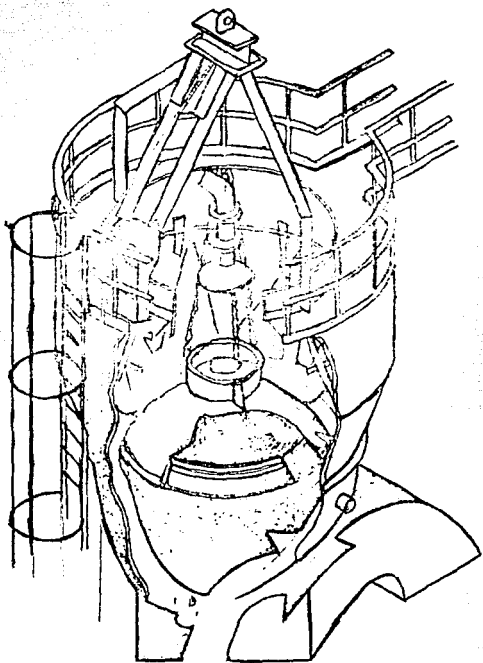


FIG. 12

Cortina Hidráulica (tapa seca) para un Horno de Cubilote

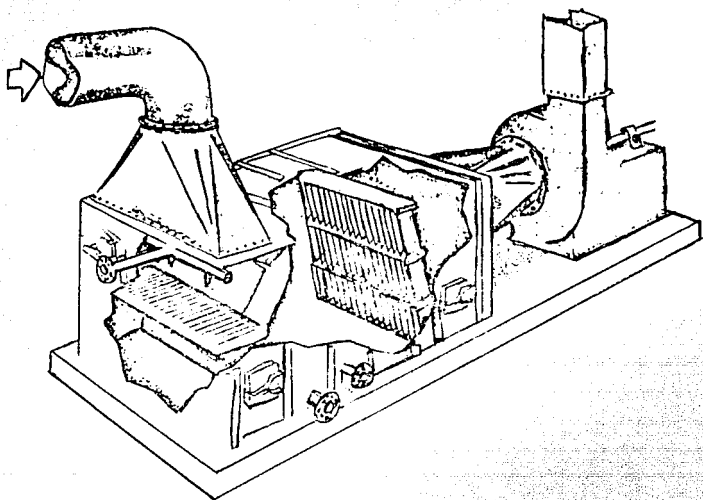


FIG. 13

Colector tipo Venturi para un Horno de Cuhilote

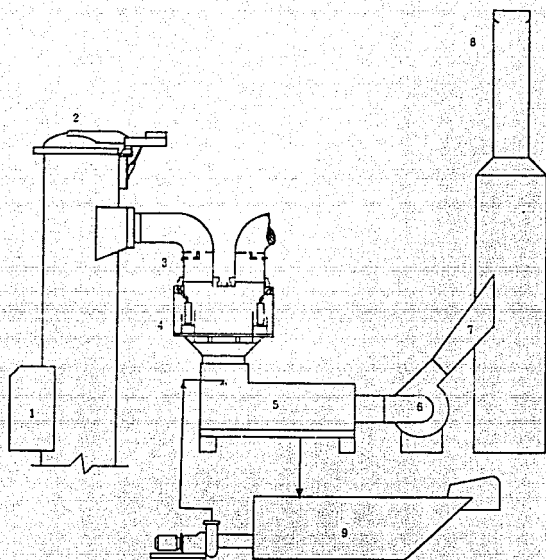


FIG. 14

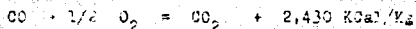
Sistema de Control de Contaminación para un Horno de Sulfato

- | | |
|------------------------|-----------------------------|
| 1.- Horno | 6.- Extractor |
| 2.- Cortina Hidráulica | 7.- Ducto hacia la Chimenea |
| 3.- Codo de toma | 8.- Chimenea |
| 4.- Colector Venturi | 9.- Sedimentador |
| 5.- Soplador | |

a un nivel alto de energía, tan solo efectuando modificaciones a los elementos lavadores ó gargantas formados de roscillos.

En los casos en que se deseara iniciar la instalación con la seguridad etapa, tal vez se optaría por usar una tapa seca en lugar de la cortina hidráulica. Cuando se tienen dos hornos de cubilote en una planta y se operan en forma alterna, el sistema de colección, ó sea del colector en adelante es común para los dos hornos y tan solo se requiere adicionar una compuerta selectora a la entrada del colector para conectar uno de los dos a la vez.

Un sistema muy común, consiste en extraer los gases de escape desde la chimenea y parte del aire insuflado al horno para combinarlos, provocando una reacción de combustión con desarrollo de calorías las cuales sirven para precalentar la parte restante de aire insuflado. La reacción no sólo provoca las calorías de precalentamiento del aire, sino permite la eliminación del gas tóxico CO y su transformación en CO_2 conforme a la relación conocida:



La transferencia de calorías desde los gases quemados al aire insuflado se obtiene mediante intercambiadores de calor, como lo indica en la figura 15, que representa un sistema de ciclo cerrado; los gases calientes que salen del horno (1), pasan através de un ducto (17) ala cámara de combustión (3) en la cual entra aire procedente del soplador (15). Este ultimo aspira aire desde la atmósfera y lo impulsa por medio del ducto (7) en mayor parte al precalentador (4) y en menor parte a la cámara de combustión (3), favorecida por el encendedor (2) en esta ultima se provoca, por la combinación de los gases procedentes desde el horno (1) y el ducto (17) y el aire del soplador (15), una combustión o reacción entre el CO y el O_2 con formación de CO_2 y substracción de calor a expensas de las calorías contenidas en los gases. El nuevo CO_2 formado y los demás gases calientes que recorren las tuberías del precalentador (4) transmiten calor al aire soplado desde el soplador (15) y que lame exteriormente la superficie de los tubos. Después de dejar las tuberías del precalentador (4), los gases salen hacia el tubo venturi (8), donde son acelerados y enfriados y enfriados por medio de líquido pulverizado que entra al venturi através del tubo (9) y que es

impulsado por la bomba (14). Los gases de salida del Venturi son aspirados por el ventilador (11) y expulsados ya limpios, a la atmósfera por la chimenea (10). El líquido contaminado que descarga a la fosa de almacenamiento y filtrado (12) es nuevamente aspirado a través del filtro (13) por la bomba (14) y puesto nuevamente en circulación.

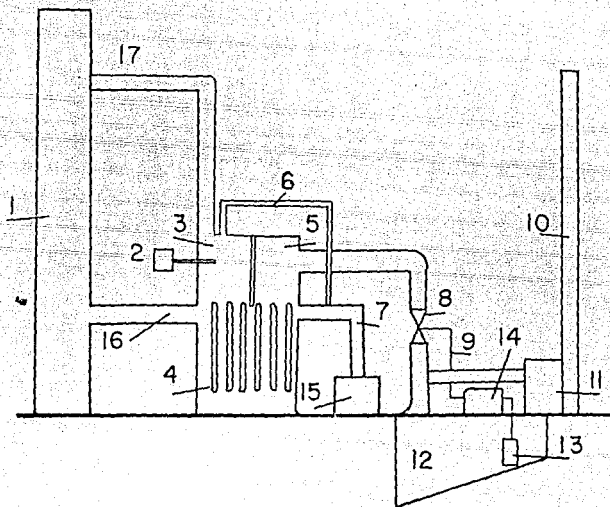


FIG. 15

Sistema de Control de Emisión de gases para un Horno de Cubilote

2.9.2 HORNO DE ARCO ELECTRICO

Los factores principales que determinan la selección del equipo de colección de polvos son;

- a) Forma de fusión
- b) Especificaciones metalúrgicas
- c) Limitaciones de espacio en el horno
- d) Estado ó condiciones del horno
- e) Tipo de campana de extracción de polvos y gases

A) Campanas de Extracción

Los tipos de campana (cubiertas) que generalmente se usan son:

1.- Campana Funcion

Debido a los altos volúmenes de aire que se requieren para esta solución, este tipo de campanas se han usado poco en el pasado. Actualmente, debido a la necesidad de captación de humos durante la carga, descarga ó vaciado y durante la operación de eliminar escoria este tipo de campana esta teniendo la mayor aceptación. Se puede mencionar que las plantas donde se producen aceros aleados o aceros especiales, se estan volviendo a utilizar estas campanas, ya que no interfieren con la metalúrgia de la fusión.

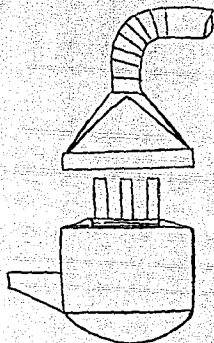


FIG. 16

Ventajas

- a) No interfiere físicamente con el horno
- b) Captación durante la carga, vaciado y escoriado
- c) No produce cambio alguno en la metalúrgia
- d) Bajo costo de mantenimiento

Limitaciones

- a) Necesita grandes volúmenes de aire
- b) Queda sujeto a corrientes cruzadas de aire que alteran la captación de humos
- c) Los humos que pueden obstruir la línea de visión del operador de la grúa durante la operación de carga y vaciado

2.- Campana Doble Envolvente
 Modificación al tipo de campana superior y patentada por Pangborn Div, es una mejora a la tipo estándar.

Ventajas

- a) Mejor uso de aire de ventilación (puede resultar en el uso de menor cantidad de aire que en el de campana superior).
- b) Se logra captar algo de humo durante la carga del horno.
- c) Paso inferior que el de tipo de campana superior.

Limitaciones

- a) La introducción de los electrodos queda limitada
- b) Se requiere aislar con refractario ó enfriar a base de agua las secciones alrededor de los electrodos

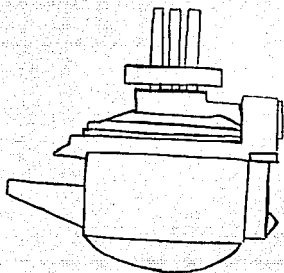


FIG. 17

3.- Campana Tipo Snorkel

Este tipo de campana no es sino una variación del cuarto orificio con resultados similares en la extracción directa del horno

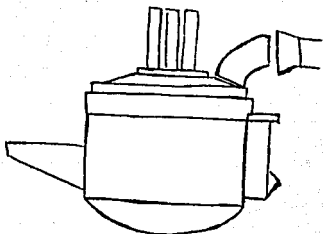


FIG. 18

Ventajas

- a) Se logran básicamente los mismos resultados que se tienen al usar el cuarto orificio, pero sin afectar la metalurgia de la fusión.

Limitaciones

- a) Requiere mayores volúmenes de aire que el sistema del cuarto orificio.

4.- Campana Lateral

Este tipo de campana esta diseñada para captar los gases a medida que se desprenden del horno, ya que captura los gases que se existen alrededor de los electrodos, así como en las puertas del horno. El enfriado de los gases se logra, en algunas ocasiones, mediante la dilución de estos con aire del medio ambiente.

Ventajas

- a) En algunos hornos se puede lograr el cambio del techo del horno sin necesidad de quitar la campana lateral.
- b) No interfiere con la introducción del electrodo
- c) Se logra una buena captación de los gases alrededor de los electrodos
- d) Requiere un menor volumen de aire que los dos tipos de campana mencionados anteriormente.
- e) No afecta la metalurgia del metal
- f) No interfiere el acceso al sistema de enfriamiento del horno.

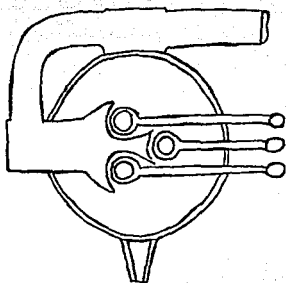


FIG. 19

Limitaciones

- a) Depende de la posición de los electrodos; en algunos casos es difícil este tipo de campana debido a ello, en esos casos se modifica el diseño de la campana lateral.

5.- Cuarto Orificio

Con este sistema se tiene una evacuación directa en el interior del horno de los gases que se generan, sin limitar en forma alguna la introducción de los electrodos. Tanto el coque de salida, así como la parte del ducto, se enfría a base de agua para asegurar una combustión completa del monóxido de carbono.

Ventajas

- a) Requiere volúmenes mínimos de aire cuando se usa en el sistema un enfriador por radiación.
- b) El área del techo del horno necesaria para instalar este sistema es mínima.

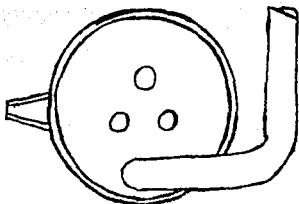


FIG. 20

c) La duración del techo del horno aumenta

Limitaciones

- a) En algunos casos afecta la metalurgia del metal
- c) Al utilizar un sistema de control muy preciso, es necesario regular la presión interna del horno.

6.- Campana Combinada

Este sistema está diseñado para obtener las ventajas del tipo de campana lateral y las de cuarto orificio. Una buena combustión secundaria se puede lograr sin mantener una presión negativa muy alta dentro del horno. El enfriado de los gases se logra mediante aire de dilución.

Ventajas

- a) Requiere volúmenes bajos de aire (pero mayor que en el cuarto orificio)
- b) El sistema de enfriamiento de gases puede ser por radiación ó atomización con agua.
- c) No afecta la Metalurgia
- d) No afecta la introducción de los electrodos.

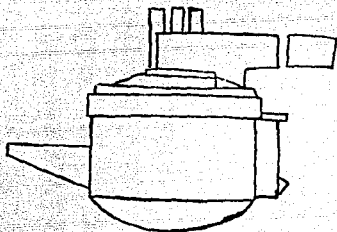


FIG. 21

Limitaciones

- a) Es necesario contar con un sistema de control muy preciso para regular la presión interna del horno en adición a la succión en los electrodos.
- b) Mayor peso sobre el horno, comparación con el cuarto orificio.

B) Colectores Filtro

El control de emisiones de un horno de arco eléctrico implica la captación de partículas muy finas con un alto contenido de óxido de hierro, dispersas en el flujo del gas o aire, estas emisiones varían de temperatura, se cantidaa de polvo y con el proceso en sí de fusión. El equipo más eficiente para

eliminar las partículas sólidas, independientemente de las variables antes mencionadas, es sin lugar a dudas, el Colector de Bolsas.

La práctica y forma de operar los hornos, el tamaño de ellos, así como el número de estos, determinan en general si el sistema será intermitente ó será continuo, así como si se operara a presión o succion o succión.

Generalmente, un colector de bolsas en operación intermitente se usa cuando se trata de un solo horno, siempre y cuando el tiempo de fusión no sea mayor de 2 ó 2,5 hrs, así también, el colector deberá sacudirse para limpiarse, esto comúnmente se hace cuando el horno se esta vaciando o volviendo a carga.

El tiempo de fusión determina la relación de aire a filtrar entre la tela filtrante, lo que en sí nos da el tamaño del colector de polvos a utilizar. Como ejemplo podemos ver el cuadro siguiente:

Tiempo de Fusión	Relación Aire : Tela
de 0 a 1 hr.	2.75 : 1
de 1 a 1.75 hr.	2.5 : 1
de 1.75 a 2.5 hr.	2.0 : 1

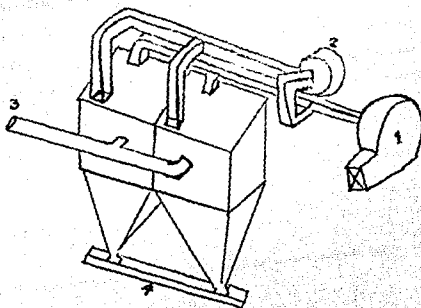
Este tipo de colectores utilizan unicamente el mecanismo de sacudido para limpiar las bolsas, ya que el aire inverso necesita un comportamiento filtrante adicional, para filtrar los gases inversos.

La operación de sacudido mecánico esta controlado por un programador o timer, el cual sacude una sección a la vez.

En el caso de una planta de varios hornos es necesario un sistema automático continuo. Este sistema es el que tiene cierto número de compartimientos cada uno con una valvula de cierre; estas valvulas funcionan automáticamente cerrando un compartimiento a la vez para limpiarse; una vez limpio, la valvula abre y la segunda valvula del otro compartimiento cierra para así poder limpiarlo.

Este tipo de colectores de bolsa de operación continua pueden utilizar el mecanismo de sacudida de bolsas ó utilizar aire inverso para su limpieza. Como la mayoría de las cosas, existen ventajas y desventajas y estos sistemas no son la excepción, veamos algunas de ellas.

- a) El colector o sistema de colectores a succión, requieren un menor mantenimiento del ventilador y en sí los ventiladores que manejan aire limpio requieren una potencia menor. Pero también es cierto, que los humos generados por este tipo de hornos no son abrasivos y si se mantienen secos no causan ningún problema al ventilador.
- b) El colector a succión debe estar perfectamente sellado. Si durante la operación de succión una corriente de aire pasara por la bolsa, ésta aumentaría la caída de presión en la unidad, disminuiría el efecto de limpieza y reduciría la vida de la bolsa. En un colector a presión, únicamente el lado del aire sucio del colector necesita sellarse.
- c) El mantenimiento de un sistema a presión es más sencillo. Se puede entrar al interior del colector sin afectar la ventilación en el horno. Cualquier fuga de aire que entre al colector, no produce ningún efecto sobre el ventilador o sobre la operación del horno. Este punto es muy importante, si los hornos operan 24 horas al día.



- 1.- Ventilador
- 2.- Ventilador aire inverso
- 3.- Entrada de aire contaminado
- 4.- Transportador

FIG. 22

Colector Filtro de Bolsa con Sistema de Succión

- 1.- Ventilador
- 2.- Ventilador de aire inverso
- 3.- Emisión a la atmósfera
- 4.- Transportador

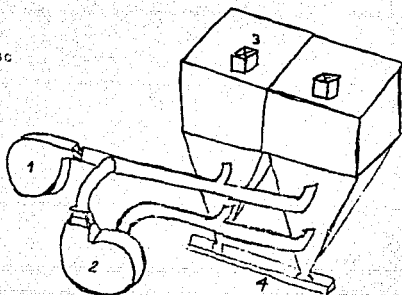


FIG. 23

Colector Filtro de Bolsa con Sistema a Presión

Se conoce con el nombre de medio filtrante, a la tela u otro material que filtra el aire contaminado, deteniendo en un lado las partículas sólidas contaminantes. El factor determinante para la elección de un medio filtrante, es el volumen de aire a mover, a una velocidad determinada y venciendo la resistencia ocasionada por la tela y por el polvo depositado sobre esta. Apartir de la relación de aire a tela necesaria y conociendo la permeabilidad de la tela a utilizar, podemos conocer aproximadamente la resistencia antes mencionada.

El medio filtrante o tela es parte importante de un colector filtro de bolsas; y en sí, lo que determina la eficiencia del sistema, lo que es más, su costo de operación. Para la selección apropiada del medio filtrante o tela, se deberán de tomar en cuenta los siguientes factores: la fibra, el tratamiento a la tela, la tela y por ultimo su fabricación.

La Fibra

- a) Resistencia al calor
- b) Resistencia a las sustancias químicas
- c) Sus propiedades físicas
- d) Cargas electrostaticas

Actualmente, se conocen más de una docena de fibras sintéticas y unas tres fibras naturales adecuadas para la filtración, pero únicamente se utilizan en los sistemas para controlar emisiones de hornos eléctricos de arco, cuatro de las fibras sintéticas que son: Acrílicas, Polyesters, fibra de Vidrio y Poliamidas para altas temperaturas.

La Tela

- a) Peso correcto
- b) Porosidad correcta
- c) Baja caída de presión al depositarse el polvo
- d) Baja tendencia a taparse
- e) Alta eficiencia de captación

Existen una gran variedad de telas con diferentes pesos y tejidos

Tratamiento de la Tela

- a) Indeformable
- b) Aumentar las propiedades a la abrasión
- c) Porosidad correcta
- d) Fácil sacudirse

Fabricación

- a) Tamaño apropiado
- b) Componentes (hilo, resortes, abrasaderas)
- c) Seleccionar el tipo apropiado de costura
- d) Seleccionar el tamaño de la aguja y la tensión de la costura

A continuación se presenta en la tabla 8, la cual muestra algunas de las características de las diferentes telas que se usan en este tipo de sistemas para controlar las emisiones en los hornos eléctricos.

ESPECIFICACIONES DE TELAS

TABLA 8

	Temperatura	Relación Posible	Método
Fibra de Vidrio			
tipo 0099	288 °C	2 : 1	Aire Inverso
tipo 0054	288 °C	3 : 1	Aire Inverso
Polyester			
tipo 0407	135 °C	2 : 1	Aire Inverso
tipo 0410	135 °C	2.5 : 1	Aire Inverso
tipo 0416	135 °C	3 : 1	Sacudido
tipo 0428	135 °C	4 : 1	Sacudido
Acrylicas			
tipo 0701	121 °C	2.5 : 1	Sacudido
tipo 0714	121 °C	4 : 1	Sacudido
Poliamida Alta temperatura			
tipo 1604	218 °C	3 : 1	Aire Inverso
tipo 1611	218 °C	4 : 1	Sacudido

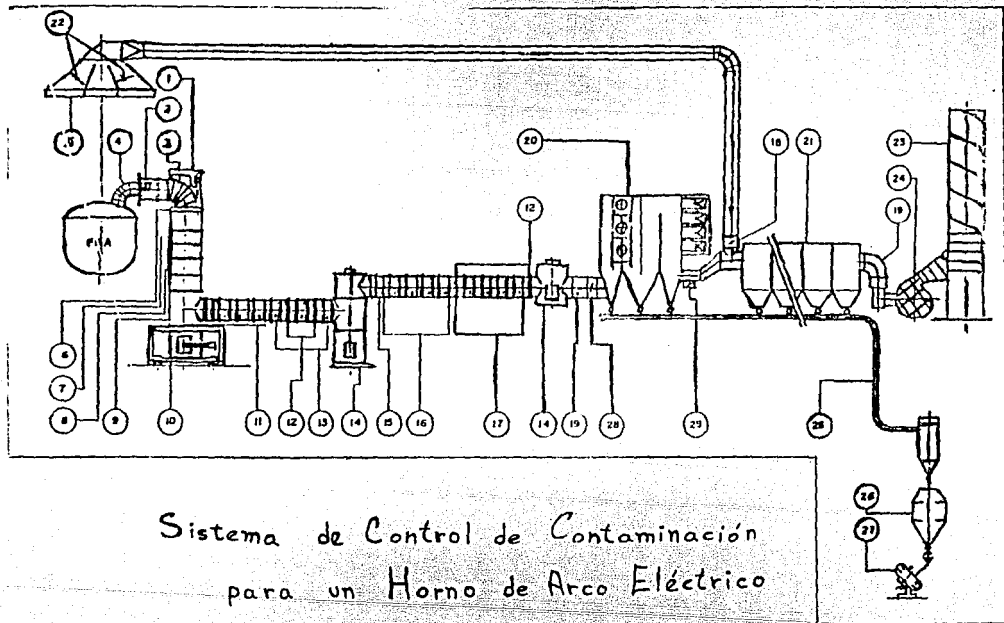
No deberá utilizarse bolsas de fibra de vidrio, si en el proceso de fusión se usa fluorita como material fundente.

La compañía Acero Solar, S.A. en Tlalneantla, Edo. de Mexico instalo un sistema para coleccionar las emisiones producidas por un horno de arco electrico de 2,00 m de diametro y 5 ton de capacidad.

Utiliza un colector que consta de 2 secciones con 408 bolsas para la operacion intermitente, las bolsas son de fibra acrilica en cada seccion cada una cuenta con un mecanismo de sacudido.

El colector maneja 30,000 pies cubicos por minuto, a una temperatura de 120 °C, con una relacion de aire a tela de 2.5 : 1.

Los gases son enfriados al entrar a la campana lateral por medio del aire inducido y recorren una distancia de 59 m, antes de entrar al colector de bolsas; en el supuesto caso que la temperatura de los gases y aire fuese superior a 120 °C, el sistema de control de temperatura actua y el ventilador se para, haciendo que la operacion del sistema de coleccion se suspenda.



Sistema de Control de Contaminación
para un Horno de Arco Eléctrico

FIG. 23

De la figura 23 : Sistema de Control de Contaminación para un Horno
de Arco Eléctrico

- 1.- Grua
- 2.- Ducto
- 3.- Curva
- 4.- Ducto Fijo
- 5.- Cubierta ó Campana
- 6.- Panel de Reducción
- 7.- Camara de Combustión 1° modulo
- 8.- " " " 2° modulo
- 9.- " " " 3° modulo
- 10.- Carro para mover el polvo
- 11.- Trecho horizontal I
- 12.- Junta de Expansión
- 13.- Trecho horizontal II
- 14.- Caja de paso / colección de polvo
- 15.- Ducto de interligación
- 16.- Trecho externo I
- 17.- Trecho externo II
- 18.- Humedecedor de dilución
- 19.- Ducto de ligación
- 20.- Intercambiador de calor gas-aire
- 21.- Filtro de mangas
- 22.- Humedecedor de control de la Cubierta ó Campana
- 23.- Chimenea
- 24.- Exhaustador
- 25.- Transportador Neumatico
- 26.- Silo
- 27.- Pelotizador
- 28.- Humedecedor de control de vaciado de gases
- 29.- Humedecedor de emergencia

En la figura 23 muestra un sistema de control de contaminación instalado en una planta fundidora de Brasil, en donde están en servicio los siguientes equipos para el control de los contaminantes.

Ductos Refrigerados; los ductos son de tipo modular de paredes gruesa, con un aislador y hélices de dirección de flujo que aumentan la eficiencia del intercambiador de calor.

Filtro de Mangas; es de tipo pulsante, contiene dos compartimientos independientes con 420 mangas cada uno, proporcionando una área de filtraje de 1008 m^2 por compartimento.

Transporte Neumático; El polvo colectado, no de filtro de mangas, es conducido por un transportador de corriente de aire hacia un silo en donde son descargados en carros. Este manejo de polvos agrega el medio ambiente por la acción del viento, por el movimiento de los carros.

Cámara de Combustión; la salida de los gases generados durante la operación del horno eléctrico por operaciones de carga y de vaciado. Parte de estos gases son combustibles que deben ser quemados en condiciones adecuadas. Como las condiciones de operación están sujetas a alteraciones por lo que se dispone de una cámara de combustión de gases, instalado próximo a la captación de gases. Este equipo permite la flexibilidad del sistema, asegurando una completa combustión, de los gases, proporcionando una operación más estable.

Intercambiador de Calor Gas-Aire; El sistema de limpieza de polvo original era equipado con un intercambiador de calor gas-agua, antes del intercambiador de calor gas-aire y controlaba la temperatura de los gases. El consumo elevado del agua de refrigeración y el llenado frecuente de los tubos exigía un control más rígido del sistema de agua, de todo el sistema de limpieza. Generando una eficiencia en la captación de gases, que escapan del horno y van directamente a la atmósfera. El intercambiador gas-aire provee su vaciado de aire de refrigeración aumenta, con una instalación de nuevos ventiladores en la región de tubos de entrada.

Caja de Captación de Gases; Controla toda la contaminación generada por el horno eléctrico, es el total de captación de gases durante el proceso de

fusión y las operaciones de carga y vaciado del horno.

Ventilación Secundaria; La instalación efectiva de quemadores oxí-combustible danó ventajas económicas, también reducen la emisión de los gases contaminantes, utilizando el sistema de ventilación secundaria capta los gases generados por la combustión y liberando los limpios a la atmósfera.

Pelotizador; la descarga del silo en un carro y luego para ser transportado acarrea problemas al medio ambiente. Una solución propuesta es el pelotizador que permite el manejo del polvo aglomerado, eliminando los problemas de contaminación en la descarga de los silos.

0) Costos de Equipo Anticontaminante
Hornos de Arco Eléctricos

Los siguientes cuadros incluyen datos de relativos costos de equipo anti-contaminante para los hornos de Arco Eléctricos.

HORNOS ELECTRICOS DE ARCO - SCRUBBER HUMEDO (ALTA ENERGIA)

Volumen de gas m ³ /min a 82 °C	1 000	3 800	5 000
Capacidad del horno.ton	25	150	250
Capacidad(2 hornos.ton/año)	115 000	693 000	1 155 000

COSTOS DE INSTALACION

1.- Materiales	34 721	250 242	354 067
2.- Mano de obra	24 581	73 215	102 555
3.- Ingeniería	16 395	48 516	68 495
TOTAL	<u>125 697</u>	<u>317 975</u>	<u>525 117</u>
	(1.693)	(0.536)	(0.456)

COSTOS DE FUNCIONAMIENTO

1.- Energía eléctrica	35 277	154 324	200 000
2.- Mantenimiento	5 029	14 875	21 000
3.- Mano de obra	10 572	15 859	21 145
TOTAL	<u>51 078</u>	<u>185 058</u>	<u>277 187</u>
	(0.444)	(0.268)	(0.239)
4.- Amortización	12 569	37 198	52 511
5.- Carga de Capital	12 569	37 198	52 511
TOTAL	<u>25 138</u>	<u>74 396</u>	<u>105 022</u>
	(0.218)	(0.107)	(0.091)

HORNOS ELECTRICOS DE ARCO - PRECIPITADOR ELECTROSTATICO

Volumen de gas. m ³ /min a 260 °C	1 350	5 200	7 850
Capacidad del horno. ton	25	150	250
Capacidad (2 hornos. ton/año)	115 000	693 000	1 155 000

COSTOS DE INSTALACION

1.- Materiales	77 863	227 716	227 717
2.- Mano de obra	22 467	66 343	63 040
3.- Ingeniería	15 051	44 104	51 850
TOTAL	<u>115 382</u>	<u>338 164</u>	<u>474 185</u>
	(1.00)	(0.467)	(0.410)

COSTOS DE FUNCIONAMIENTO

1.- Energía eléctrica	7 092	26 607	53 215
2.- Mantenimiento	4 610	13 524	18 964
3.- Mano de obra	5 286	7 929	10 572
TOTAL	<u>16 989</u>	<u>48 061</u>	<u>82 753</u>
	(0.147)	(0.069)	(0.715)
4.- Amortización	11 538	33 817	47 415
5.- Carga de Capital	11 538	33 817	47 415
TOTAL	<u>23 076</u>	<u>67 634</u>	<u>94 830</u>
	(0.200)	(0.097)	(0.082)

HORNOS ELECTRICOS DE ARCO - TIPO DE MANCHA

Volumen de gas. m ³ /min a 135 °C	1.700	6 400	9 800
Capacidad del horno. ton	25	150	250
Capacidad (2 hornos. ton/año)	115 000	693 000	1 155 000

COSTOS DE INSTALACION

1.- Materiales	58 766	215 909	320 279
2.- Mano de obra	15 889	55 249	84 846
3.- Ingeniería	11 189	40 675	64 067
TOTAL	<u>85 814</u>	<u>311 894</u>	<u>469 192</u>
	(0.746)	(0.450)	(0.403)

COSTOS DE FUNCIONAMIENTO

1.- Energía eléctrica	7 099	35 477	46 116
2.- Mantenimiento	3 428	12 481	18 634
3.- Mano de obra	5 286	7 929	10 572
TOTAL	<u>15 815</u>	<u>55 888</u>	<u>75 323</u>
	(0.137)	(0.081)	(0.651)
4.- Amortización	8 581	31 189	46 585
5.- Carga de Capital	8 581	31 189	46 585
TOTAL	<u>17 162</u>	<u>62 378</u>	<u>93 171</u>
	(0.149)	(0.09)	(0.081)

HORNOS ELECTRICOS DE ARCO

Combinación de separación con evacuación directa y sistema de ventilación de zona de tipo campana.

Filtro de Mangas

Volumen de gas. m ³ /min. a 60 °C	3 500	21 000
Acería de 2 hornos de ton/c.u.	20	120
Capacidad ton/año	92 400	554 400

COSTOS DE INSTALACION

1.- Materiales	117 533	587 665
2.- Mano de obra	26 960	126 872
3.- Ingeniería	21 674	107 180
TOTAL	<u>166 167</u>	<u>821 718</u>
	(1.798)	(1.482)

COSTOS DE FUNCIONAMIENTO

1.- Energía eléctrica	16 409	88 693
2.- Mantenimiento	6 644	32 865
3.- Mano de obra	7 929	40 572
TOTAL	<u>30 983</u>	<u>162 129</u>
	(0.335)	(0.232)

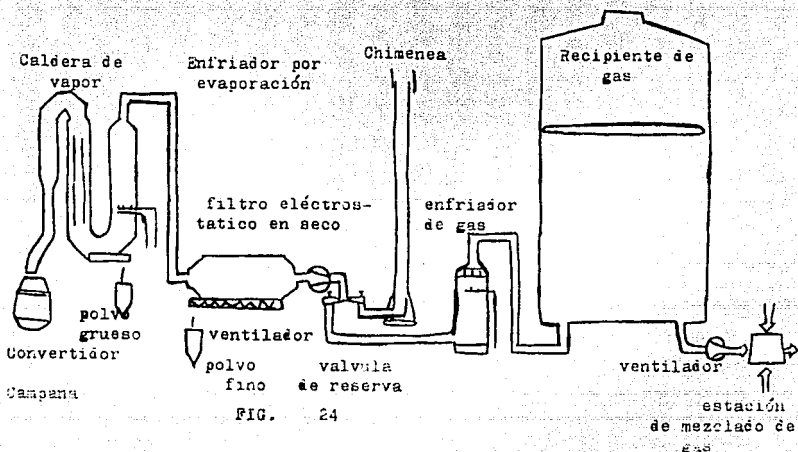
4.- Amortización	16 616	62 171
5.- Carga de Capital	<u>16 616</u>	<u>62 171</u>
TOTAL	<u>33 232</u>	<u>164 342</u>
	(0.359)	(0.296)

Para todos los cuadros tomar en cuenta lo siguiente:

- Cifras en dólares/ton en instalación y en funcionamiento
- Cifras en dólares/ton/año en funcionamiento y en instalación en ()
- Los datos de los cuadros de costos corresponden al año de 1978

2.9.3 Convertidor al Oxígeno

Sistema de Control de Contaminación para un Convertidor al Oxígeno

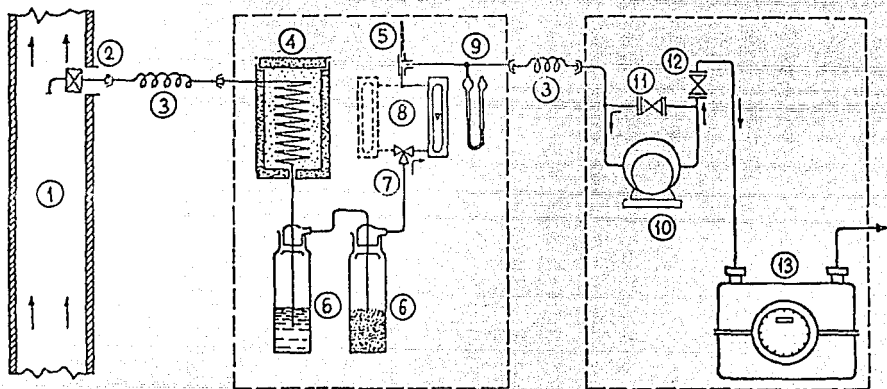


La figura 24 muestra un sistema para la purificación y recuperación de gases emitidos por un convertidor al oxígeno, los costos estimados de este equipo son los siguientes²¹: (datos de 1988)

- Planta, filtros, soplaadores, chimenea, transporte de polvo 10.0 millones de dólares
- Torre de acondicionamiento 2.0 millones de dólares
- Tuberías y accesorios, hasta fuentes de emisión, estructura de acero 10.0 millones de dólares
- Campanas, captación de gases 10.0 millones de dólares
- Cimientos y equipos eléctricos; costos adicionales 15.0 millones de dólares

Las siguientes figuras (25 y 26) muestran los equipos e instrumentos para la separación de partículas sólidas y compuestos de azufre en los humos.²⁰

INSTRUMENTACION PARA DESMUESTRE DE PARTICULAS SOLIDAS EN LOS HUMOS



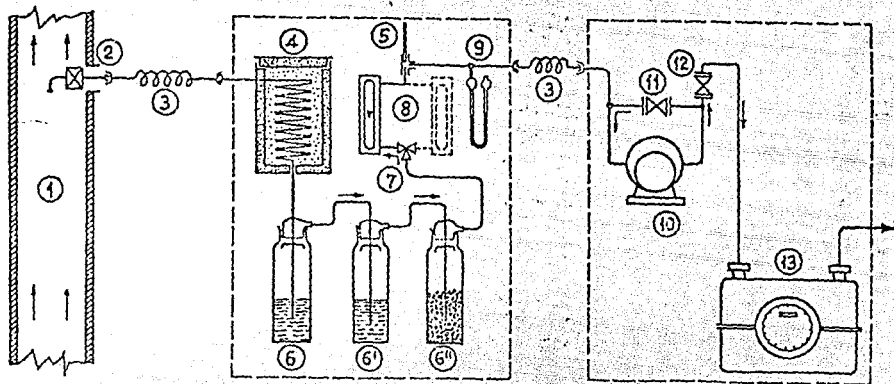
1. Conducto de humos.
2. Sonda con filtro.
3. Tubuladura flexible.
4. Enfriador.

5. Termómetro.
6. Absorbedor.
7. Llave de tres vías.
8. Medidor de caudal.
9. Manómetro de mercurio.

10. Bomba aspirante.
11. Llave de regulación de caudal.
12. Llave de regulación lina.
13. Medidor totalizador.

FIG. 25

INSTRUMENTACIÓN PARA DESMUESTRE DE COMPUESTOS DE AZUFRE EN LOS HUMOS



- 1. Conducta de humos.
- 2. Sonda con filtro.
- 3. Tubuladura flexible.
- 4. Entriador.
- 5. Termómetro.

- 6. Absorbedor I.
- 6'. Absorbedor II.
- 6''. Absorbedor III (con gel de sílice y 2 ml. de H_2SO_4).
- 7. Llave de tres vías.
- 8. Medidor de caudal.

- 9. Manómetro de mercurio.
- 10. Bomba aspirante.
- 11. Llave de aspiración de vacío.
- 12. Llave de regulación de caudal.
- 13. Medidor totalizador.

Fig. 26

Costos de Equipo Anticontaminante

Convertidor de Oxígeno

Los siguientes cuadros contienen datos de costos para convertidores de distintas capacidades. Dichos costos se refieren a una planta de nuevo diseño, incluye en los mismos el equipo de depuración de contaminación. Las cifras se refieren a un solo convertidor. En los costos se incluyen las campanas extractoras de calor, para sistemas de combustión total y para los periodos de inyección de oxígeno normales, utilizándose un exceso de aire para la parte de enfriamiento de gases. Adiciones de agua para la saturación de sistemas scrubbers húmedos y para humidificación en sistemas de precipitadores electrostáticos, completar de forma normal este enfriamiento. Para sistemas de filtros de bolsas en donde el gas ha de mantenerse seco, utilizándose dilución por aire en la campana y antes de entrar al filtro de bolsas, intercalándose unos intercambiadores de calor entre ambos puntos.

CONVERTIDOR AL OXIGENO- SCRUBBER HUMEDO (ALTA ENERGIA)

Volúmen de gas m ³ /min a 50 °C	6 160	12 320	18 480
Capacidad del convertidor (ton)	100	200	300
Capacidad ton/año	1 340 000	2 370 000	3 190 000

COSTOS DE INSTALACIÓN

1.- Materiales	445 040	714 992	959 853
2.- Mano de obra	129 515	203 810	280 176
3.- Ingeniería	86 270	138 508	186 005
Total	661 431	1 062 371	1 426 035
	(0.493)	(0.448)	(0.447)

COSTOS DE FUNCIONAMIENTO

1.- Energía eléctrica	183 590	383 149	568 920
2.- Mantenimiento	26 453	42 496	57 041
3.- Mano de obra	10 572	15 859	21 165
Total	220 615	441 505	667 107
	(0.164)	(0.186)	(0.209)
4.- Amortización	66 143	106 237	142 603
5.- Carga de Capital	66 143	106 237	142 603
Total	132 286	212 474	285 207
	(0.098)	(0.089)	(0.089)

CONVERTIDOR AL OXIGENO - PRECIPITADOR ELECTROSTATICO

Volumen de gas. m ³ /min a 260 °C	10 600	22 300	33 900
Capacidad del convertidor. ton.	100	200	300
Capacidad. ton/año	1 340 000	2 370 000	3 190 000

COSTOS DE INSTALACION

1.- Materiales	440 748	783 553	1 101 872
2.- Mano de obra	118 942	211 453	290 748
3.- Ingeniería	83 950	149 251	208 391
TOTAL	<u>643 641</u>	<u>1 144 258</u>	<u>1 601 512</u>
	(0.480)	(0.482)	(0.502)

COSTOS DE FUNCIONAMIENTO

1.- Energía eléctrica	79 823	136 255	274 948
2.- Mantenimiento	25 741	45 770	64 060
3.- Mano de obra	5 286	7 929	10 572
	<u>110 850</u>	<u>239 955</u>	<u>349 580</u>
	(0.082)	(0.101)	(0.109)
4.- Amortización	64 364	114 426	160 151
5.- Carga de Capital	54 364	114 426	160 151
	<u>128 728</u>	<u>228 852</u>	<u>320 302</u>
	(0.096)	(0.096)	(0.100)

CONVERTIDOR AL OXIGENO - FILTROS DE CARBON

Volumen de gas. m ³ /min a 135 °C	8 000	16 800	25 000
Capacidad del convertidor. ton.	100	200	300
Capacidad. ton/año	1 340 000	2 370 000	3 190 000

COSTOS DE INSTALACION

1.- Materiales	323 215	626 843	901 086
2.- Mano de obra	95 154	182 378	261 674
3.- Ingeniería	62 753	121 380	174 412
TOTAL	<u>481 123</u>	<u>930 602</u>	<u>133 717</u>
	(0.359)	(0.392)	(0.419)

COSTOS DE FUNCIONAMIENTO

1.- Energía eléctrica	38 135	78 935	115 301
2.- Mantenimiento	19 243	37 225	53 487
3.- Mano de obra	2 286	7 929	10 572
TOTAL	<u>62 665</u>	<u>124 089</u>	<u>179 360</u>
	(0.047)	(0.052)	(0.056)
4.- Amortización	48 112	93 060	133 717
5.- Carga de Capital	48 112	93 060	133 717
TOTAL	<u>96 224</u>	<u>186 120</u>	<u>267 434</u>
	(0.072)	(0.078)	(0.083)

2.9.4 HORNO SIEMENS MARTIN

Los siguientes cuadros contienen datos de costos para estos hornos, las cifras se basan en la adición de equipo de depuración a una planta de hornos Siemens ya en funcionamiento. No es probable que en el futuro se construyan muchos hornos Siemens nuevos. Las cifras indicadas se refieren a un solo horno. Se supone que ya existen calderas de recuperación de calor y extractores de tiro en las calderas de los hornos, y se han incluido en los costos, las necesarias modificaciones de la chimenea, así como a los ventiladores. Las calderas de recuperación de calor, aunque contribuyen a la depuración al enfriar los gases, contribuyen también a la economía térmica general de la planta, y se utilizan en general en los hornos Siemens, incluso aunque estos no tengan equipo de depuración de gases. Por consiguiente, tales calderas no se incluyen en el costo de la depuración de gases de los hornos y tampoco se ha asignado ningún valor de recuperación al aire producido. ²⁰

HORNO SIEMENS MARTIN - SCRUBBER HUMEDO (ALTA ENERGIA)

Volumen de gas: m ³ /min a 82 °C	840	2 520	6 720
Capacidad del horno: ton	60	200	600
Capacidad: ton/año	70 000	231 000	693 000

COSTOS DE INSTALACIÓN

1.- Materiales	78 355	210 580	489 721
2.- Mano de obra	22 467	60 792	142 731
3.- Ingeniería	15 125	40 704	94 867
TOTAL	<u>115 947</u>	<u>312 077</u>	<u>727 319</u>
	(1.65b)	(1.350)	(1.049)

COSTOS DE FUNCIONAMIENTO

1.- Energía eléctrica	21 292	68 289	186 255
2.- Mantenimiento	4 633	12 481	29 089
3.- Mano de obra	10 572	15 859	21 145
TOTAL	<u>36 497</u>	<u>96 629</u>	<u>236 489</u>
	(0.522)	(0.418)	(0.341)
4.- Amortización	11 594	31 207	72 732
5.- Carga de Capital	11 594	31 207	72 732
TOTAL	<u>23 188</u>	<u>62 414</u>	<u>145 464</u>
	(0.331)	(0.270)	(0.209)

HORNOS SIEMENS MARTIN - PRECIPITADOR ELECTROSTATICO

Volumen de gas. m ³ /min a 250 °C	812	2 380	6 300
Capacidad del horno. ton	60	200	600
Capacidad. ton/año	70 000	231 000	693 000

COSTOS DE INSTALACION

1.- Materiales	63 663	156 710	342 804
2.- Mano de obra	16 502	44 934	100 440
3.- Ingeniería	12 320	30 249	66 483
TOTAL	94 486	231 894	509 728
	(1.349)	(1.003)	(0.735)

COSTOS DE FUNCIONAMIENTO

1.- Energía eléctrica	4 434	13 326	39 912
2.- Mantenimiento	3 781	9 273	20 389
3.- Mano de obra	5 286	7 929	10 572
TOTAL	13 502	30 528	70 873
	(0.192)	(0.138)	(0.102)
4.- Amortización	5 448	23 189	50 973
5.- Carga de Capital	9 448	23 189	50 973
TOTAL	18 397	46 378	101 946
	(0.227)	(0.200)	(0.147)

HORNOS SIEMENS MARTIN - FILTRO DE LINGAS

Volumen de gas. m ³ /min a 250 °C	812	2 380	6 300
Capacidad del horno. ton	60	200	600
Capacidad. ton/año	70 000	231 000	693 000

COSTOS DE INSTALACION

1.- Materiales	36 725	102 341	259 552
2.- Mano de obra	10 572	31 718	79 295
3.- Ingeniería	7 692	20 183	50 822
TOTAL	54 990	154 243	389 669
	(0.777)	(0.669)	(0.552)

COSTOS DE FUNCIONAMIENTO

1.- Energía eléctrica	7 692	19 508	47 892
2.- Mantenimiento	2 173	6 189	15 587
3.- Mano de obra	5 286	7 929	10 572
TOTAL	14 552	33 627	74 052
	(0.207)	(0.145)	(0.100)
4.- Amortización	5 439	15 474	38 966
5.- Carga de Capital	5 439	15 474	38 966
TOTAL	10 878	30 948	77 932
	(0.159)	(0.133)	(0.112)

CAPITULO III

DISCUSION

DISCUSION

Los resultados de esta investigación son verdaderamente desalentadores, muestran al menos cualitativamente, que los procesos de fusión son una fuente de contaminación, tanto en el ambiente externo como en el interno. Esto es en el ambiente externo nos referimos a los alrededores de la planta de fundición, que son dañados por las emisiones de gases, humos y polvos de la misma.

Estas emisiones perjudican gravemente el aire y la ecología, como lo que se presentó en una planta fundidora de cobre en Noruega¹, donde se hizo una investigación sobre el nivel de concentración de metales como: Cu, Zn, Cd, Pb y otros, contenidos en el suelo y vegetación alrededor de la fundidora. Encontrándose una relación logarítmica entre la concentración de los metales con la distancia respecto de la fundidora. Además de este problema las emisiones de SO_2 son también muy fuertes, provocándose algunas veces la lluvia ácida perjudicando aún más la ecología.

Es evidente también que las emisiones contaminantes dependen del tipo de metal que se va a producir, ya que sus características y propiedades físicas, dependerán a su vez de la composición química. A esto le sumamos la carga de los materiales y la forma de operación, los índices de contaminación varían considerablemente.¹⁹

En México la industria de la fundición está dentro de las industrias de mayor importancia, no solo a nivel nacional sino también en el internacional y repercute en la vida económica del país. Existe un gran número de pequeñas empresas, donde se utilizan principalmente los hornos de cubilote y de crisol, además algunas emplean también los hornos de inducción, los primeros por su fácil fabricación y manejo, ya que casi solamente se usan para la producción de hierro gris y este metal no necesita de estrictas normas para su producción, estos hornos emiten una gran cantidad de polvos, humos y gases.

Es posible reducir las emisiones generadas por un horno de cubilote, modificando las características de su carga, optimizando el diseño del horno y evitando las impurezas que son difíciles de recolectar.

En la fabricación de piezas coladas, se utiliza generalmente arena de diferentes tipos como la olivina ó la arena de zirconio, que deben ser tra-

tadas con una severa seguridad antes de hacer los moldes para vaciar el metal fundido, a la arena se le agrega aglutinantes como la dextrina y el mogul, estos compuestos orgánicos se queman emitiendo gases y algunas partículas, cuando se vacia el metal caliente, contribuyendo así a la contaminación del ambiente.

El objetivo de agregar estos aglutinantes es el de evitar desmoronamientos en el molde ocasionados por los gases generados y evitar la ruptura de la pieza.

Las arenas usadas son regeneradas a sus condiciones originales para una siguiente operación de colado.

Primeramente se hace un mezclado en seco y después uno por vía húmeda, el manejo y transporte de algunos componentes que intervienen en la mezcla, principalmente en estado seco, pueden ocasionar emisiones de polvos sino se tienen las debidas precauciones.¹⁹

De los procesos de fusión de metales no ferrosos, estan los del plomo y el zinc, como de las más contaminantes, principalmente el plomo, sobre todo en la fase primaria, ya que los minerales de plomo son por lo general sulfuros y el SO_2 que se genera y el mismo plomo, provocan un mal ambiente en los lugares de trabajo, pueden terminar en clausuras de estas industrias.

El zinc tiene mejor posición tecnológica y ambiental que el plomo, pero existen problemas en cuanto al tratamiento y disposición de los desechos sólidos, considerados peligrosos. En la tostación del mineral también se producen grandes cantidades de SO_2 ideal para producir ácido sulfurico.⁶ Una buena ventilación beneficiaría la protección de los trabajadores y del mismo equipo de trabajo. Además el plomo y el zinc son elementos contaminantes que para la salud son muy dañinos.

Según la evaluación hecha en el punto 2.5, se observa que en supuestas condiciones similares, el horno básico de oxígeno es más contaminante con respecto a los hornos de hogar abierto y de arco eléctrico, aunque esto se puede notar por el promedio de emisiones por tonelada que genera cada uno de ellos.

El objetivo de esta evaluación es hacer notar que para una misma capacidad comercial y producción diaria, el horno que resulta más contaminante es el

horno básico de oxígeno y que el horno de arco eléctrico es el menos contaminante.

Pero se pueden tener tres diferentes capacidades para un mismo tipo de horno, como se puede ver en la tabla 6 donde se muestran las emisiones de contaminación de tres hornos de cubilote, donde el horno 1 es el de mayor capacidad y sin embargo genera menos emisiones que el horno 2 que es de menor capacidad. Pero por otro lado, las emisiones de contaminantes dependen de los materiales de carga, como podemos ver en las emisiones de aceites y grasas están en relación a la pedacería de hierro, entre más es la carga de pedacería de hierro más son las emisiones de aceites y grasas. Esto es debido a que la chatarra de hierro por lo general no está totalmente limpia sino que viene impregnada precisamente de aceites y grasas.

Las emisiones de SO_2 dependen tanto de la carga de coque como de la altura de la cámara de coque, el horno 1 no tiene carga de coque y el horno 3 tiene la mayor carga, en cuanto a las alturas de la cámara de coque, el horno 2 es ligeramente más grande, en este horno las emisiones de SO_2 son menores, ahora si solo observamos los hornos 2 y 3, notamos que entre mayor es la carga de coque mayor son las emisiones de SO_2 ya que la altura de la cámara del horno 2 es solo 0.04 m más grande que la del horno 3.

La temperatura media de la chimenea y las emisiones del horno en (m^3/min), dependen de la altura de la chimenea, el horno 1 tiene la chimenea más grande, por lo que en el periodo de fusión tiene menores emisiones y menor temperatura.

La emisión de partículas sólidas está en relación al peso de carbon, entre mayor es éste, mayor son las emisiones de partículas.

Por lo que no se puede decir que se generan más emisiones contaminantes, cuanto mayor es la capacidad del horno, sino más bien se deben a los diferentes materiales de carga, a las malas condiciones de operación que se manejan en algunas partes del proceso y al diseño del horno mismo.

Lamentablemente no se encontraron datos de emisiones de los otros procesos de fusión para tener una cuantificación más completa con respecto a los procesos de fusión que se mencionaron anteriormente.

Por un lado los hornos de combustión que operan con combustibles como : el petróleo, gas natural o coque, es necesario que estén lo más puro posible, para disminuir las emisiones contaminantes, la EPA (Environmental Protection Agency) y la OSHA (Occupational Safety and Health Agency) han manifestado algunas regulaciones ambientales.

Con respecto a los hornos de producción de coque, las operaciones sujetas a regulación son :

- Almacenaje y carga de carbon.
- Calidad del carbon.
- Desulfuración de coque

Para producir un coque metalúrgico de mayor calidad y para ésto las industrias deberán obtener un permiso ambiental para poder producir este combustible que es primordial en la ingeniería metalúrgica.¹

El petróleo también se utiliza en los hornos de combustión, este combustible se encuentra casi siempre contaminado por otras sustancias, principalmente hidrocarburos y sustancias orgánicas.

La Alcoa Davenport Works en colaboración con la EPA realizaron una serie de pruebas, utilizando un combustible conteniendo 350 ppm de PCB (polychlorinated biphynels), probándolo en un horno de combustión de fundición de Aluminio, obteniéndose resultados muy buenos con respecto a las emisiones, quemando casi el 100 % de dicho combustible, las emisiones de contaminación fueron menores, para esto también se tuvieron que hacer algunas modificaciones al horno.⁵

Esto demuestra que por medio del descubrimiento de nuevos combustibles ó alguna acción regulatoria sobre los combustibles ó de las técnicas de operación de los hornos, se pueden obtener excelentes resultados para disminuir un poco la contaminación. Además del buen diseño del horno que se debe tener.

Es importante saber también la eficiencia de combustión de los combustibles en los hornos de fusión.

Un horno de cubilote puede generar por cada tonelada de material cargado, un volumen de gases entre 2000 y 5000 m³ y un promedio de partículas sólidas entre 5 y 15 Kg, tal vez debido a la incompleta combustión de los combustibles, por ello es necesario conocer la eficiencia de combustión y a su

vez la eficiencia del proceso de anticontaminación.¹⁹

$$n = \frac{q_f - q_s}{q_f}$$

Eficiencia de
Combustión

$$nc = \frac{q_c - q_l}{q_c}$$

Eficiencia del proceso
de Anticontaminación

Donde :

q_f = Calor presente en el hierro (Kcal)

q_s = Calor sensible en los gases de escape (Kcal)

q_c = Calor potencial neto del combustible (coque) (Kcal)

q_l = Calor latente en los gases de escape (Kcal)

Así podríamos saber si los combustibles son quemados casi en su totalidad y con esto podría disminuir las emisiones contaminantes como en el caso del combustible con FBC.

La Contaminación que se genera por los procesos de fusión, proviene de los materiales de carga, por el mal funcionamiento de las operaciones unitarias durante el proceso de fusión, por el mal diseño del horno y por los combustibles que se utilizan en algunos de ellos. Tales contaminantes no afectan directamente al medio ambiente y a la salud, pero con el tiempo son gravemente perjudiciales. Pero la solución está en tomar las medidas necesarias para disminuir la contaminación, por lo que respecta a los procesos de fusión, hemos visto que instalando buenos equipos de control de contaminación y mejorando las tecnologías para la producción de metales y aleaciones de todo tipo.

En el aspecto económico, este renglón se ve afectado de muchas maneras, ya que los costos de inversión para los sistemas de control de contaminación son altos y los empresarios tienen que decidir qué es más conveniente para ellos, si invertir en nuevos equipos para fabricar sus productos ó reparar los que ya se tienen y mejorar sus técnicas de operación y utilizar los más apropiados para su producción ó i nvertir en los equipos de con -

trol de contaminación.¹

La realidad es una decisión muy difícil, porque primero se debe realizar un estudio muy detallado del proceso como el que se propone en el punto 2,8, una vez concluido éste se deben seleccionar las alternativas más convenientes, ya que para cada empresa son diferentes, además depende de las posibilidades económicas de cada industrial, porque dicho estudio en sí cuesta tiempo y dinero.

En el año de 1985 en los Estados Unidos se invirtió entre 200 y 300 millones de dólares en equipos de control de contaminación, ya que el gobierno dispuso que los hornos de arco eléctrico usados ó sesinveves no podrían ser utilizados a menos que contaran con el equipo apropiado de control de gases, pero también hizo algunas gestiones para ayudar a resolver algunos problemas de la industria acerera como; permitir la depreciación, las importaciones fueron restringidas y por parte de la EPA (Environmental Protection Agency) también hizo algunas concesiones.

La fabricación de los equipos APC (Air Pollution Control) tienen de alguna manera un beneficio económico para la industria de la fundición, ya que algunas plantas podrían contribuir a la fabricación de esos equipos de control, de los cuales se pueden mencionar; filtros, reastrescores y precipitadores, formando un mercado comercial muy importante a nivel mundial.²

La inversión en los equipos de control y de tecnología afectan los costos de producción y los industriales se ven obligados a elevar el precio de sus productos.

Los equipos de protección de los trabajadores implica también una razonable inversión, ya que en las plantas fundidoras se cuenta con una buena cantidad de recursos humanos, estos se ven afectados por la contaminación del ambiente interno, en su seguridad y en su salud, a excepción de los accidentes de trabajo, esto representa además de las pérdidas humanas principalmente, costos y es por esto que se tenga que invertir en los equipos de protección para los trabajadores, así se evitarían las pérdidas humanas y menos costos.

Otros costos extras son los que se hacen por la restauración de las zonas arqueológicas y de edificios históricos que también son deteriorados por la contaminación, especialmente por la lluvia ácida.

Los hornos más modernos de los procesos de fusión son los de arco eléctrico pero no dejan de ser contaminantes, para tener un control sobre este problema se deben mejorar algunos factores y variables de su operación así como podemos mencionar :

- El uso constante de oxígeno.
- El consumo de los electrodos.
- Las características del arco.
- El tiempo de fusión.
- El tipo de chatarra que se utiliza.
- Las condiciones básicas y ácidas que se presentan durante el periodo de fusión.

Bastante tiene que ver los tipos de materiales que se cargan al horno, muchos de estos materiales, especialmente la chatarra no es seleccionada ó analizada adecuadamente, ya que a veces contienen otras sustancias como: grises, aceites, plásticos y otros materiales orgánicos. Estos dificultan la refinación del metal contribuyendo a emisiones contaminantes.⁴ Por esto es necesario que los materiales de carga estén lo más limpios y puros posibles para reducir un poco las emisiones contaminantes.

Es conveniente que el industrial conozca los factores que influyen en la selección de equipo de control de contaminantes tales como:¹⁹

- a) Concentración y tamaño de partículas de polvo contaminante.
- b) Características de la corriente de aire ó gas.
- c) Características de cada uno de los contaminantes y su reacción dentro del equipo de colección.
- d) Método de eliminación.
- e) Eficiencia de colección requerida.

Los mismos industriales que por iniciativa propia han manifestado su interés por mejorar esta situación, sugieren que se realicen congresos, en donde estén presentes científicos, representantes del gobierno y de instituciones que se dedican a la protección del medio ambiente y de personas que estén ligadas directamente a los procesos de fusión y a la industria de la fundición en general.⁷ Ya que muchas instituciones a veces establecen normas sin tomar en cuenta los problemas técnicos que aquejan a algunas de estas

industrias. Entonces esto se presta a que estas industrias que tienen estos problemas, recurran al clásico gobierno. La idea de los congresos es buena y podría ser efectiva, ya que los acuerdos que se establezcan tendrían en sí: intercambio tecnológico, resoluciones específicas a los problemas de contaminación y un apoyo total al control de ésta. Además estarían formuladas por un mutuo acuerdo, tanto de los industriales como representantes del gobierno y de las instituciones de protección del ambiente y de la salud.

Respecto a la tecnología, ya se han implementado algunos sistemas para controlar las emisiones contaminantes, un ejemplo de ello son los que se realizaron en unos hornos de arco eléctrico, bajo la supervisión de la EPA (Environmental Protection Agency) y de la OSHA (Occupational Safety and Health Agency). Uno es para un sistema de operación continua; se instaló un sistema donde los gases de emisión pasan por un ducto enfriado por agua y después por un enfriador de mayor potencia para bajar la temperatura de los gases que salen del ducto, de 150 a 125 °C y por último pasa por un filtro, donde son capturados los elementos contaminantes; el gas que no es condensado se envía a la atmósfera, generalmente oxígeno y monóxido de carbono pero ya en menos proporción.

El otro sistema no es de operación continua, tiene un sistema de ventilación, el mismo ducto enfriado por agua y un filtro. La diferencia es que el sistema opera bajo techo. Además se hicieron algunas implementaciones en el control de emisiones, en la telemetría en la cuchara (LISA), control de nivel, de un programa de computación para las características de operación y del horno, composición química de los polvos y otros datos necesarios para la operación de este tipo de hornos.⁶

Aunque se habla de que la emisión de contaminantes proviene principalmente de los automóviles, pero de lo anteriormente expuesto se ha observado que los procesos de fusión también contribuyen, en el área metropolitana de la Ciudad de México existen un gran número de industrias que utilizan estos procesos, grandes, medianas y pequeñas. Es por eso que es necesario una evaluación sobre cuantas industrias utilizan estos procesos, que tipos de metales producen y cuanto contaminan y realizar esta evaluación en las principales ciudades del país. En base a esto realizar todos los esfuerzos

posibles para reducir al máximo el problema de la contaminación, ya hemos visto que se puede lograr, mejorando las técnicas de operación e implementando sistemas de control de contaminación, esto sería beneficioso, ya que se podrían obtener productos de mayor calidad y mayores ingresos económicos para bien del industrial y del progreso de México, habiendo una amplia colaboración a nivel nacional de los industriales y del gobierno se lograría.

Los metalurgistas debemos tomar conciencia de este problema, ya que utilizando nuestras habilidades y conocimientos para mejorar las técnicas e implementar nuevas se pueden obtener buenos resultados. Durante la formación profesional es importante que el profesor haga notar a los futuros profesionistas, los problemas de contaminación y posibles alternativas para resolverlos en algunos de los tantos procesos de la metalurgia en general. Se ha pensado sacar de la ciudad algunas industrias que operan con procesos de combustión, que sean sumamente contaminantes ó en dado caso clausurarlas, esto no tendría un sentido económico sino al contrario.

Sacar las industrias químicas fuera de la ciudad, no es la mejor solución, porque en el lugar donde se reubicaran, tendrían que seguir respetando las normas y reformas en protección del ambiente, el traslado de una industria no es como mudarse de casa, por eso se insiste en mejorar las tecnologías e instalar buenos y apropiados sistemas de control, darían buenos resultados para reducir la contaminación.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- 1.- Los procesos de fusión son una fuente de Contaminación, la mayoría de sus emisiones no afectan directamente al medio ambiente y a la salud, pero en combinación con otros contaminantes ó a largo plazo, resultan peligrosos y perjudiciales.
- 2.- Existen dos variantes de contaminación, la que afecta al medio externo y la que afecta al interno, en la planta, de las cuales es conveniente conocer sus efectos y causas, para poder tomar las medidas necesarias. Aunque es evidente que controlando adecuadamente la segunda puede quedar resuelta la primera.
- 3.- La reducción de emisiones Contaminantes generados por los procesos de fusión se puede realizar principalmente por; un buen diseño del horno, una buena calidad de los materiales y un adecuado funcionamiento de las operaciones unitarias que conforman el proceso.
- 4.- De lo reportado en la literatura, el horno básico de oxígeno es el más contaminante, con respecto a los hornos de hogar abierto y de arco eléctrico.
- 5.- Fue importante realizar este estudio como un compendio, para conocer cuales son los principales elementos contaminantes y saber en que partes del proceso, se pueden diseñar los equipos de control de contaminación más apropiados, para mejorar la tecnología y tener un mayor control.
- 6.- Para ayudar a reducir gran parte de la Contaminación, es necesario utilizar los materiales de carga lo más puros posibles. En vez de usar materias primas en polvo, utilizar esas mismas pero en forma aglomerada.
- 7.- Es necesario una medición de emisiones contaminantes en los procesos de fusión con hornos de crisol y eléctrico de inducción, ya que por muchos aspectos son muy utilizados y no se cuentan con datos y me-

todos de contaminación.

- 8.- Para los diferentes procesos de fusión, los requisitos y necesidades para la instalación de equipos anticontaminantes son también diferentes, por lo que no puede generalizarse un equipo de control para todos.
- 9.- Las normas y reformas ecológicas están muy generalizadas, por medio de una evaluación podría hacerse otras más específicas para cada tipo de industria, ya que difieren tanto en los procesos, técnicas y materias primas, incluso en industrias del mismo ramo.
- 10.- Es necesario realizar una evaluación cuantitativa sobre los problemas técnicos y de contaminación que aquejan a los procesos de fusión, ya que el origen de la contaminación son precisamente los problemas técnicos, resueltos éstos se reducen los de contaminación.
- 11.- Es importante que se realicen otros estudios de Contaminación en otras áreas de la Metalurgia, ya que es muy extensa e involucra una gran variedad de procesos.
- 12.- Con una amplia colaboración y apoyo financiero del gobierno hacia los industriales, para la evaluación de contaminación e instalación de equipos de control, es una alternativa económica para solucionar el grave problema de la contaminación.

BIBLIOGRAFIA

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

- 1.- DONALD F. CAIRNS : Economic effect of Environmental Regulations on Coke Ovens. Iron and Steel Engineer Nov. 1981
- 2.- THE MCILVAINE CO. : Air Pollution Expenditures may reach \$ 200 to \$ 300 million by 1985 Iron and Steel Engineer Jan 1981
- 3.- ELSE MARIE LOBERSLI : Metal uptake in plants from a birch forest area a Copper Smelter in Norway. Water, Air and Soil Pollution vol. 37 de 1988
- 4.- DENNIS L. HIXENBAUGH : Primary Emission Control - A Function of UHP Electric Arc Furnace Hot Metal Productions. Iron and Steel Engineer Sep. 1983
- 5.- M.K. SONKSEN : Destruction of PCB Contaminated Fuel Oil in an Aluminum Furnace. Journal of Metals Feb. 1985
- 6.- JOHN C. TAYLOR : Environmental Challenges for the Lead-Zinc Industry Journal of Metals Aug. 1988
- 7.- ALLAN K. BOOTH : Environmental Regulatory Impact- An Operator Perspective- Mining Congress Journal Feb. 1981
- 8.- MANFRED BENDER : Emission control aspects of modern Electric Furnace steelmaking. Iron and Steel Engineer Sep. 1987
- 9.- DR. HANS TANZEN : Tratado General de Metalúrgia vol. II Fundiciones de Hierro y Acero Ed. Sintes 1972
- 10.- HOWARD F. TAYLOR : Fundación para Ingenieros Co. Editorial Continental 1981
- 11.- A. T. PETERS : Producción Siderurgica Ed. Limusa 1987
- 12.- OSCAR SCHUTZE ALONSO : Tratado Práctico de Moldeo y Fundición Ed, Gustavo Gili S.A. 1970
- 13.- FRANK R. PALMER : Acero para Herramientas Representaciones y Servicios de Ingeniería S.A. 1986

- 14.- F. R. MORRAL : Tratado General de Metalurgia Tomo I
Ed. Reverte S.A. 1982
- 15.- JOHN H. SEINFELD : Contaminación Atmosférica Fundamentos Físicos
y Químicos. Inst. de Estudios de Admon. Local Madrid 1978
- 16.- A. MALISHEV : Tecnología de los Metales
Ed. Mir 1987
- 17.- R. D. ROSS : La Industria y la Contaminación del Aire
Es, Diana México 1974
- 18.- ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE; Problems Air and Water Pollution
arising the Iron and Steel Industry. United Nations New York 1970
- 19.- I Reunion Nacional sobre Problemas de Contaminación Ambiental
tomo II
- a) MOISES G. BICAS : Control de Emisiones del Horno de Cubilote
Bicor Diseño Científico, S.A de C.V
- b) FRANCISCO BURLANDO BORZLI : La Anti-contaminación en Relación
a la Mejoras del Control y eficiencia en los Modernos Hornos
de Fundición . Euro-Americana, S.A.
- c) CARLOS AMEZCUA : Control de Emisiones en Hornos Eléctricos de Arco
Cía. Nacional de Abrasivos, S.A, CARBORUNDUM
- 20.- Situación Mundial de la Contaminación Atmosférica producida por
la Industria Siderúrgica. Instituto Latinoamericano del Fierro y
Acero 1978
- 21.- Comité de Asuntos Ambientales + IISI Tecnología de Control Ambien-
tal de la Industria Siderúrgica. Memoria del Seminario en Rio
de Janeiro, Brasil Instituto Latinoamericano del Fierro y Acero
1988
- 22.- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION DEL 18 DE OCTUBRE DE 1988
- 23.- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION DEL 19 DE OCTUBRE DE 1988
- 24.- GAGETA ECOLOGICA DE AGOSTO DE 1989
publicado por la SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGIA

- 25.- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION DEL 6 DE JUNIO DE 1988
- 26.- ESTUDIO METODOLOGICO DE LAS TECNOLOGIAS DE EVALUACION DEL IMPACTO AMBIENTAL TOMO II PROTEAM S.A. 1984
- 27.- SERVICIOS TECNICOS PROFESIONALES : Estudio Tecnico para un Sistema de Control de Contaminantes del Ambiente por Humos y Polvos en una Fundición de Acero. JEC Nov. 1983
- 28.- SIMPOSIO SOBRE CONTROLE AMBIENTAL NA SIDERURGIA
Controle da Poluicao na Aciaria .Instituto Brasileiro de Siderurgia
Vitoria-es 28 e 29 de Nov, de 1988