

32
29

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

PROCESAMIENTO DE POLVOS PROVENIENTES
DE LA ACERACION EN HORNOS ELECTRICOS
DE ARCO

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N :

JUAN CARLOS FLORES DIAZ
JUAN CARLOS PANIAGUA VAZQUEZ

DIRECTOR DE TESIS: VICENTE NACHER TODO

MEXICO, D. F.

1986.



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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

INDICE	pág.
Introducción	1
CAPITULO 1	
Emisiones Contaminantes que se Generan en los Hornos Eléctricos de Arco	3
CAPITULO 2	
Equipo para el Control de la Contamina- ción en Acerías Equipadas con Hornos Eléctricos de Arco	14
CAPITULO 3	
Alternativas de Aprovechamiento Indus- trial	37
CAPITULO 4	
Análisis de Implantación de los Diver- sos Procesos	65
Comentarios y Conclusiones	77
Bibliografía	82

INTRODUCCION.

Dada la gran diversificación de actividades industriales que se ha venido desarrollando, la ingeniería se ha convertido en una ciencia multidisciplinaria, de tal forma que el ingeniero mecánico, para llevar a efecto gran parte de sus tareas (planeación, mantenimiento, diseño, etc.), debe poseer conocimientos de otras ramas de la ciencia para realizar eficazmente el trabajo encomendado.

Sin embargo en algunas ocasiones la ingeniería olvida los efectos secundarios en los que puede incurrir al fabricar un producto. Como caso concreto, tenemos los polvos que se generan a partir de la fabricación del acero con hornos eléctricos de arco.

En México, hace aproximadamente 13 años en que se obligó a las empresas siderúrgicas a instalar equipos para captar los polvos, para reducir los efectos causados por la emisión de estos residuos. Actualmente los polvos son depositados en basureros municipales, con lo cual es muy probable que por las condiciones climatológicas del lugar, estos sean transportados a la atmósfera, haciendo inútil el proceso de captación.

Los polvos provenientes de la fabricación de acero en hornos eléctricos de arco, contienen una cantidad apreciable de metal capaz de ser recuperado y que por el contrario se desperdicia, cuando podría representar una fuente de ingresos

para las empresas siderúrgicas (Sobre todo, tratándose de los costosos elementos de aleación utilizados en la fabricación de aceros especiales).

Una manera de evitar los problemas antes mencionados, es procesar los polvos para incluirlos nuevamente en el proceso siderúrgico, evitando así, tanto la contaminación ambiental, como la pérdida de esta reserva de metal.

La meta al elaborar esta tesis, ha sido mostrar las principales técnicas que existen a nivel mundial y la factibilidad de implantación de alguna de ellas en nuestro país, esperando que sirva como base para un estudio más a fondo por parte de las industrias siderúrgicas mexicanas, con miras a la construcción de una planta para procesar estos residuos.

C A P I T U L O 1

1. EMISIONES CONTAMINANTES QUE SE GENERAN EN LOS HORNOS ELECTRICOS DE ARCO.

La producción de humos y polvos en hornos de aceración resulta más espectacular que dañina, comparada con otros procesos de producción.

Las industrias del hierro y del acero constituyen por supuesto, importantes fuentes de polución, estimándose que son responsables del 7.5% de las materias finamente divididas enviadas a la atmósfera por todas las industrias a través del mundo.

La aceración produce básicamente polvo de óxido de hierro, que por su concentración en el fluido conductor y su color hace impresionante la emisión, muy notoria en su fuente y en el manto que se forma en la atmósfera, visible a mucha distancia. Los polvos son transportados por el caudal de gases calientes ascendentes, y en el caso de que no se cuente con equipo para controlar las emisiones, la mezcla permanece suspendida y homogénea por mucho tiempo, dependiendo de las condiciones atmosféricas y las corrientes de aire.

La precipitación del polvo se produce en grandes extensiones, desde el punto de emisión, hasta varios kilómetros a la redonda, dependiendo de la dirección y velocidad del viento del lugar. El perjuicio causado depende de la localización de la fuente. En el caso de México, las fuentes se en-

cuentran tanto en zonas densamente pobladas, como en zonas rurales.

El problema principal existente es la producción de contaminantes en El Valle de México, en la que funciona una gran variedad de industrias y vehículos.

La particularidad geográfica de la zona, de estar encajonada por cadenas montañosas, hace que se mantenga en forma constante una capa de atmósfera contaminada, que no se desplaza hacia lugares despoblados, afectando a una población de más de 15 millones de habitantes. En esta zona se produce más del 15% de la producción total de acero en el país.

1.1 Expresiones Para la Concentración de Gases y Partículas.

La concentración de una sustancia es la cantidad de la misma en un volumen determinado o en una cantidad dada de otra materia. Las concentraciones de los gases pueden expresarse por razones o volúmenes, en la cual la expresión de concentración de un gas estará dada por la relación existente del volumen del gas en cuestión, entre el volumen total de la mezcla de gases analizados.

La concentración de los gases podrá expresarse en partes por millón (ppm) o en partes por billón (ppb); expresiones en las que 1 ppm o 1 ppb, significara que habrá un volumen de gas en un millón o en un billón de volúmenes de la mezcla de gases, dependiendo de la expresión utilizada.

Una expresión utilizada tanto para gases como para partículas es la que relaciona la masa que posee el gas o las partículas en un metro cúbico de aire.

Es útil señalar que los valores de concentración no proporcionan por sí mismos información alguna sobre los efectos de los contaminantes. En el caso de algunas sustancias, 1 ppb no tiene importancia alguna; en cambio en otras, es altamente significativa. Por lo tanto se habrá de considerar tanto las concentraciones de los contaminantes como sus efectos sobre los organismos vivos y los materiales.

1.2 Formación del Humo.

El proceso de formación del humo durante la insuflación del oxígeno en el metal fundido no se conoce completamente, pero está generalmente aceptado que la agitación por eliminación del carbono (carbón boil) provoca la eyección de pequeñas partículas de hierro, las que al contacto con el oxígeno, se oxidan violentamente a óxido férrico, el que también se produce al vaporizarse la superficie del baño.

Actualmente está muy difundida la práctica de comenzar la insuflación de oxígeno tan pronto como se ha formado una cierta cantidad de metal fundido en el fondo del baño, por consiguiente el oxígeno se emplea durante la mayor parte del período de fusión, el cual se confunde con el período de afinado; solamente se deja de insuflar oxígeno al principio de la fusión y en las etapas finales del proceso. Por consiguiente

Una expresión utilizada tanto para gases como para partículas es la que relaciona la masa que posee el gas o las partículas en un metro cúbico de aire.

Es útil señalar, que los valores de concentración no proporcionan por sí mismos información alguna sobre los efectos de los contaminantes. En el caso de algunas sustancias, 1 ppb no tiene importancia alguna; en cambio en otras, es altamente significativa. Por lo tanto, se habrá de considerar tanto las concentraciones de los contaminantes, como sus efectos sobre los organismos vivos y los materiales.

1.2 Formación del Humo.

El proceso de formación del humo durante la insuflación del oxígeno en el metal fundido, no se conoce completamente, pero está generalmente aceptado que la agitación por eliminación del carbono (carbón boil) provoca la eyección de pequeñas partículas de hierro, las que al contacto con el oxígeno, se oxidan violentamente a óxido férrico, el que también se produce al vaporizarse la superficie del baño.

Actualmente está muy difundida la práctica de comenzar la insuflación de oxígeno tan pronto como se ha formado una cierta cantidad de metal fundido en el fondo del baño, por consiguiente el oxígeno se emplea durante la mayor parte del período de fusión, el cual se confunde con el período de afinado; solamente se deja de insuflar oxígeno al principio de la fusión y en las etapas finales del proceso. Por consiguiente

la práctica moderna, genera humos durante un período más prolongado que antes, pero la emisión máxima, siempre tendrá lugar durante el período de oxidación final, cuando es máxima la insuflación de oxígeno.

1.3 Emisiones Contaminantes de los Hornos Electricos de Arco.

1.3.1 Partículas.

Esta emisión alcanza valores medios diferentes, según que el horno posea o no inyección de oxígeno.

Con inyección de oxígeno: 12 kg/t. de acero.

Sin inyección de oxígeno: 4 kg/t. de acero.

Las cifras anteriores se refieren a emisiones antes de tratar los gases en un sistema de limpieza, a cuya salida los valores correspondientes se reducen a cifras medias de 0.05 a 0.04 kg/t. de acero, dependiendo del sistema utilizado para tratar los gases provenientes del horno.

Tamaño de partículas μm .	Capacidad del Horno (t)					
	3.5	4.0	14.0	17.0	19.0	50.0
0-5	57.2	63.3	59.0	72.0	43.3	71.9
5-10	37.8	17.7	33.1	10.5	17.7	8.3
10-20	3.4	8.0	4.9	2.7	6.4	6.1
20-40	1.6	8.1	3.0	4.7	14.6	7.5
>40	0.9	2.9	0.0	10.1	18.0	6.3

La composición de las partículas emitidas por un horno eléctrico, varía con cada período de colada, en la siguiente tabla, se dan unos resultados obtenidos en coladas de aceros de baja aleación.

Análisis Químico de los Polvos Emitidos en los Distintos Periodos de la Colada de un Horno de Arco Eléctrico

Periodo	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	H ₂ O	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₂
Fusión.....	56.75	1.32	10.15	9.77	3.39	0.46	0.31	0.60	2.08
Distancia con ní- vel.....	66.00	1.32	5.81	0.76	6.30	0.67	0.17	0.59	6.00
Colado de Crispen.	65.37	0.86	9.17	2.12	3.10	1.83	0.14	0.76	1.81
Aflao.....	26.60	0.53	6.70	Trazas	35.22	2.72	0.45	0.55	7.55

1.3.3 Gases.

a) Oxidos de Azufre.

Los óxidos del azufre (SO_x) como contaminantes del aire son el bióxido de azufre (SO₂), el trióxido de azufre (SO₃) además de sus correspondientes ácidos (H₂SO₄ y H₂SO₃) y sales (sulfitos y sulfatos).

La mayor fuente de óxidos de azufre es la combustión de azufre contenido en combustibles fósiles sólidos y líquidos. La combustión de carbón y petróleo crea óxidos de azufre en un rango 40 a 80 partes de bióxido de azufre por una parte de ácido sulfúrico o de trióxido de azufre. Altas concentraciones de SO₂ se han relacionado con los principales desas-

tres de contaminación del aire, del tipo de los que han tenido lugar en las grandes ciudades, tales como Londres y que causaron numerosas muertes.

Después de entrar a la atmósfera el SO_2 es oxidado a SO_3 bajo la influencia de la luz solar. La humedad del aire reacciona rápidamente con SO_3 para formar una niebla de ácido sulfúrico.

El ácido sulfúrico es un ácido muy fuerte, corrosivo, que destruye el tejido viviente, las partes de nilón y ataca al mármol. La niebla de ácido sulfúrico en el aire consta de gotas que miden por regla general de 1 a 4 μm de diámetro este margen particular de tamaño favorece la penetración profunda del ácido en los pulmones.

En los hornos eléctricos de arco, dado que prácticamente no se utilizan combustibles líquidos o gaseosos y que la materia prima casi no contiene compuestos de azufre, tienen como resultado, que las emisiones de óxidos de azufre son mínimas, comparadas con las originadas por otras fuentes.

b) Monóxido de Carbono (CO).

La principal fuente de emisiones de este gas no se encuentra en la industria, sino en los automóviles, estimándose que son responsables del 75% del monóxido de carbono producido, siendo la principal causa, la combustión incompleta de los combustibles utilizados.

El tiempo medio de residencia de este gas en la atmósfera ha

sido estimado en cinco años.

El monóxido de carbono aunque es incoloro, inodoro y no irritante, es muy tóxico. El CO es absorbido exclusivamente por los pulmones, reacciona con la hemoglobina de la sangre formando carboxihemoglobina (COHb), la cual reduce la capacidad de transportación de oxígeno en la sangre.

Las emisiones de CO en los hornos eléctricos de arco son muy reducidas, si se cuenta con equipo para controlar las emisiones. La máxima emisión de este gas tiene lugar durante el soplado con oxígeno, alcanzando durante un corto de tiempo hasta el 60% de los gases emitidos. Como la mayoría del monóxido producido se quema a la salida del horno, la contaminación originada es muy poca.

c) Oxidos de Nitrógeno.

En la terminología de la contaminación del aire, los óxidos de nitrógeno se refieren a óxidos gaseosos de nitrógeno, el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el óxido nítrico (NO). La mayor parte de los óxidos de nitrógeno es óxido nítrico, ambos son creados por cualquier proceso de combustión que tenga lugar en el aire, porque la oxidación del nitrógeno tiene lugar en la alta temperatura de la combustión de carbón, petróleo, gas natural y gasolina en los motores de combustión interna; igualmente también es creado por fertilizantes. Los óxidos de nitrógeno se generan también en la naturaleza debido en parte por el ciclo del nitrógeno de la materia orgánica.

Al considerar la toxicidad de estas sustancias, solo se consideran los efectos del dióxido de nitrógeno, porque el otro óxido de nitrógeno se convertirá a NO_2 . Los efectos de este gas sobre el hombre, van desde un olor desagradable y una irritación moderada, hasta una congestión pulmonar grave, dependiendo de la concentración y el tiempo de exposición.

Las emisiones de NO_2 son fácilmente de identificar por el color rojo oscuro que tienen, razón por la cual, es el único de los principales gases contaminantes que es visible. El NO_2 es una de las sustancias que entran en las reacciones químicas que producen el smog.

En los hornos eléctricos de arco no se ha determinado con suficiente certeza en que proporción contribuye a las emisiones de óxido de nitrógeno, pero en general un horno de arco eléctrico produce menos óxidos de nitrógeno que otros tipos de hornos.

d) Fluoruros.

La principal fuente de compuestos fluorados proviene de la producción de aluminio.

En los hornos de arco eléctrico el consumo medio de compuestos fluorados es de 3.4 kg/t. de acero, debido al consumo de espato flúor, el cual, es utilizado como fundente.

Las emisiones de compuestos fluorados, varían según se produzcan aceros al carbono o aceros aleados. Para aceros al

carbono, el valor de las emisiones queda reducido por los sistemas de limpieza a aproximadamente 2g/t. y para aceros aleados a 4 g/t. de acero producido.

C A P I T U L O 2

2. EQUIPO PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION EN ACERIAS EQUIPADAS CON HORNOS ELECTRICOS DE ARCO

2.1 Captación de los Humos.

En los hornos eléctricos de arco, se producen emisiones de gases con contenidos contaminantes durante los diversos periodos del proceso. Durante la carga, las emisiones están constituidas fundamentalmente por materias volátiles, sobre todo hidrocarburos procedentes de las chatarras aceitosas, tales como las virutas de torno, etc. Las emisiones durante el periodo de fusión, inyección de oxígeno y colada, están formadas principalmente por partículas con alto contenido de hierro.

Aproximadamente el 86% de la emisión de contaminantes en los hornos eléctricos, se produce durante las operaciones de fusión y afino, y el resto, durante la carga y la colada. Los sistemas actuales controlan la emisión solo durante el tiempo de fusión y afino, cuando la bóveda esta colocada sobre el horno.

La tendencia actual, es tratar de captar dichas emisiones, no solamente durante las operaciones de fusión y afino que ocupan el 86% del ciclo de funcionamiento del horno, sino también durante el 14% restante, producido durante la carga y la colada.

El equipo de captación de humos puede dividirse en líneas generales, en cuatro tipos diferentes, según se pretenda la captación total de humos o únicamente de aquellos que se

producen durante las operaciones de fusión y afino. La clasificación de los equipos de captación es la siguiente:

- a) Sistema de extracción directa.
- b) Sistema de extracción semidirecta.
- c) Campana ubicada a baja altura.
- d) Campana elevada.

Cada uno de estos sistemas de captación tiene sus ventajas e inconvenientes, pero ninguno de ellos es totalmente satisfactorio.

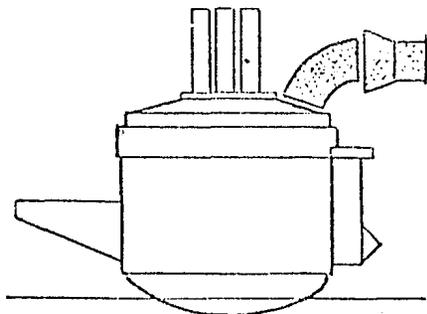
2.2 Sistemas de Extracción Directa.

En los sistemas de extracción directa el humo es captado a través de un agujero practicado en la bóveda del horno, lo cual es razonablemente eficiente cuando la bóveda se encuentra en posición, aunque deja escapar cierta proporción de humos a través de las aberturas para los electrodos, puertas del horno, etc. El sistema de extracción directa debe desconectarse durante la carga, la colada y a veces durante la eliminación de la escoria; operaciones durante las cuales hay emisión de cantidades apreciables de humo.

Durante la insuflación de oxígeno, se forma monóxido de carbono, el cual debe completar su combustión a dióxido de carbono tan pronto como este gas entra en contacto con el aire arrastrado a través del espacio de deslizamiento entre el codo cerca de la bóveda y la tubería de extracción.

Por otra parte en la primera parte de la fusión de la

carga, se forma hidrógeno, (en México se presenta este tipo de problemas en época de lluvias, a consecuencia de la disociación de la humedad que lleva el aire, se suelen producir estos fenómenos y también adsorción de hidrógeno en la carga) teniéndose que admitir suficiente aire dentro del sistema para evitar explosiones debido a la presencia de combustibles no quemados.



Sistema de Extracción Directa

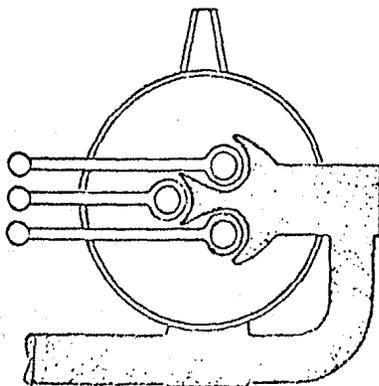
Se considera generalmente para el diseño del sistema de extracción directa, que el flujo de gases formado por humo del horno y aire arrastrado de las demás partes, debe corresponder cuando menos a 15 veces la cantidad de oxígeno insuflado.

Cuando se trata de la fabricación de aceros aleados, se ha comprobado que la toma directa de gases por la bóveda afecta la calidad de los mismos, ya que la cuba del horno está en ligera depresión, lo cual produce entradas de aire por el huelgo existente entre el codo de la toma en la bóveda y la tubería general de evacuación de gases. Las entradas de aire falsas, pueden oxidar las adiciones de los elementos de aleación.

2.3 Sistemas Semidirectos.

Estos sistemas constituyen una variante de los de extracción directa y se emplean para mantener las condiciones de reducción necesarias dentro del horno, cuando se producen ciertos tipos de aceros aleados.

Sobre la estructura soporte de la bóveda de cada horno va colocada una campana de extracción lateral por la cual serán captados los gases emitidos por el horno. Esta campana lateral lleva también interconectada una campana para la puerta de escoriado, fija en el cuerpo del horno, cuya función es captar los humos que escapan por ésta puerta.



Sistema de Capatación de Campana Lateral

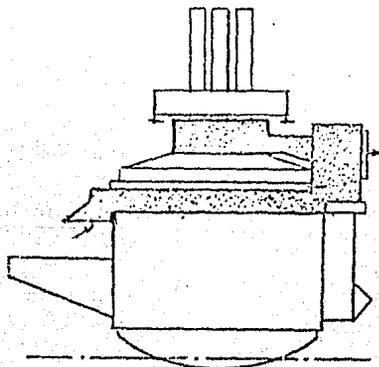
Al girar la bóveda del horno, la campana de extracción lateral girará con ésta, pero la campana del escoriadero quedará fija en el cuerpo del horno, siendo esto posible por una brida de separación en el ducto que interconecta la campana lateral con la campana de la puerta de escoriado. Esta últi-

ma campana cuenta con una compuerta manual de regulación de flujo que deberá ajustarse de acuerdo con la cantidad de humos que escapen por la puerta de escoriado.

Las campanas de extracción lateral cuentan con una chaqueta de agua en la sección central para disipar calor de la placa en esa zona. Tanto la campana de escoriado como el ducto que la interconecta con la campana de extracción lateral están contruidos de acero para calderas y algunas partes de acero al carbón; en ocasiones estas campanas pueden estar revestidas con refractarios.

2.4 Campana Colocada a Baja Altura.

Estas instalaciones llevan campanas o marquesinas retráctiles, colocadas debajo del nivel del puente grúa. Las campanas suelen llevar orificios para dejar pasar los electrodos, las cuales están proyectadas para recoger todo el humo emitido desde diferentes partes, sin afectar la presión

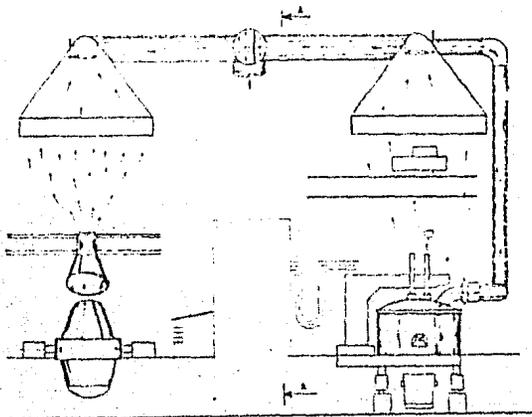


Sistema de Extracción de Campana Colocada a Baja Altura

del horno, sin embargo, tienen el inconveniente de que ocupan mucho espacio y sobre todo dificultan las operaciones de manejo del horno y la observación del proceso de colada. En la actualidad su empleo esta circunscrito a hornos pequeños.

2.5 Campana Elevada.

Las campanas elevadas, colocadas sobre el nivel del puente grúa, se pueden clasificar en dos tipos: las que se emplean con el objeto principal o único de captar el humo sin ayuda de ningún otro equipo (campanas primarias) y las que se utilizan como equipo secundario, esto es, en conjunto con los sistemas de extracción directa o semidirecta para captar los humos que escapan de estos.



Sistema de Captación de Campana Superior en una Acería

El sistema de campana elevada puede captar los humos en forma efectiva, aunque tiene la desventaja de permitir que

todos los humos penetren en la atmósfera del taller antes de ser captados. Esta situación es molesta, en particular cuando se trabaja con elevadas dosis de insuflación de oxígeno; se dificulta la visibilidad y estorba la operación eficiente del puente grúa.

Los sistemas de captación con campana primaria (única), son también susceptibles de ser interferidos por corrientes de aire en sentido transversal, por lo que no son considerados satisfactorios para los modernos talleres de acería.

Las campanas de techo son por lo general rectangulares y están divididas en tres compartimientos conectados mediante registros o compuertas, con un ducto común de salida.

Durante los periodos de carga, fusión, afino y colada, las compuertas se mueven mediante dispositivos interconectados con el mecanismo vasculante del horno, esto proporciona mayor poder de extracción aislando los compartimientos, pues así uno de estos queda funcionando solo sobre la fuente de emanación de humos.

2.6 Control de Temperatura de los Gases Aspirados.

Para el funcionamiento de cualquier tipo de depurador de polvos es necesario que la temperatura de los gases a la entrada del depurador sea lo más adecuada posible.

El conjunto de gases recogidos en la campana superior, casi no causan problemas de temperatura, ya que la dilución de los mismos, al mezclarse con el aire ambiente arrastrado

mientras ascienden hacia la campana, los va enfriando de forma adecuada.

Los gases que se producen durante las etapas de fusión y afino y que se recogen por sistema directo o semidirecto, tienen temperaturas que pueden oscilar entre 600 y 1000 °C. En algunos casos, en los que se utiliza campana superior, los gases del horno al mezclarse con el aire, pueden tener una temperatura todavía lo suficientemente alta para algunos tipos de depuradores de polvo, además, también se genera calor adicional cuando se queman los gases combustibles, con lo cual se evita la acumulación de mezclas explosivas en el sistema de limpieza, mejorando la calidad de los gases residuales.

Los sistemas de enfriamiento de los gases procedentes del horno suelen ser de tres tipos:

1. Enfriamiento por evaporación.
2. Enfriamiento por conducción-convección.
3. Enfriamiento por dilución.

2.6.1 Enfriamiento por Evaporación.

Se lleva acabo evaporando una cantidad limitada de agua dentro de la corriente gaseosa, sin permitir que el gas quede saturado de vapor.

Es un sistema eficaz y compacto, pero exige en contrapartida un control muy estricto de la adición de agua. Un exceso de agua o una distribución defectuosa de los rociadores, e incluso la producción de gotas grandes, tienden a aglomerar el

polvo y producir lodos y costras de polvo en el enfriador.

2.6.2 Enfriamiento por Conducción-Convección.

El sistema de conducción-convección necesita la utilización de superficies intercambiadoras de calor de gran tamaño, expuestas al medio ambiente con el fin de lograr el enfriamiento adecuado.

Estas instalaciones exigen tuberías de gran longitud debido al pequeño rendimiento térmico de la transferencia de calor gas-tubo y tubo-aire del sistema; también casi siempre se deposita algo de polvo procedente de los gases sucios en la superficie de enfriamiento, lo que disminuye aún más el rendimiento de refrigeración.

El sistema consiste en una tubería de aspiración entre el horno y el ventilador, lo suficientemente larga para que los gases se enfríen naturalmente, esta tubería puede alcanzar hasta 100 m de longitud. La sección de esta tubería se determina de tal forma, que las velocidades de paso sean lo suficientemente altas para evitar en lo posible la deposición de polvos, además una velocidad elevada favorece la transferencia de calor en la pared.

2.6.3 Enfriamiento por Dilución.

En este sistema el enfriamiento se realiza introduciendo aire para que se mezcle con los gases calientes y sucios. El uso del sistema requiere que el volumen de gases manejado por el sistema sea bastante grande en comparación con los ante-

riores.

El volumen de aire de enfriamiento que se debe añadir al sistema para mezclarlo con los gases calientes puede ser de cinco a diez veces el volumen primitivo de los gases sucios. El volumen adicional manejado, da por resultado un tamaño mayor del equipo y consecuentemente un mayor consumo de potencia, sin embargo este tipo de enfriamiento presenta ciertas características favorables como son:

1.ª Flexibilidad: El sistema se puede adaptar rápidamente a cambios de volumen y temperatura de los gases sucios.

2.ª Compatibilidad: El gran volumen de gases a bajas temperaturas que se recoge en la campana secundaria o marquesina de la cubierta del taller, se puede mezclar con los gases sucios de alta temperatura procedentes de la toma directa de horno para ser utilizados como aire de dilución.

3.ª Facilidad de mantenimiento: Debido a que no hay interfase húmeda-seca que produzca una acumulación de polvo o cree problemas debidos a erosión y a corrosión.

2.7 Sistemas de Depuración de los Gases.

El equipo de depuración de los gases viene en cierta manera condicionado por el sistema de enfriamiento que se utilice en los mismos, ya que si éste es seco, o sea por dilución o conducción-convección, se podrá utilizar un sistema de depuración seco y en casos de enfriamiento por agua será más conveniente un tratamiento húmedo de estos gases.

En la industria siderúrgica existen cuatro tipos principales de instalaciones de limpieza de humos:

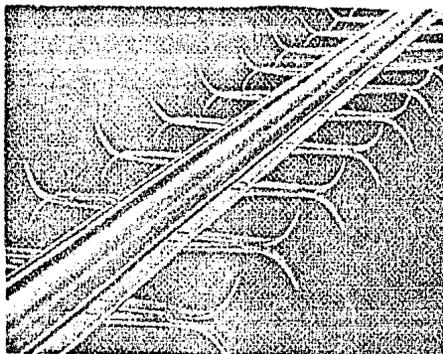
1. Colectores centrífugos.
2. Precipitadores electrostáticos.
3. Lavadores en húmedo
4. Filtros de mangas.

2.7.1 Colectores Centrifugos.

En los ciclones y equipo similar, la fuerza centrífuga actúa sobre las partículas de polvo de tal manera que mientras mayor sea la velocidad, la eficiencia del captador será mayor. Los colectores centrífugos son eficientes con partículas de tamaño mayor a 12 micrones, pero en el tratamiento de los polvos de horno eléctrico de arco donde es común que el polvo tenga un tamaño inferior a 1 micrón, los colectores centrífugos son poco efectivos.

2.7.2 Precipitadores Electrostáticos.

En el precipitador electrostático se aplica corriente continua de alto voltaje al electrodo de descarga, el cual habitualmente es alambre de púas o plancha con bordes aguzados, con el fin de aumentar las características de descarga por efecto corona; ambos materiales son de acero inoxidable. El efecto corona provoca la ionización del humo con lo cual, las partículas de polvo son arrastradas hacia el electrodo conectado a tierra.



Electrodo de Descarga de un Precipitador Electrostático

En un precipitador en seco, el polvo es removido por golpeteo. En un precipitador húmedo esta operación se hace lavando con agua de arriba abajo al final de la colada cuando se corta el suministro de energía eléctrica. El efluente resultante se lleva a un espesador y el rebalse de agua clarificada vuelve a ser empleado en el sistema.

Los gases calientes son rociados con agua para disminuir su resistencia eléctrica. Esta pulverización del agua disminuye también la temperatura del humo, lo cual contribuye a mejorar la precipitación.

En los precipitadores es indispensable tener un sistema de control automático para mantener el voltaje de descarga y el amperaje óptimos, bajo condiciones variables y para extinguir cualquier arco eléctrico persistente. Este control puede basarse en un contador de chispas y un sistema de alarma que entra en acción cuando el chispeo es continuo y por tanto se ha formado propiamente un arco eléctrico.

En general se prefiere el precipitador en húmedo para los hornos eléctricos de arco, pues la corriente de agua ya mencionada, contribuye a eliminar compuestos fluorados originados en los fundentes y otros compuestos corrosivos que provienen de la chatarra.

La principal desventaja del precipitador electrostático, es la disminución muy rápida que presenta ya sea porque la acumulación de polvos es excesiva, o ya sea porque el volumen de gases sobrepasa al de la capacidad de diseño. Otra desventaja es que requieren una instalación para el tratamiento del efluente líquido y una cámara de combustión con quemadores y el mayor grado de mantenimiento que necesitan el cual es mayor que en los lavadores con agua y filtros de mangas.

Sus ventajas son la baja pérdida de carga y el bajo consumo de energía, sin embargo estas ventajas no son suficientes para contrarrestar sus desventajas.

2.7.3 Lavadores en Húmedo.

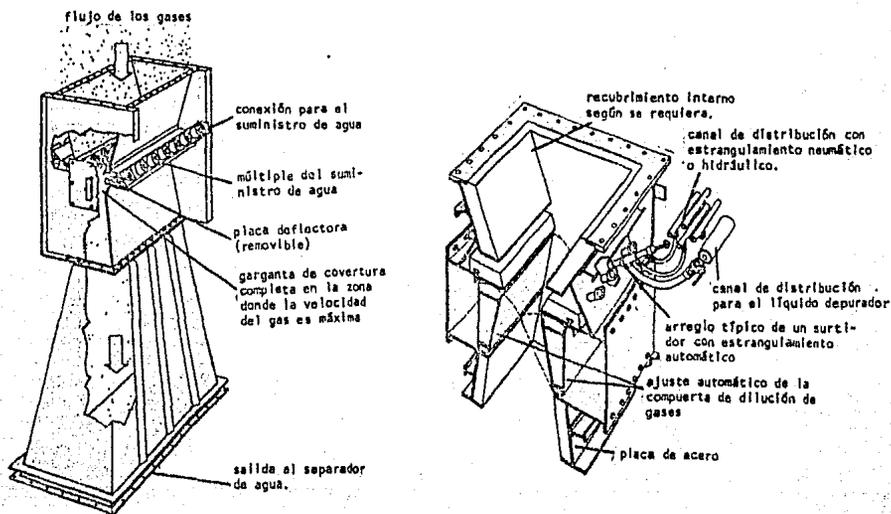
En esos equipos, el polvo es captado por impacto de las partículas del mismo con pequeñas gotas de agua. El agua pulverizada dentro del flujo de gases no sólo sirve para remover el polvo sino que también sirve para enfriar los humos, con lo cual, las paredes interiores quedan libres de polvo y el lavador tiene un dispositivo para sacar el polvo acumulado.

Mientras más pequeñas sean las partículas sólidas, mayor es la energía necesaria para captarlas, por esta razón sólo

los lavadores que tienen una caída de presión del orden de 110 mbar son los más adecuados para la captación de los humos de hornos eléctricos de arco. Los lavadores más efectivos son los lavadores venturi de estrangulación variable y el lavador anular.

Lavador Venturi de Estrangulación Variable.

Poseen una estrangulación que se ajusta automáticamente para mantener una caída de presión fija, bajo condiciones de carga variable.



Arreglo de un Lavador Venturi de Estrangulación Variable

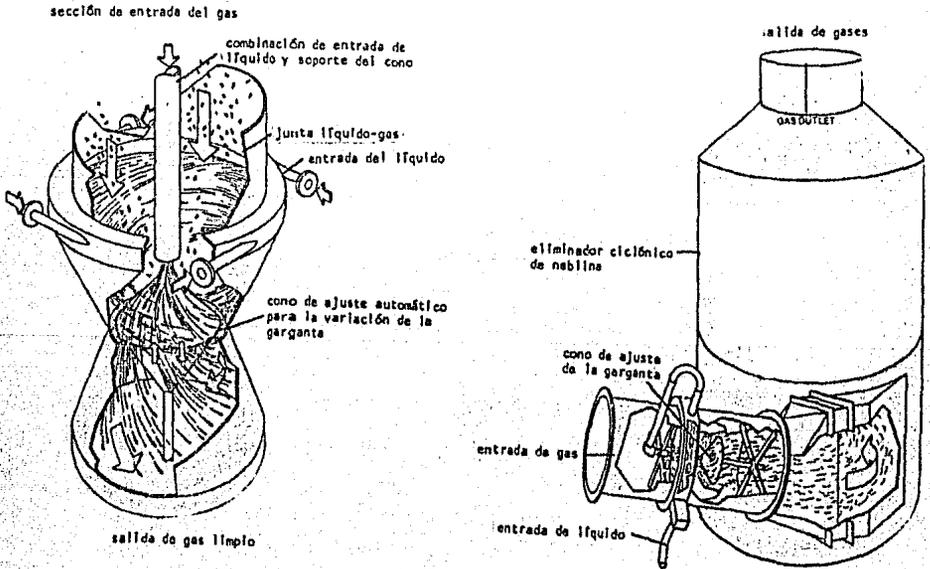
Se inyecta agua dentro de la masa de gases que fluye a gran velocidad a la entrada del venturi y en sentido perpendicular al flujo; la aglomeración y captación de las particu-

las de polvo se produce en la zona de turbulencia, más abajo de la estrangulación y con la correspondiente elevada pérdida de energía.

Lavadores Anulares.

La caída de presión se produce a través de una estrangulación variable anular por efecto de modulación automática de un disco o cono.

Se inyecta agua a través de toberas antes del espacio anular o a través del eje de accionamiento del disco, pero en ambos casos el agua choca con el disco o cono, generando un flujo casi en ángulo recto al flujo de gases. La acción cortante del gas en el borde del disco atomiza el agua y las pe-



Diferentes Arreglos de un Lavador Anular

queñas partículas de agua chocan con los gases y captan el polvo.

Las desventajas de los lavadores con agua son su elevada pérdida de energía y la producción de efluente líquido que deberá tener una instalación para su tratamiento. Sus ventajas consisten en que son capaces de absorber fuerte sobrecarga sin grave pérdida de eficiencia y que además el costo de mantenimiento es bajo.

2.7.4 Filtros de Mangas.

Diseño y Construcción.

La forma que invariablemente se emplea en los hornos eléctricos de arco es la manga, que para los hornos de mayor tamaño comprende unidades de 10 metros de largo y 0.3 metros de diámetro, montadas en una cámara de varios compartimientos. La eficiencia de los filtros sobrepasa el 99.9% y poseen una caída de presión comparativamente baja.

Ha habido problemas en los sistemas de extracción directa al quemarse los sacos debido a la elevada temperatura de los gases. Aunque la temperatura de los gases puede disminuirse por pulverización de agua, los controles que se necesitan para evitar la condensación son complicados y costosos. Si a pesar de estos controles se produce condensación, entonces se aglutinara el polvo sobre la tela.

Se ha probado el enfriamiento mediante intercambiadores de calor. pero sin resultados satisfactorios, debido al ele-

vado costo de mantenimiento y a la rápida baja del rendimiento por la acumulación de polvo. La única forma satisfactoria de disminuir la temperatura de los gases es por dilución con aire ambiente, antes de que entren a la cámara que contiene a las mangas.

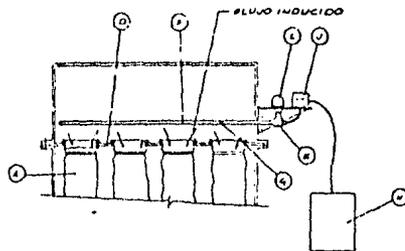
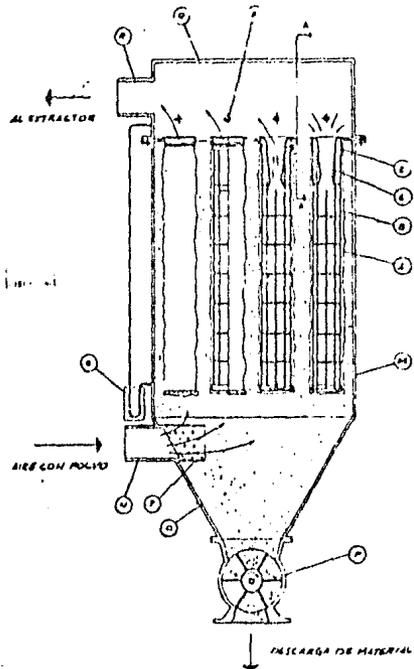
Se pueden instalar dispositivos parachispas a la entrada de la cámara, pero no parece que las chispas constituyan un problema, debido a la masa despreciable que tiene la mayor parte del polvo y siempre que haya una adecuada dilución de aire para disminuir la temperatura de los gases.

Se han utilizado varios materiales para fabricar las mangas filtrantes, pero los materiales mas satisfactorios para los gases de hornos eléctricos de arco son: el dacrón, el orlón, el terylene y el poliéster tratados con siliconas. Estos materiales son relativamente baratos, capaces de resistir el desgaste por abrasión, temperaturas de hasta 230 °C y poseen buena resistencia al ataque de ácidos y álcalis. La fibra de vidrio a pesar de ser satisfactoria desde muchos puntos de vista y ser capaz de resistir temperaturas más elevadas, no puede emplearse si se usa espato flúor como fundente, pues se produce el rápido deterioro de las mangas al presentarse trazas de ácido fluorhídrico.

Limpieza.

Durante la operación normal el polvo se acumulara en la superficie de las mangas, mejorando la eficiencia de filtración pero aumentando la caída de presión. Cuando se alcanza la ca-

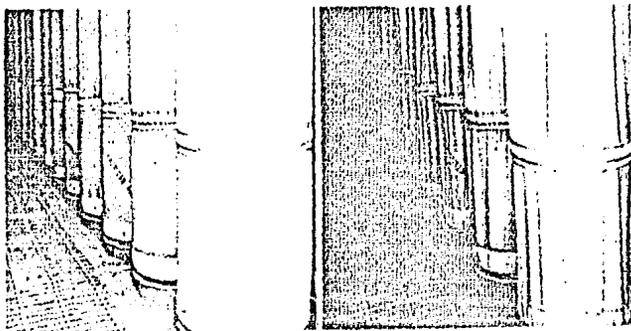
COLECTOR DE POLVO CON INYECTOR PULSANTE DE AIRE



SECCION A - A

- A BOLSAS FILTRANTES
- B RETENEDORES
- C COLLARINES
- D ESPEJO
- E VENTURIS
- F TUBO DE SOPLO
- G ORIFICIO
- H PROGRAMADOR A CONTROL REMOTO
- J VALVULA SOLENOIDE
- K VALVULA DE DIAFRAGMA
- L TUBO DE SUMINISTRO DE AIRE
- M CUERPO DEL COLECTOR
- N ENTRADA DE AIRE CON POLVO
- O TOLVA
- P VALVULA SELLO DE AIRE
- Q PLENUM
- R EXTRACCION DE AIRE LIMPIO
- S MANOMETRO
- T DIFUSOR

ida de presión crítica, se desconecta una sección para limpiarla, lo cual puede hacerse por sacudida mecánica, soplado inverso de la manga o por inversión del flujo de gases.



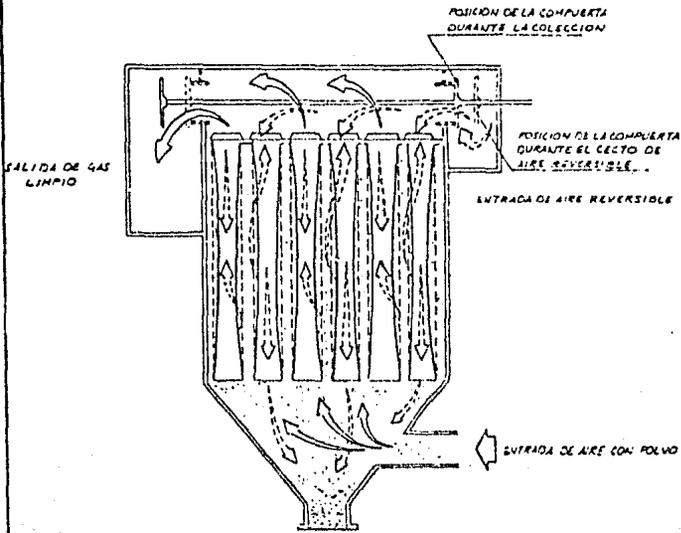
Filtros de Bolsa en Operaciones de Filtrado y Limpieza

El sacudimiento mecánico es adecuado para mangas de hasta 5 metros de largo y se acostumbra a provocarlo mediante un dispositivo excéntrico, accionado por motor eléctrico, que actúa sobre el bastidor que soporta la manga.

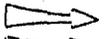
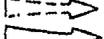
El sistema de soplado invertido emplea una fuente externa de aire comprimido y comprende habitualmente, sea el movimiento continuo, hacia arriba y abajo dentro de la manga de un tubo colector que arroja chorros de aire intermitentes contra la manga, o bien toberas fijas que envían aire dentro de la manga. La principal desventaja de este sistema es que mecánicamente son complicados y requieren considerable mantenimiento.

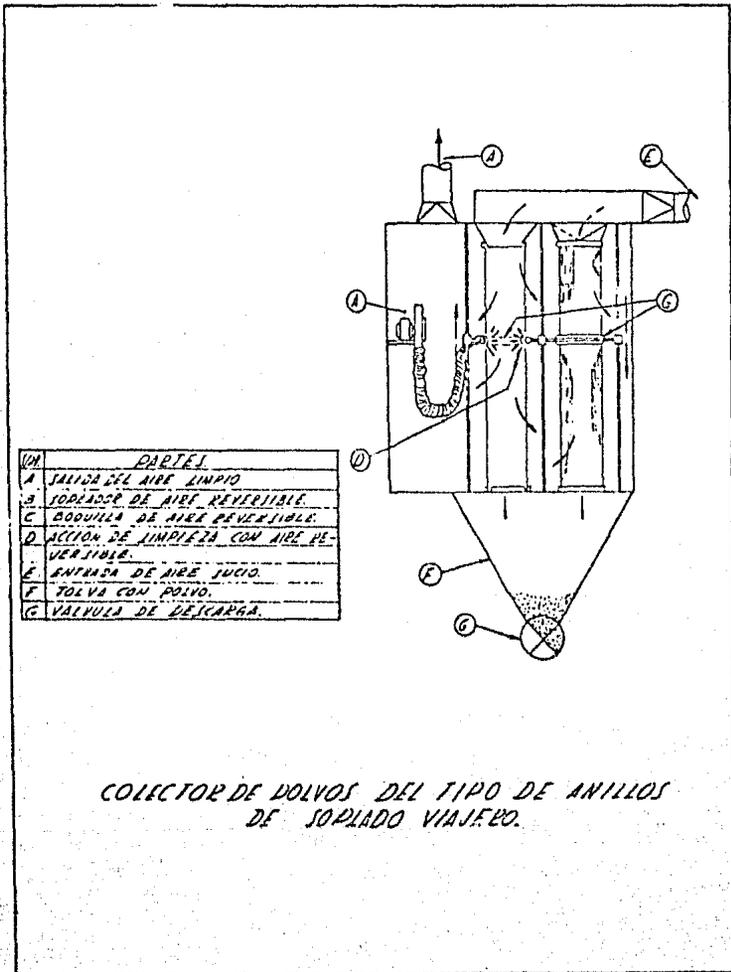
El sistema más satisfactorio para gases de horno de arco

COLECTOR TIPO AIRE REVERSIBLE
A BAJA PRESION



LEYENDA

-  GAS SUCIO
-  AIRE REVERSIBLE
-  GAS LIMPIO

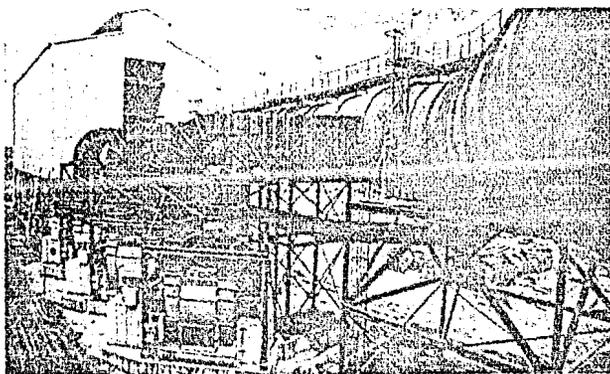


CON	PARTES
A	SALIDA DEL AIRE LIMPIO
E	SOPLADOR DE AIRE REVERSIBLE
C	BOQUILLA DE AIRE REVERSIBLE
D	ACCION DE LIMPIEZA CON AIRE REVERSIBLE
E	ENTRADA DE AIRE SUJO
F	TOLVA CON POLVO
G	VALVULA DE DESCARGA

COLECTOR DE POLVOS DEL TIPO DE ANILLOS DE SOPLADO VIAJERO.

es el de inversión del flujo, en el cual el aire de limpieza es suministrado por ventiladores individuales.

En el tiempo de limpieza de un compartimiento se cierra la compuerta de entrada de los gases y se abre la compuerta de aire reverso, provocando en las bolsas del compartimiento un flujo de aire en sentido contrario, con lo que la capa de polvo se desprende y cae en la tolva de recepción de polvo. El aire utilizado para estas operaciones es filtrado para ser desalojado por una chimenea.



Vista Parcial de un Sistema de Captación de Bolsas Filtro

C A P I T U L O 3

3. ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO INDUSTRIAL.

Como en todos los procesos de fabricación, en la producción de acero resultan subproductos que no son fácilmente reciclables a la corriente principal del proceso. La aplicación de mecanismos que eviten o reduzcan la contaminación atmosférica hace que se incrementen las dificultades para reciclarlos, así como la cantidad de desechos que requieren disposiciones de seguridad para su descarga en tiraderos.

Mundialmente cerca de 2.0 a 3.0 Mt de óxidos en polvo o 'humo', son colectados durante la fabricación del acero en hornos de arco eléctrico y vertidos a tiraderos cada año. Estos polvos y sedimentos poseen una valiosa cantidad de metales; de esta forma, grandes cantidades de metales aleantes provenientes de la producción de acero, tales como el cromo, níquel, molibdeno y manganeso son despilfarrados. Los polvos en particular, los provenientes de la producción de aceros simples al carbono, en ocasiones llegan a contener altas concentraciones de plomo y zinc, los cuales deben de manejarse con cuidado por los daños que pueden causar a la salud si no se descargan en sitios adecuados.

En años recientes, las disposiciones legales sobre desechos han vuelto a incrementar las dificultades y costos en la descarga de estos residuos. Para contrarrestar los efectos negativos (económicos y ecológicos) causados por la descarga de estos desechos, la recuperación de metales a partir de los polvos y sedimentos, puede considerarse como un medio natural

de recursos metalúrgicos en localidades donde los hornos de arco eléctrico estén concentrados.

En general, la tecnología desarrollada para el procesamiento de los polvos provenientes de hornos eléctricos de arco, ha sido desarrollada más específicamente para recuperar metales de sobrantes de la fabricación de aceros especiales no obstante, los procesos pueden ser aplicados para residuos de aceros simples al carbón o de aceros de baja aleación.

Estas técnicas de recuperación, están concebidas para donde existan grandes cantidades de desechos, lo cual justifica en términos de costo, que el equipo necesario para el proceso pueda competir con los precios del metal que prevalecen en el mercado.

En la actualidad se pueden nombrar tres técnicas para la extracción de metales de polvos provenientes de hornos eléctricos de arco.

- 1.- Lixiviación.
- 2.- Reducción directa.
- 3.- Fusión eléctrica.

3.1 Lixiviación.

Este proceso se utiliza cuando los polvos emitidos de los hornos eléctricos de arco contienen cantidades relativamente altas de zinc y plomo. Los polvos pueden ser atacados con soluciones ácidas o alcalinas, siendo actualmente el proceso

más industrializado el que utiliza la sosa cáustica como reactivo.

3.1.1 Proceso Amax.

En los Estados Unidos, la compañía Amax ha estudiado el tratamiento de los polvos de horno de arco por un proceso de calcinación y lixiviación con sosa, el cual había sido desarrollado previamente para la recuperación de minerales de bajo zinc ricos en hierro.

Los polvos pueden ser sometidos directamente a la lixiviación con sosa, o si el contenido de ferritas de zinc es alto (como es el caso de los polvos emitidos de la fabricación de aceros al carbono), pueden ser precalcinaados con carbón sólido en una atmósfera neutral.

3.1.2 Proceso Cebadeau/SERH.

El Centro de Investigaciones Cebadeau en Bélgica ha investigado un proceso de enriquecimiento de los polvos de hornos eléctricos de arco.

El proceso incluye cuatro fases.

Lixiviación con NaOH. Operación que esta dirigida hacia la disolución de zinc y plomo.

Separación de sólido/líquido por centrifugación.

Eliminación de plomo por cementación con polvo de zinc.

Deposición electrolítica del zinc y regeneración de la sosa cáustica.

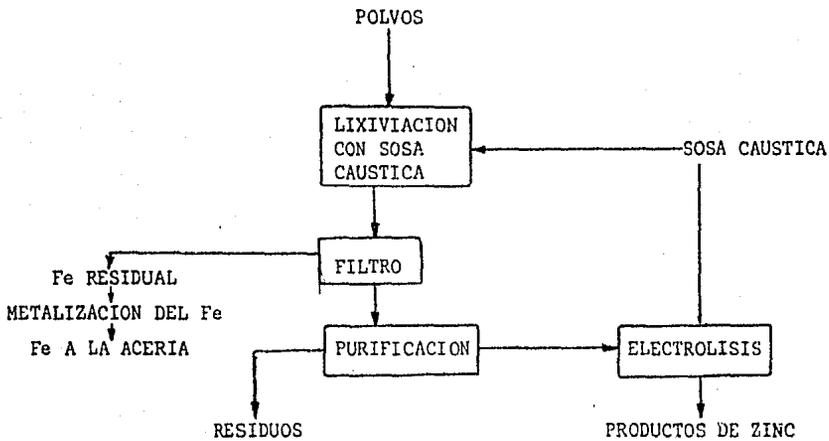


Diagrama del Proceso Cebadeau-SERH

El proceso esta siendo industrializado en Francia en una planta del SERH en Saint Florentin.

3.2 Reducción Directa.

En este procedimiento se efectúa una reducción de los óxidos de fierro, plomo y zinc en hornos rotatorios.

Los polvos de los hornos eléctricos de arco contienen relativamente altas proporciones de plomo y zinc. Estos elementos son volatilizados durante su procesamiento en el horno y recuperados como óxidos bonificados de una manera similar al proceso Waelz para el tratamiento de minerales no ferrosos.

En Inglaterra se realizaron estudios entre la British Steel Corporation y la Blue Circle Industries para el tratamiento

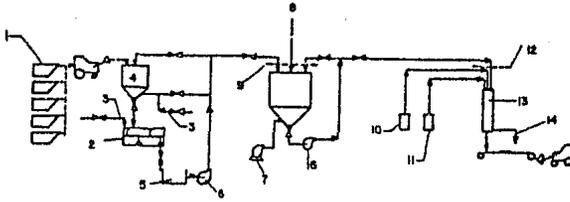
de los polvos, haciendo uso de la capacidad sobrante de una planta productora de cemento. El proceso involucra mezclado de desechos de varios talleres y su transformación utilizando una técnica similar a la seguida para el proceso en húmedo en la fabricación de cemento.

Descripción de las Pruebas de la Planta Piloto.

Preparación de los Polvos y Filtración.

Los polvos de los hornos eléctricos de arco son mezclados con agua para formar una pasta homogénea con un contenido de humedad de 60 a 65%. Se incluyó una cantidad de polvo proveniente de la aceración al oxígeno básico (porque se encontró que incrementa la resistencia en húmedo de la torta del filtro prensa) para producir una mezcla de polvos de 83:17 HAE/COB, medidos en base seca. Finos de coque se adicionaron a la pasta para elevar el contenido de carbón entre el 8 y el 10%, nivel que había producido buenas características de reducción en las pruebas de laboratorio.

El polvo de las diferentes fuentes fue acondicionado en un sistema de mezclado primario antes de bombearse a un tanque de almacenamiento. La mezcla de todas las materias primas fue asegurada por la agitación con aire de la mezcla principal, la cual fue cribada para remover partículas grandes y contaminantes antes de la filtración. La filtración se llevo a cabo en un una prensa filtro de alta presión, produciéndose alrededor de 250 kg/hr. de aglomerados de lodo, cuyo contenido de humedad esta en el rango del 15.4 a 15.8%.



- | | |
|--------------------------------|--|
| 1. Transportadores | 8. Polvo de coque |
| 2. Mezclador tipo Morton | 9. Criba de gruesos |
| 3. Agua | 10. Filtroprensa neumático ALFA-LAVAL |
| 4. Tanque primario de mezclado | 11. Filtroprensa hidráulico ALFA-LAVAL |
| 5. Tanque | 12. Criba de medios |
| 6. Bomba | 13. Filtroprensa cilíndrico ALFA-LAVAL |
| 7. Compresor | |

Instalación de Preparación de la Torta de Lodo

Materia Prima.

La tabla siguiente contiene los análisis químicos de las cinco cargas de polvo utilizadas, de la pasta y de la torta del filtro prensa.

ANÁLISIS QUÍMICO DE LAS MATERIAS PRIMAS

Material	Análisis químico, porcentaje en peso, vfa seca														
	Fe _{tot}	C	Zn	Pb	SiO ₂	CaO	MgO	MnO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	Sn	S
- Humos del horno eléctrico de arco n.º 1	37,6	0,22	16,8	4,5	5,4	3,1	1,2	4,5	0,7	0,2	0,4	0,98	0,8	0,071	0,51
- Humos del horno eléctrico de arco n.º 2	28,5	0,84	14,4	2,9	4,4	11,4	3,7	5,5	1,0	3,2	0,4	0,44	0,3	0,052	0,34
- Humos del horno eléctrico de arco n.º 3	41,4	0,66	12,4	1,5	3,8	6,1	2,5	5,2	0,9	0,3	0,4	0,92	0,4	0,044	0,37
- Humos del horno eléctrico de arco n.º 4	34,0	2,70	11,8	2,4	9,5	7,0	2,4	3,8	2,3	0,6	0,4	0,58	0,5	0,054	0,24
- Humos de BOS	55,2	0,95	4,5	1,4	2,7	0,1	0,9	1,9	0,0	0,2	0,4	0,24	0,2	0,02	0,22
- Lodos (sin carbón)	41,6	1,11	12,1	2,3	4,8	5,1	1,8	3,9	1,0	0,6	0,4	0,37	0,5	0,036	0,35
- Pasta filtrada ¹	37,7	9,6	10,9	2,5	5,2	5,9	1,9	4,0	1,2	0,7	0,3	0,36	0,3	0,044	0,39
- Pasta filtrada ²	37,4	9,6	10,8	2,5	5,1	5,7	2,1	3,9	1,1	0,7	0,3	0,40	0,3	0,044	0,38

¹ después de 9 h de operación
² después de 16h de operación

Se puede observar que los polvos tienen un contenido relativamente bajo de hierro y un alto contenido de ganga, esto refleja la pobre calidad de los polvos como materia prima para la manufactura de hierro esponja. Es también evidente que algo de sales metálicas alcalinas se han disuelto con los polvos en el proceso de colección, mezclado y filtración.

ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS REDUCTORES

análisis químico, porcentaje en peso											
Materia	Fe _{tot}	C	SiO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	S	Materias volátiles	Humedad (%)
Finos de coque (75% <45 µm)	1.5	83.2	5.2	0.4	<0.2	2.9	0.04	0.3	1.09		2.5
Carbón	0.8	57.1	13.0	0.3	0.2	6.9		0.6	0.74	35.8	12.6*
Coque	1.2	76.2	5.0	0.4	0.2	2.8		0.3	1.23	1.4	12.6*

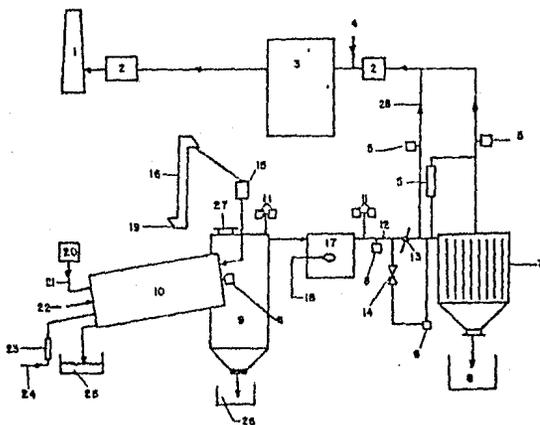
(*) 50:50 mixture

Se muestran también los análisis químicos del carbón y coque utilizados. El carbón fue elegido por economía de operación por lo cual es de baja calidad, con un alto contenido de cenizas; la temperatura de fusión de estas fue inferior a los 1200 °C, basada en la observación de la carbonización producida durante la prueba.

Horneado y Sistemas de Colección de los Productos.

La costra de lodo fue alimentada al horno por medio de un elevador de cangilones y una válvula de doble disco a 85 kg/h junto con una mezcla de carbón-coque. Se utilizó un quemador de aceite en la parte baja del horno como suplemento para el calor necesario requerido en el proceso, el quemador solo es utilizado como control fino y para iniciar el proceso, pro-

porcionando solamente una pequeña parte de la energía total. Inicialmente se proporciona combustible sólido (agente reductor) en una proporción del 45% de la costra de lodo (en base seca), pero este nivel fue elevado al 62% para asegurar que el medio ambiente reductor fuese mantenido.



- | | | |
|-----------------------------------|---|-------------------------------------|
| 1. Chimenea | 11. Analizador de O ₂ y CO | 20. Ventilador primario |
| 2. Ventilador | 12. Entrada de aire frío | 21. Aire |
| 3. Precipitador Electroestático | 13. Placa de Orificio | 22. Entrada de aire forzado |
| 4. Entrada de aire | 14. Rociador | 23. Rotámetro |
| 5. Manómetro | 15. Charnela | 24. Aceite |
| 6. Termocople | 16. Elevador | 25. Hierro esponja en agua |
| 7. Casa de bolsas filtro | 17. Cámara de Combustión | 26. Caída de material |
| 8. Waelz Oxide | 18. Gas L.P. | 27. Ventila |
| 9. Equipo para evitar explosiones | 19. Alimentación de la torta
(Mezclada con coque y carbón) | 28. Líneas de comunicación lateral. |
| 10. Horno | | |

Instalación Utilizada en la Prueba Para Procesar el Polvo Aglomerado

La temperatura del gas y las concentraciones de CO y O₂ fueron monitoreadas en la salida del horno. Los gases de

escape son diluidos con aire ambiente y pasados a través de un precipitador electrostático antes de su emisión a la atmósfera, como medida de seguridad en el caso de una falla en los filtros de bolsa.

La temperatura en el lecho del horno fue variada entre 1000° y 1260° C durante el curso de la prueba. Después de que se lograron las condiciones normales de operación, se hicieron mediciones de la temperatura de operación del horno y se analizaron los gases de escape durante un periodo de 25h.

DETALLES DE LAS CONDICIONES DE OPERACION DEL HORNO ROTATORIO

Gases de escape

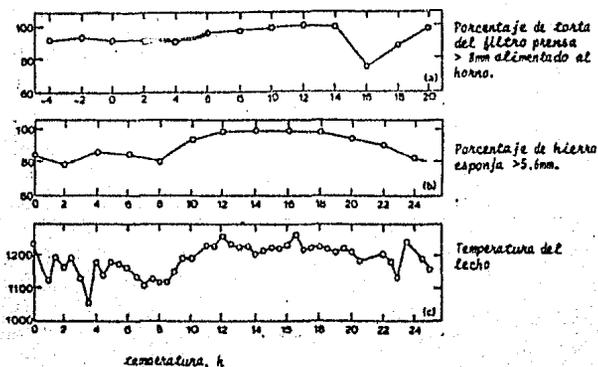
tiempo h	temp de la cama °C	O ₂ %	CO ₂ %	Temp. °C
0.0	1230	1.6	5.2	420
1.0	1120	1.6	8.0	425
2.0	1160	2.0	4.0	400
3.0	1130	2.4	8.0	360
4.0	1180	1.6	1.0	400
5.0	1180	1.6	1.2	400
6.0	1165	3.2	0.8	320
7.0	1110	6.0	0.6	420
8.0	1120	2.4	0.4	380
9.0	1150	3.4	0.4	380
10.0	1190	5.4	3.6	410
11.0	1230	3.0	1.1	450
12.0	1255			435
13.0	1225	0.9	2.0	414
14.0	1200	0.9	1.0	435
15.0	1220	2.1	1.0	610
16.0	1230	4.4	1.2	447
17.0	1215	4.0	0.9	430
18.0	1225	3.9	1.0	420
19.0	1205	4.0	1.0	380
20.0	1205			420
21.0				
22.0	1180			
23.0	1130			
24.0	1190	7.0	1.0	380
25.0	1160	4.2	0.4	360

El hierro esponja y los productos carbonizados fueron colectados sumergiéndolos en agua y separados magnéticamente. El hierro esponja se muestreo por dos métodos. A intervalos de 1.5 h se tomaron muestras a 1m de la salida del horno y se

enfriaron mediante nitrógeno y a intervalos de 3h se muestrearon los productos obtenidos en el agua de enfriamiento, de la costra de lodo alimentada y de los óxidos captados en los filtros de bolsa, obteniéndose una cantidad aproximada de 9.2 kg/h en las bolsas de los filtros.

Resultados.

En las gráficas que se muestran abajo se pueden observar la proporción en que la torta filtro cuyo tamaño era mayor a 8mm fue alimentada al horno, el porcentaje de partículas de hierro esponja de tamaño mayor a 5.6mm (el cambio de 8 a 5.6mm es para compensar por la densificación y la contracción durante la reducción), también se muestra la temperatura del lecho durante la prueba. Las escalas de tiempo han sido escalonados cinco horas, dejando un margen para el tiempo de permanencia en el horno, de la materia prima.



Parámetros de Variación Durante la Prueba

De las gráficas puede inferirse que durante las primeras 10 horas de operación existió degradación de la torta filtro, cuando la temperatura en el horno era menor a los 1200° C pero posteriormente hubo muy poca degradación al mantener la temperatura del lecho cercana a los 1200° C, obteniéndose pocas partículas finas.

El hierro esponja obtenido dio buenos resultados en las pruebas físicas normales para la materia prima de alto horno (abrasión, resistencia a la caída, etc.) estos resultados demuestran que puede ser utilizado en procesos siderúrgicos sin embargo la principal desventaja que presenta es el alto contenido de azufre.

Propiedades Químicas de los Productos Obtenidos.

Los análisis de las muestras de hierro esponja colectadas durante la prueba, el grado de metalización del hierro esponja, con los niveles de eliminación y aumento de varios elementos, se muestran en las dos tablas siguientes.

El grado de metalización obtenido en el hierro esponja fue siempre mayor al 95% y el grado de eliminación del zinc es superior al 88%, los niveles de ambos se incrementaron al aumentar la temperatura del lecho del horno. La metalización de las muestras enfriadas en agua fue generalmente más baja que las enfriadas en nitrógeno, con la excepción de las que se tomaron a temperaturas superiores a 1200°C (al parecer la alta temperatura protegió a las muestras contra la reoxida-

ción por la formación de una capa superficial de ceniza fundida).

GRADO DE METALIZACIÓN DEL HIERRO ESPONJA Y DE LA REMOCIÓN DE VARIOS ELEMENTOS DURANTE LA REDUCCIÓN

tiempo h	Metalización	Grado de remoción de zinc	Grado de remoción de plomo%	Grado de remoción de potasio%	Grado de remoción de sodio%	Remoción de silicio kg/t de la carga	Remoción de azufre kg/t de la carga
1.0	98.2	97.2	39.8	>66.4	60.4	2.0	1.3
2.5	99.1	99.1	53.7	31.1	39.1	13.7	2.1
4.0	98.0	95.9	63.5	-100.0	-10.1	28.8	2.6
5.5	98.1	96.5	38.1	3.9	2.6	20.8	2.2
7.0	98.3	94.7	47.0	6.8	22.7	11.4	2.3
8.5	97.7	90.9	53.4	12.5	2.9	26.0	2.5
10.0	98.3	95.2	42.3	50.3	45.4	17.3	2.1
11.5	99.3	97.5	38.1	64.4	37.3	20.0	1.4
13.0	99.3	98.6	47.9	30.4	57.2	13.9	1.8
14.5	99.0	>99.3	57.6	5.3	26.7	21.0	2.1
16.0	98.3	99.3	53.2	56.6	51.2	20.6	2.1
17.5	99.3	98.1	32.2	74.4	52.9	9.6	1.2
18.0	99.3	98.2	41.2	74.0	55.2	11.0	1.6
20.5	99.0	98.1	40.0	30.2	36.0	10.7	1.6
22.0	96.8	91.5	35.4	3.9	32.7	14.0	1.7
23.5	95.7	87.8	34.2	>64.7	54.9	3.3	1.7
1.0	97.2	98.1	36.6	>66.0	63.3	3.8	1.2
4.0	98.1	97.2	30.8	>65.6	57.6	4.4	1.2
7.0	97.0	97.5	56.5	-46.0	10.6	21.3	2.8
10.0	95.9	95.3	35.8	80.1	60.6	19.0	1.7
13.0	98.7	99.0	51.7	-25.0	0.1	34.4	2.2
16.0	99.1	98.2	25.3	>66.6	52.3	0.1	1.3
19.0	99.4	96.0	26.0	84.5	54.1	-3.5	0.2
22.0	99.1	97.1	25.0	>65.3	45.5	2.3	1.2

Los niveles de remoción de plomo en la prueba varían del 25 al 65% y son considerablemente más bajos que los resultados obtenidos con otros métodos, al parecer el pequeño tamaño del horno, el tiempo de permanencia y las temperaturas manejadas no crearon las condiciones necesarias para la remoción de este elemento.

El sodio y el potasio fueron retirados durante la reducción, en adición al conseguido por el agua durante la preparación de los lodos, sin embargo los niveles de estos elementos fueron afectados por el aumento de estos elementos provenientes del combustible y las cenizas (resultando en

algunos casos, grados de remoción negativos).

El aumento de azufre fue errático, generalmente se situó entre 1 y 2.5 kg/t de torta del filtro prensa. El aumento de este elemento se debe al azufre contenido en los combustibles que se utilizaron en la prueba.

ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS PRODUCTOS MAGNÉTICOS PROCEDENTES DEL HORIO

tiempo h	Fe _{tot}	Fe _{met.}	Fe ³⁺	C	Zn	Pb	SiO ₂	CaO	MyO	MnO	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	S	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	Sn	N	Cu
Especímenes enfriados con nitrógeno																			
1.0	59.0	60.3	1.1	0.6	0.5	2.4	8.5	9.3	3.0	6.5	1.9	1.0	0.8	0.5	0.2	0.0		0.20	0.34
2.5	56.4	59.5	0.6	0.7	0.2	1.0	10.1	9.3	2.9	6.4	2.6	0.8	0.9	0.5	0.4	0.3			
4.0	63.6	52.5	1.0	3.7	0.6	1.3	11.4	8.9	2.8	5.9	3.5	0.8	0.9	0.4	0.6	0.8			
5.5	65.8	57.0	1.1	0.5	0.6	2.3	10.7	9.2	2.9	6.1	3.0	0.9	0.9	0.5	0.6	0.4	0.17	0.32	
7.0	67.5	56.1	1.0	0.7	0.9	2.0	9.6	9.2	3.0	6.2	2.5	0.9	0.9	0.5	0.5	0.4			
8.5	65.0	53.9	1.3	1.9	1.8	1.7	11.3	8.9	2.9	5.7	3.4	1.1	0.9	0.5	0.5	0.4	0.05		
10.0	67.5	56.0	1.0	1.5	0.8	2.2	10.5	9.2	3.3	6.1	3.1	1.0	0.9	0.5	0.3	0.2	0.05	0.16	0.27
11.5	58.5	58.2	0.4	1.0	0.2	2.4	11.1	8.8	2.3	5.9	3.2	0.9	0.8	0.5	0.4	0.2	0.06		
13.0	57.7	58.1	0.4	2.0	0.2	2.0	10.0	9.1	2.9	6.3	2.8	0.9	0.9	0.5	0.3	0.3			
14.5	56.6	57.1	0.6	1.8	0.1	1.6	0.9	9.1	2.9	6.1	3.3	0.8	0.9	0.4	0.4	0.4	0.17	0.31	
16.0	67.5	57.7	1.0	1.9	0.1	1.8	11.0	9.5	3.2	6.1	3.2	1.1	0.9	0.5	0.3	0.2	0.06		
17.5	69.2	59.6	0.4	1.1	0.3	2.7	9.6	9.2	3.2	6.2	2.5	1.0	0.8	0.5	0.3	0.1	0.05		
19.0	68.5	58.5	0.4	2.4	0.1	2.3	9.7	9.5	3.1	6.2	2.5	1.0	0.8	0.5	0.3	0.1	0.05	0.16	0.28
20.5	57.6	57.5	0.6	1.7	0.3	2.3	9.5	9.2	3.1	6.3	2.4	0.9	0.9	0.5	0.4	0.3	0.18	0.32	
22.0	65.8	54.5	1.8	1.5	1.4	2.4	9.7	8.9	2.9	6.1	2.6	0.9	0.8	0.5	0.4	0.4			
23.5	57.1	55.9	2.5	0.4	2.0	2.5	8.3	9.1	3.0	6.2	1.7	1.0	0.8	0.5	0.3	0.0			
25.0	55.4	54.2	2.2	1.7	1.9	2.3	8.9	8.9	3.1	6.1	2.4	0.9	0.9	0.5	0.4	0.4	0.17	0.30	
Especímenes colectados después de un temple al agua																			
1.0	59.2	58.5	1.7	0.3	0.3	2.5	8.7	9.4	3.1	6.5	1.9	0.9	0.8	0.5	0.2	0.0			
4.0	58.5	58.2	1.1	0.6	0.5	2.7	8.7	9.2	3.1	6.4	1.9	1.0	0.8	0.5	0.3	0.0			
7.0	56.2	53.9	1.7	1.6	0.4	1.6	10.7	8.9	2.9	6.0	3.4	0.8	1.0	0.5	0.5	0.6			
10.0	58.7	56.3	1.0	1.0	0.8	2.5	11.0	8.8	3.1	6.2	3.3	1.1	0.9	0.5	0.2	0.1	0.06		
13.0	53.4	53.2	0.7	1.6	0.2	1.7	12.2	9.5	3.1	6.3	4.0	0.9	0.9	0.4	0.5	0.5			
16.0	60.3	62.1	0.6	0.9	0.3	3.0	8.4	8.3	2.9	6.1	2.2	1.0	0.8	0.5	0.3	0.0			
19.0	62.7	62.3	0.3	0.3	0.7	3.1	8.0	8.0	2.0	5.6	2.1	1.1	1.1	0.7	0.5	0.3	0.1	0.06	
22.0	68.0	58.5	0.6	1.1	0.5	2.9	8.3	9.2	2.9	6.4	2.0	0.9	0.8	0.5	0.3	0.0			
25.0	65.2	49.1	3.9	1.2	1.5	2.0	9.5	8.8	2.9	6.0	2.6	0.9	1.0	0.4	0.3	0.3			

Propiedades de los Waelz Óxidos.

En las partículas de los Waelz óxidos se encontró un tamaño promedio de 6µm (74% entre 2 y 12µm). Los análisis químicos muestran que son de buena calidad como para ser utilizados en metalúrgia no ferrosa.

ANÁLISIS QUÍMICO DE LOS ÓXIDOS WAEZ

tiempo h	análisis químicos, porcentaje en peso											
	Fe _{tot}	C	Zn	Pb	SiO ₂	CaO	HgO	MnO	Al ₂ O ₃	Na ₂ P	K ₂ O	S
1.0	7.7	5.10	51.8	5.1	2.0	1.4	0.4	0.8	0.6	0.40	1.2	0.90
4.0	7.4	4.96	50.9	5.1	1.9	1.4	0.3	0.8	0.7	0.40	1.2	0.90
7.0	6.4	4.76	54.6	4.6	1.6	1.1	0.4	0.7	0.6	0.39	1.1	0.75
10.0	8.1	6.32	52.1	4.4	1.8	1.3	0.4	0.8	0.8	0.40	1.0	0.65
13.0	6.9	5.80	53.9	4.5	1.5	1.0	0.2	0.7	0.6	0.37	0.7	0.63
16.0	5.6	5.79	55.0	3.9	1.7	1.1	0.4	0.7	0.7	0.38	1.1	0.60
19.0	8.1	7.18	50.5	4.6	2.0	1.2	0.3	0.8	0.8	0.38	0.8	0.67
22.0	7.7	6.60	51.7	4.1	2.2	1.3	0.3	0.8	0.9	0.36	0.8	0.60

Opciones de Aplicación.

- 1.- Para demostrar la factibilidad de uso en hornos eléctricos de arco, se fundieron 750 Kg de hierro esponja, como parte de la carga en un horno de 3t, recuperándose aproximadamente el 95% del contenido de hierro. El área más promisoría para el uso de este producto se encuentra en la fabricación de acero de fácil maquinabilidad, debido al alto contenido de azufre que posee.
- 2.- El hierro esponja puede ser usado en fundición, incorporándose una parte a la carga de los hornos de cubilote para la producción de hierro colado.
- 3.- La composición del hierro esponja puede ser mejorada incrementando la proporción de polvo de convertidores al oxígeno básico, produciéndose un hierro esponja con mejor composición química, aunque resulte en una reducción del contenido de zinc y plomo, pudiendo ser una opción para maximizar la venta del hierro esponja.

4.- Sin efectuar ningún cambio en el proceso, se puede efectuar el tratamiento por separado de polvos provenientes de la fabricación de aceros especiales, obteniéndose un aumento en el valor del hierro esponja y la reincorporación al proceso de aceración de metales aleantes de gran valor.

3.3 Fusión Eléctrica.

En este proceso varias técnicas pueden ser usadas:

- 1.- Horno eléctrico de arco, especialmente trabajando con electrodos sumergidos.
- 2.- Horno de inducción.
- 3.- Horno de arco de plasma.

3.3.1 Fusión en Horno Eléctricos.

3.3.1.1 "INMETCO" (International Metal Recovery) en Ellwood Pennsylvania.

En la planta de Ellwood, esta compañía ha usado un proceso de recuperación de metales a partir de desechos de aceración tales como: polvo, virutas de los procesos de maquinado de los metales, cascarilla de laminación, etc. provenientes de las instalaciones cercanas que producen aceros aleados y especialmente aceros inoxidable.

Detalles del Proceso.

Recepción.

El polvo de la acería proveniente de las casas de bolsa de

los hornos y convertidores AOD es transportado por camiones o furgones y por medio de trasportadores neumáticos es almacenado dentro de cuatro depósitos de 100 toneladas c/u. La selección del compartimiento esta basada en el análisis químico del polvo de cada camión de carga.

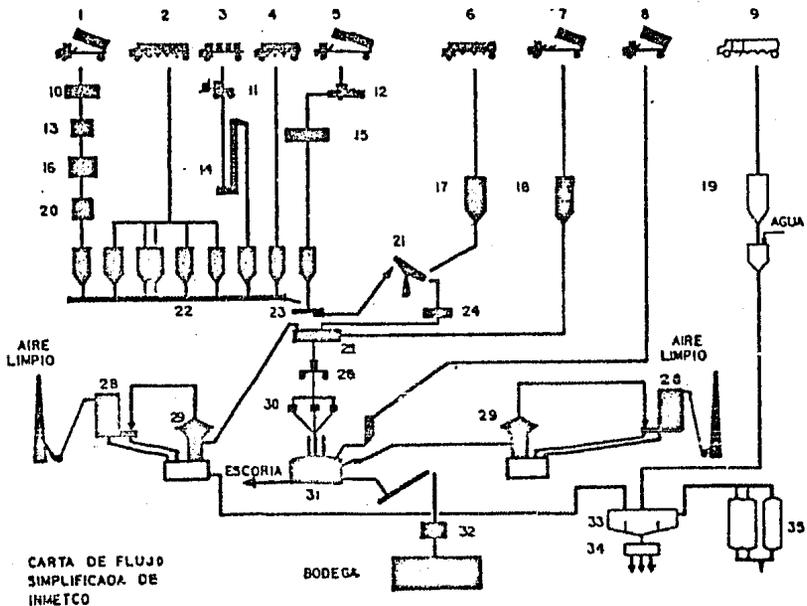
El carbón molido usado como elemento reductor y la caliza usada como fundente, son recibidos de manera similar y almacenados en depósitos como se muestra en la carta de flujo simplificada.

Los otros materiales ocupados en el proceso, cascarilla de laminación y virutas son recibidos en camiones y almacenados en sus depósitos.

Preparación del Material.

El polvo no requiere tratamiento físico preparatorio antes de ser procesado, pero la cascarilla de laminación y las limaduras deben de ser reducidas en tamaño para facilitar el mezclado.

La cascarilla de laminación es puesta en un alimentador de tolva y se hace pasar primeramente por un cribado donde son removidas piezas grandes y otros desechos que son descartados. Un cribador secundario, separa entonces los objetos de aproximadamente 1/8 de pulgada, los cuales son transportados al almacén de cascarilla de laminación procesada. El material mayor de 1/8 de pulgada, es introducido en un molino de barras hasta que pase el cernidor de 1/8 de pulgada



- 1 CASCARILLA DE LAMINACION
- 2 POLVO
- 3 LIMADURAS
- 4 CARBON
- 5 VIRUTAS
- 6 CALIZA
- 7 COQUE
- 8 FeCr
- 9 CAL APAGADA
- 10 DEPOSITO DE VIRUTAS
- 11 MONTACARGA
- 12 ALIMENTADOR
- 13 CRIBA DE GRUESOS
- 14 ELEVADOR
- 15 QUEBRADORA
- 16 MOLINO
- 17 DEPOSITO DE CALIZA
- 18 DEPOSITO DE COQUE

- 19 DEPOSITO DE CAL APAGADA
- 20 CRIBA DE FINOS
- 21 PELETIZADOR
- 22 TRANSPORTADOR OSCILADOR
- 23 MOLINO
- 24 SECADOR
- 25 HORNO ROTATORIO
- 26 ALIMENTADOR
- 28 DEPURADOR
- 29 SISTEMA ANTIEXPLOSIONES
- 30 ALIMENTADOR
- 31 HORNO
- 32 COLADA DE LINGOTES
- 33 CLARIFICADOR
- 34 FILTRO PARA LODOS
- 36 FILTRO DE ARENA

y sea transferido al recipiente de almacenamiento. De esta manera toda la cascarilla ha sido reducida a un tamaño que facilitara el mezclado posterior.

Las limaduras son pasadas por un cernidor de gruesos para retirar las partículas mayores y reducirles el tamaño en una quebradora. La limadura triturada es descargada en un tambor cernidor, en donde el material menor o igual a una pulgada es transportado al recipiente de almacenamiento de limadura procesada.

Mezclado y Aglomeración.

Los datos del análisis y localización de todos los materiales son almacenados en una computadora, los cuales son usados según sean los requerimientos de mezclado, para producir la composición final del producto deseado. El material de alimentación seleccionado es pesado y descargado automáticamente desde sus respectivos recipientes de alimentación.

La mezcla de los materiales se lleva acabo en un molino amasador en el cual se pueden agregar materiales de alto níquel y cromo para ajustar la composición final. En este punto se adiciona agua para llevar el nivel de humedad entre 6 y 8% . La descarga del amasador es dirigida hacia un disco peletizador donde es agregada agua adicional para formar los pelets.

Reducción.

Los pelets pueden ser secados si es necesario en un secador rotatorio antes de ser introducidos al crisol del horno rotatorio. Los pelets son puestos en el crisol formando una

COMPOSICIONES APROXIMADAS DE LOS DESECHOS
Y CONSUMO PROMEDIO ANUAL

COMPOSICION	POLVO	CASCARILLA DE LAMINACION	REBARBAS DE MAQUINADO	LIMADURAS DE ALTA ALEACION
TPA	17 160	11 550	5 610	2 046
Ni	3.1	3.8	8.1	45.8
Cr	8.1	8.4	18.0	10.0
Fe	27.2	49.0	64.0	17.0
Mn	6.9	0.3	1.5	0.2
Mo	0.55	0.2	0.6	2.0
Co	0.4	0.1	0.03	1.0
Cu	0.6	0.05	0.4	0.5
Pb	0.4	0.03	0.01	0.01
Zn	1.3	0.02	0.02	0.4
C	0.06	0.04	0.06	1.5
S	0.4	0.1	0.1	0.3
Si	2.37	1.4	0.93	0.56
Al	0.79	0.05	0.1	6.4
Ca	18.1	0.28	0.21	0.07
Mg	1.39	1.3	0.06	0.06
F	2.6	0.02	0.1	---
Cl	---	0.02	0.1	---

(COMPOSICION PORCENTUAL EN MASA)

capa de dos pulgadas de espesor y son removidos antes de completar una revolución completa por medio de un tornillo enfriado por agua hasta la puerta de descarga. La rotación del crisol es en sentido contrario al flujo de los gases y el calor que es requerido en adición al de las reacciones es provisto por medio de quemadores situados en las paredes de entrada y salida del horno.

Fusión y Reducción Final.

Lo pelets reducidos son descargados en recipientes refractarios y cargados a un horno eléctrico de arco. Estaciones adicionales de alimentación permit en la adición de fundentes y rebabas metálicas para el ajuste de la escoria y composición química del baño si fuese necesario.

El metal fundido del horno de arco es "sangrado" a un cucharón de diez toneladas y colado en lingoteras de 25 kilogramos para su venta a los talleres de fundición.

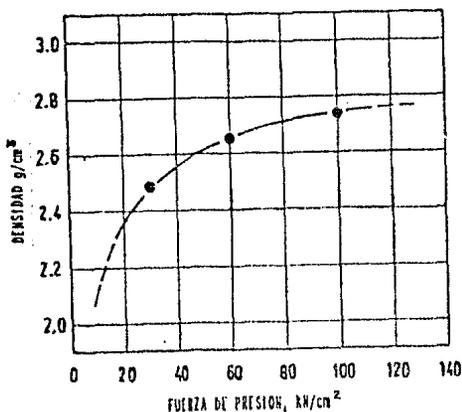
3.3.1.2 Thyssen Edelstahlwerke AG.

En Alemania esta compañía ha desarrollado un proceso para reciclar los polvos provenientes de la fabricación de aceros especiales, utilizando también otros residuos como cascarilla de laminación y virutas del maquinado de estos metales. En este proceso se utilizan briquetas producidas en una prensa briqueteadora de rodillos, esta preparación hace posible el reciclado directamente a los hornos de arco eléctrico.

Investigaciones Preliminares.

Pruebas en la prensa de estampado. Las primeras pruebas de briqueteado usando polvo de filtros electrostáticos fueron

llevadas a cabo en una prensa de estampas circulares de 30 mm de diámetro, con la cual se estudio el comportamiento de la densidad en función de la fuerza de presión. Aplicando una fuerza de 30 kN/cm² se obtuvo una densidad de 2.49 g/cm³ (comparada con la de 1.8 a 2.2 g/cm³ de los pelets). Un incremento en la fuerza de presión a 100 kN/cm² produjo un densidad de 2.74 g/cm³.

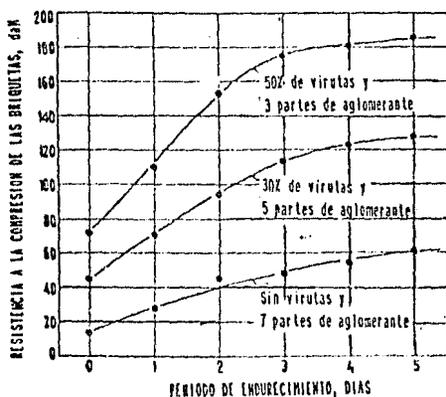


Influencia de la Fuerza de Presión en la Densidad de las Briquetas

En el diagrama se muestra la densidad como una función de la fuerza de presión, como puede observarse, no es posible conseguir un incremento sustancial en la densidad, incluso por la aplicación de grandes fuerzas de presión.

Los requerimientos de altas densidades y gran resistencia de las briquetas al esfuerzo mecánico condujo a ensayar la inclusión de rebabas de aceros especiales. Se encontró que usando una proporción de 30% de rebabas, 70% de polvo y 5% de sulfi-

to en polvo como aglomerante, aparte del incremento de la densidad a 3.5 g/cm^3 , se obtuvo un extraordinario aumento de resistencia en las briquetas. La inclusión de rebabas menores a 30 mm en los polvos tuvo un efecto reforzador, similar al de las varillas de acero en el concreto.



Resistencia a la Compresión de las Briquetas Con y Sin Reforzamiento de Rebabas, Con Respecto a la Duración del Periodo de Endurecimiento

Después del periodo de endurecimiento de tres días, el esfuerzo a la compresión obtenido en el laboratorio por una prensa de estampas fue de 120 a 150 daN/briqueta, comparado con el de 40 a 70 daN/briqueta sin reforzamiento de rebaba.

Proyecto Piloto

En el proyecto piloto de briqueteado se utilizaron 150 toneladas, ocupándose 105 toneladas de polvo, las cuales

corresponden a la proporción 70/30 polvo virutas.

El prehumedecimiento del polvo, incluyendo la adición de las virutas, fue efectuado en una mezcladora; la mezcla obtenida fue transportada a unos recipientes para la hidratación de la caliza, posteriormente, el aglomerante (3% de sulfito en polvo) fue agregado continuamente en una mezcladora de doble pala adicionándose agua hasta obtener un contenido de humedad entre el 6 y 7%.

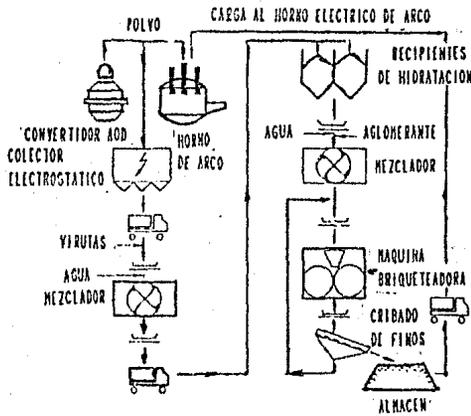


Diagrama de Flujo del Proyecto Piloto de Briqueteado

La operación de briqueteado fue realizada en una briqueteadora de rodillos de 650mm de diámetro, 140mm de ancho, usando moldes de 10 centímetros cúbicos de capacidad y utilizando una fuerza de presión específica en los rodillos de 25 kn/cm produciéndose entre 4.5 y 6.5 toneladas por hora.

Las briquetas fueron cargadas en dos hornos eléctricos de arco, como sustituto de una parte de la chatarra, estas repre-

sentaban del 2.0 al 2.5% (1.5 a 2.0t) de la carga total del horno. Los hornos producen metal fundido para una instalación de AOD, el cual para ésta prueba se utilizó para la fabricación de acero inoxidable.

Resultados.

1.- Durante la carga con las briquetas no se observaron incrementos en la emisión de polvos, sin embargo en las pruebas efectuadas ocupando pelets se observaron considerables emisiones de polvo.

La captación de polvo en los colectores fue 45% mayor durante la carga con los pelets con respecto a la carga con las briquetas, no mostrándose un aumento significativo en la captación de polvo a causa de la carga con briquetas.

2.-Alrededor del 98% de cromo y 99% de níquel contenido en el polvo fue recuperado por esta práctica. El análisis químico mostró que no ocurrió cambio con respecto al nivel de metales semejantes al cromo y níquel.

3.- El contenido de plomo y zinc fue considerablemente alto, tomando en cuenta los períodos anteriores y posteriores a la prueba, el nivel de estos elementos casi se dobla.

4.- Las pruebas mostrarán comparativamente, las ventajas obtenidas si se usan briquetas en lugar de emplear pelets:

- a) El contenido residual de humedad menor al 4% en las briquetas es mas bajo que el nivel observado en los

pelets. Esto conduce a una menor decrepitación térmica como resultado de la formación de vapor de agua.

- b) Comparado con el nivel menor a 2.2 g/cm^3 de densidad aparente de los pelets, la mayor densidad aparente de 3.5 a 4.0 g/cm^3 conseguida por la inclusión de virutas permite a las briquetas sumergirse en el baño bajo la escoria para su completa reducción y fusión.

El proyecto piloto de briqueteado y la carga subsecuente de las briquetas reforzadas demostraron que el proceso tecnológico es practicable para el reciclaje de los polvos captados en los filtros y otros materiales sobrantes de la producción de aceros especiales directamente en hornos eléctricos de arco.

El proceso esta siendo puesto en práctica en acerías desde 1980 con la licencia de Thyssen Stahl AG. De esta forma se ha permitido el reciclamiento de 10 000 toneladas de polvo de las operaciones de fabricación de aceros especiales que normalmente eran depositadas en tiraderos.

3.3.2 Fusión en Hornos de Arco de Plasma.

La SKF ha desarrollado una técnica original que usa antorchas de plasma como fuente energía a altas temperaturas. Entre las técnicas desarrolladas el proceso de plasma esta proyectado para tratar polvos ferrosos que contengan Zn y Pb o elementos de aleación (Cr, Ni).

En el equipo que la SKF utiliza dos electrodos tubulares de cobre enfriados por agua, los cuales están separados por una ranura de aproximadamente 1 mm, esta apertura sirve para inyectar un gas plasmógeno bajo presión. Un arco eléctrico es lanzado entre los electrodos, girando alrededor de ellos, confinado entre las antorchas debido al campo magnético creado por los anillos del campo.

En este caso el plasma es generado al nivel del arco y el calor del gas que escapa de las antorchas está a muy alta temperatura. Las reacciones de fusión y vaporización son realizadas en un horno hueco, el cual está equipado con antorchas de plasma. Los polvos, como el carbón y los fundentes son directamente inyectados al nivel de las antorchas.

En la parte superior del hueco del horno, el zinc y el plomo escapan en forma de vapor con los gases, siendo recuperados en un condensador. El hierro fundido con algo de plomo y escoria, son separados en la parte baja.

La primera aplicación industrial de este proceso ha sido hecha por la Sociedad ScanDust en Landskrona, en la costa suroeste de Suecia, empleando aproximadamente 100 empleados. La planta ha operado desde mayo de 1984 y su meta es tratar 70 mil toneladas por año de polvo. Una segunda planta basada en este proceso ha sido planeada en Suecia (Malmö), para tratar los polvos emitidos por las acerías eléctricas productoras de aceros aleados.

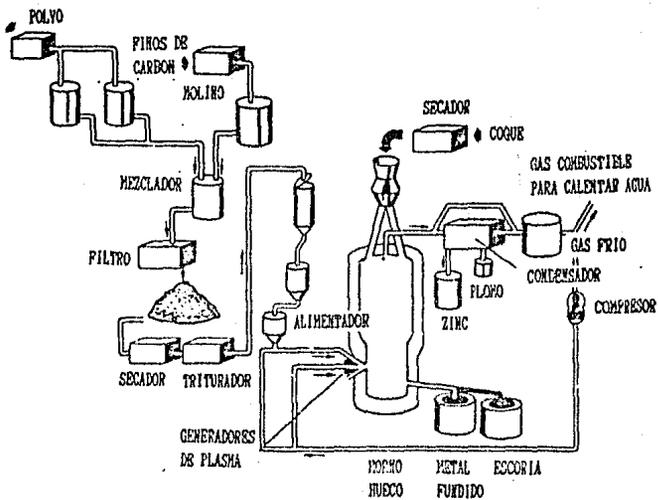


Diagrama de Flujo de la Planta ScanDust

C A P I T U L O 4

4.1 INFORMACION ESTADISTICA.

EMPRESAS MEXICANAS QUE CUENTAN CON HORNOS ELECTRICOS DE ARCO.

Nombre de la Empresa.	No. de Hornos	Capacidad de los Hornos (t)	Producción Anual Estimada (t)	Cantidad de Polvo Prod. (t)
Acero Solar	2	4 y 8	10 000	150
Aceros Ecatepec	3	15	70 000	1 050
Aceros de Chihuahua	2	12	110 000	1 650
Aceros Industriales	2	10	60 000	900
Aceros Nacionales S. A. ANSA	3	50	320 000	4 800
Aceros San Luis S. A.	2	20	96 000	1 440
AMSCO Mexicana	2	4 y 9	15 000	225
Cia. Siderúrgica de Guadalajara.	3	25, 25 y 5	190 000	2 850
Fundiciones de Hierro y Acero S. A. FHASA	4	15, 4, 4 y 0.5	30 000	450
Fundidora de Aceros Tepeyac S. A.	6	4	13 000	195
HYLSA Planta Monterrey	5	25, 55, 55, 60 y 80	1 110 000	16 650
HYLSA Planta Apodaca	2	17.5	130 000	1 950
HYLSA Planta Puebla	4	55	750 000	11 250
Industrias CH	3	40	210 000	3 150
Laminadora Atzacapotzalco S. A.	1	20	60 000	9 000

Metalúrgica Veracruzana S. A.	3	10, 10 y 15	45 000	675
Omega Manufacturera	2	12	36 000	540
Pacas de Metal Y Laminación	1	7	9 600	144
Siderúrgica de Yucatán	2	25	72 000	1 080
Siderúrgica Nacional S. A. SIDENA	4	3. 5. 3. 5. 4. 5 y 6	21 000	315
TAHSA	4	55	450 000	6 750

Datos del Repertorio Siderúrgico Latinoamericano, ILAPA 1983

4.2 Entorno Económico.

Desde principios de la década de los cincuenta hasta mediados de la década de los setenta, la economía mexicana alcanzó tasas de crecimiento promedio de 6%, periodo cuyo rasgo sobresaliente fue la participación de la actividad industrial en la producción nacional.

En la década de los setenta, se observa un retroceso importante en el abastecimiento del mercado interno de tres industrias básicas de la rama de manufactura: Metalurgia básica, industrias metalmeccánica, e industria automotriz y del transporte.

De acuerdo con la información disponible, entre 1980-81 se observa un incremento importante en los niveles de actividad económica, para caer abruptamente entre 1982-83, y recuperarse en 1984, aunque no, a los niveles de 1981.

El producto interno bruto (PIB) creció en 1984 a una tasa de 3.5%, entre los principales factores que apuntalaron la evolución económica de 1984 destaca el repunte del nivel de la inversión, particularmente de la privada, que logró superar las caídas de 1982-83, el gasto público, las oportunidades de exportación, la sustitución de importaciones, las menores tasas de interés y la mayor disponibilidad de financiamiento.

Evolución de la Industria Acerera.

Durante 1984, el consumo de acero mostró una evidente mejo-

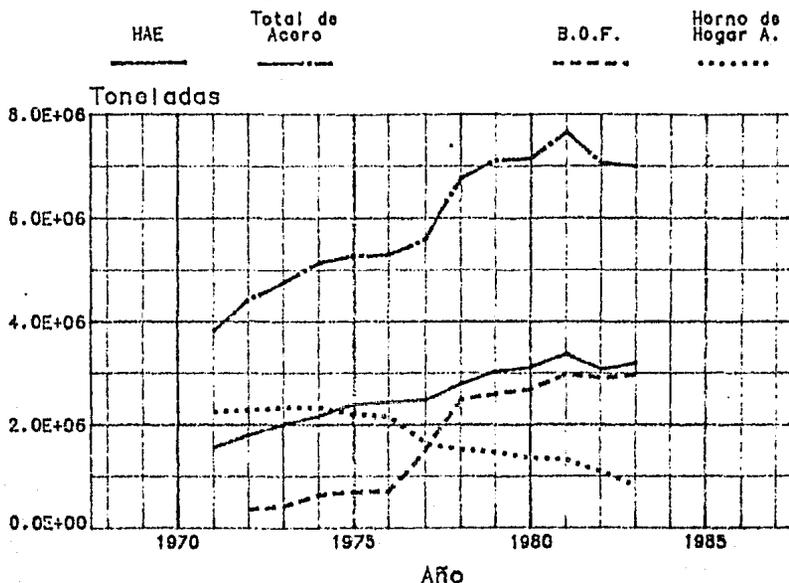
ría como consecuencia de la reactivación económica. De un nivel de 6.5 millones de toneladas en 1983, se pasó a 7.6 millones de toneladas, con un crecimiento del 7.6%. Dicha reactivación del consumo tuvo su principal apoyo en la demanda ejercida por el mercado doméstico, aunque las ventas al exterior continuaron representando un factor importante. El comportamiento observado es natural, si se toma en cuenta que la siderúrgica nacional debe atender en primera instancia a los consumidores del país y en la medida que cuente con excedentes asistir a los mercados internacionales.

Es necesario apuntar que pese a que 1984 fue un mejor año en relación al anterior, el consumo de acero dista considerablemente del registrado en 1981 (12.5 millones de toneladas). Como resultado de la evolución de la demanda, el volumen producido se incremento en 7.6% respecto a 1983; esta mejoría en la producción, permitió incrementar el porcentaje de utilización de la capacidad instalada; pasando del 66% observado en 1983 al 80% en 1984.

Otro efecto positivo derivado del aumento en la producción, fue un ligero incremento en el personal empleado en la industria. La variación fue de 1.7% y significó un total de 1513 nuevas contrataciones, por lo cual se estima que en 1984 las empresas acereras dieron ocupación a un total de 89811 personas.

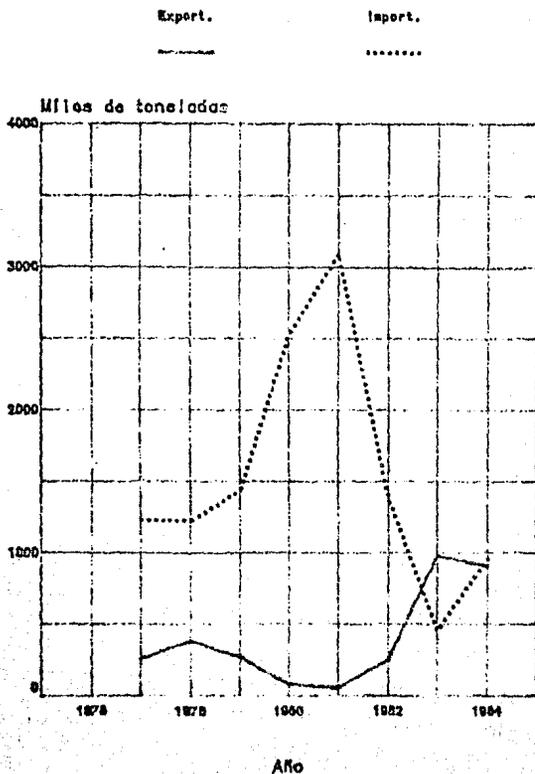
En cuanto a la producción de acero por tipo de proceso se destaca que en 1984 el 45% del total se logró mediante el convertidor al oxígeno, el 43% en hornos eléctricos y el restante 12% en hornos de hogar abierto.

PRODUCCION NACIONAL DE ACERO FABRICACION DE ACEROS CON HORNOS ELECTRICOS DE ARCO



Otro de los aspectos importantes de la evolución de la industria lo constituyó el intercambio con el exterior, obteniéndose un déficit de 50 mil toneladas. Las compras al exterior llegaron a un total de 956 mil toneladas, mientras que las exportaciones alcanzaron un volumen de 906 mil toneladas (76 mil toneladas menos que en 1983). Este déficit se debió primordialmente a la mayor actividad de las empresas

COMERCIO EXTERIOR DE PRODUCTOS SIDERURGICOS



demandantes de acero.

En el renglón operativo de las empresas, el balance del año muestra que un buen número de los principales insumos de la industria continúan teniendo ajustes de precios por encima de la inflación general del país, en este caso se encuentran las ferroaleaciones que se incrementaron en 85%, la energía eléctrica 70.6%, el gas natural 116%, el transporte ferroviario 68.5% y los refractarios 65%.

En el aspecto de precios de los productos de acero, se autorizaron dos incrementos en el año. El primero aprobado para aplicarse en los primeros días de 1984, fue de 40%. El siguiente fue de 23% y se autorizó a partir del primero de octubre.

En la parte financiera, la situación de las empresas sigue teniendo serias limitantes, ya que un alto porcentaje de la deuda es de origen externo, motivo por el cual está sujeta a las variaciones de las tasas de interés y el tipo de cambio, aún cuando los procesos de renegociación llevados a cabo han ayudado a atenuar sus obligaciones de pago, éstos continúan siendo una carga gravosa para la operación de las empresas.

En lo concerniente a los proyectos en proceso, continúan avanzando en su ejecución, aunque a un ritmo menor al deseado. Es de esperarse que una vez superadas las dificultades económicas del corto plazo, se tendrán mejores perspectivas

de mercado para concluir con tales proyectos.

Otro estímulo adicional para acometer la terminación de los proyectos productivos, es el avance en modernización y productividad implícito en ellos, pues solamente con productos siderúrgicos de calidad se podrá competir sin desventajas en los próximos años.

4.3 Análisis de Implantación de los Diferentes Procesos:

El análisis que se hace en el presente trabajo para reciclar polvos provenientes de hornos eléctricos de arco, se ha hecho para las industrias asentadas en el Valle de México, lo que no impide se plantee para otras regiones donde la industria del acero es importante.

En el Valle de México se observa en esta rama, que las distintas industrias asentadas en esta zona (11 en total), presentan grandes diferencias tecnológicas y productivas. Existen empresas pequeñas con tecnología atrasada, bajos volúmenes de producción y que por tanto presentan mayores costos de producción; frente a ellas, se encuentra otro grupo de empresas con tecnología más avanzada, alto coeficiente de capital, mano de obra especializada y mayores volúmenes de producción. Sin embargo es importante señalar que ninguna empresa en el país en forma individual produce la cantidad de polvos necesaria, ni su situación financiera es adecuada para que en forma aislada pudiese instalar una planta para tratar estos subproductos. La única forma de llevar a cabo la

construcción de una planta para beneficiar los polvos, es la unión de esfuerzos de estas empresas para que en conjunto se logre reunir la cantidad necesaria de polvos y capital para la adquisición y montaje del equipo necesario para la operación de una planta de este tipo.

Por las desigualdades que presentan éstas industrias, difícilmente aceptarían unirse para adquirir el equipo necesario, pero tal vez esta sea la única forma de lograr reunir los requisitos para que la operación fuese costeable y en donde la participación de las empresas involucradas pudiera depender de un porcentaje equivalente a los volúmenes que produce.

4.3.1 Lixiviación. El procesamiento de polvos por este método no es recomendable debido a la inexistencia de industrias que procesen mineral de hierro y zinc en zonas cercanas a las acerías eléctricas del Valle de México, por lo que la transportación del producto a las plantas refinadoras haría incosteable el proceso.

4.3.2 " INNETCO " (International Metal Recovery). La construcción de una planta tomando como modelo la construida por esta empresa, es imposible por dos razones fundamentales:

- a) Una de las características por la que es rentable esta planta es el procesamiento de grandes volúmenes de polvos provenientes de la fabricación de aceros especiales, cantidad que no se genera en México.
- b) El costo y el nivel tecnológico con las que opera

están en estos momentos casi fuera del alcance de cualquier grupo industrial del país.

4.3.3 Proceso de la "British Steel Corporation". La obtención de hierro esponja utilizando el horno rotatorio de una fábrica de cemento, es factible de ser llevado a cabo debido a que el equipo necesario para preparar los polvos, no es muy cuantioso y la reducción se logra con carbón y coque, lo cual hace que el costo de esta instalación sería comparativamente menor. Teniéndose además, la alternativa de procesar separadamente polvos provenientes de la fabricación de aceros aleados y de aceros no aleados, logrando de esta manera, recuperar elementos muy costosos en la industria siderúrgica (cromo níquel, molibdeno, etc).

4.3.4 Proceso de la " Thyssen Stahl AG ". Procesar los polvos con virutas de acero en una briqueteadora de rodillos, involucra menos dificultades y representa una inversión baja, pudiéndose instalar esta en una acería sin que ocupase mucho espacio, de esta forma se podrían reciclar los polvos directamente en los hornos eléctricos de arco sin ningún otro tratamiento, lo cual abatiría considerablemente los costos y haría muy ventajosa su implantación. Con este proceso se tiene también la alternativa de tratar por separado polvos provenientes de la fabricación de aceros aleados y no aleados para el reciclaje de elementos antes mencionados.

4.3.5 Procesamiento de Polvos con Tecnología del Plasma. El procesamiento de polvos utilizando hornos de arco de plasma es prohibitivo para las acerías mexicanas debido a:

a) En México la tecnología de este proceso es casi nula y su instalación requeriría la adquisición completa del equipo en el extranjero, lo cual incrementaría grandemente los costos.

b) El desconocimiento de este proceso implicaría el adiestramiento del personal que operase la planta, con lo cual se perdería gran cantidad de dinero en el tiempo en el que los operarios adquiriesen un nivel técnico confiable para su operación.

c) El uso de esta tecnología traería consigo la dependencia casi total para las empresas, motivo por el cual hace casi imposible su construcción.

Las ventajas que represente la instalación de una planta para procesar los polvos provenientes de aceración en hornos eléctricos de arco, tal vez en estos momentos no sean fundamentalmente de origen económico, el efecto más importante puede encontrarse en la reducción de la contaminación ambiental. Sin embargo es importante recordar que las reservas de minerales de hierro alcanzan para aproximadamente 30 años, por lo que es muy factible que el procesamiento de estos polvos sea de gran importancia en los próximos años.

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.

La aceración por medio de hornos eléctricos de arco ocupa un lugar importante dentro de la fabricación de acero en el país (43% de la producción total). La contribución de este proceso a la contaminación atmosférica es mínima comparada con otros procesos industriales, siendo los polvos el subproducto más difícil de eliminar para evitar daños a la salud, además contienen una gran cantidad de metales que representan materia prima susceptible de ser utilizada y que actualmente por el contrario se desperdicia al ser depositados en basureros municipales.

El desarrollo de esta tesis se fundamentó en encontrar la manera de reciclar estos residuos, resultados que a continuación se presentan.

1. - Se determinó que dentro de la producción siderúrgica nacional, se obtuvieron 3 200 694 toneladas de acero en hornos eléctricos de arco, las cuales generaron un volumen de polvos estimado en el 1.5% de la producción total (48 010 toneladas de polvo en el año de 1983).

2. - En la mayoría de las acerías se utilizan sistemas de captación de bolsas filtro, debido al alto rendimiento que presentan, observándose que la composición de los polvos colectados varía de acuerdo a varios factores como son:

- a) El tipo de chatarra utilizada.
- b) La Clase de acero producido.

c) Proceso de aceración particular seguido por cada empresa.

(En los capitulos anteriores se muestran algunas composiciones químicas de diferentes acerías, provenientes de la fabricación de varios tipos de aceros).

3. - En el capítulo 3 se describen los principales procesos de beneficio que actualmente están en operación a nivel mundial. La implantación en el país de alguno de estos procesos no es factible debido al alto costo que presentan, baja cantidad de polvo generado, nivel tecnológico existente y a las condiciones económicas en que actualmente se encuentran las empresas siderúrgicas del país.

En México no existe alguna compañía que recicle los polvos, pagando incluso para que los polvos sean retirados de sus plantas, siendo una de las causas principales la necesidad de que la empresa genere una cantidad grande de polvo (<20000t), para que el proceso sea rentable, volúmenes que individualmente ninguna acería del país lo produce, por lo que proponemos:

a) Que las empresas o un organismo, por ejemplo la Cámara Nacional del Hierro y del Acero, realice estudios estadísticos y económicos para la implantación en conjunto del proceso que más idoneo les sea, de acuerdo a las características de los polvos captados y a las características productivas de las distintas zonas del país (Valle de México, Zona Norte, Zona Occidente).

- b) Se concentren los polvos captados por las diferentes empresas, clasificándolos según provengan de la fabricación de aceros aleados y no aleados para un mejor aprovechamiento de metales valiosos (Cr, Ni, Mo, etc.).
- c) Si dentro de dicha zona existe una planta productora de cemento, se analice simultáneamente con esta empresa, la posibilidad de aprovechar el excedente de la planta de cemento, con el fin de utilizar los hornos rotatorios de la misma, para llevar a cabo la reducción del polvo, obteniéndose de esta manera hierro esponja, que podrá ocuparse como parte de la carga en los hornos eléctricos de arco y óxidos con alto contenido de zinc y plomo que podrán utilizarse en metalurgia no ferrosa. En el Valle de México dado el gran número de empresas productoras de acero que se encuentran en la zona, se presentan todas las características para la implantación de este proceso.
- d) Comprar en conjunto y montar una máquina briquetadora, para compactar el polvo mezclado con virutas de acero, e incluirlos como parte de la carga en los hornos eléctricos de arco, hasta que el contenido de plomo y zinc (< al 25%) sea adecuado para su venta a compañías dedicadas a

la refinación de estos elementos.

5.- Las ventajas que presente en estos momentos la construcción de una planta para procesar estos residuos tal vez no sean fundamentalmente de origen económico sino en los beneficios que traería al reducirse la contaminación ambiental causada por estas partículas, por lo que si el Estado plantease una política anticontaminante ésta podría ser una solución al problema de las empresas que producen acero en hornos eléctricos de arco. Con vistas al futuro y teniendo presente que las reservas de minerales de hierro se están agotando, es probable que estas técnicas cobren gran importancia en un futuro próximo

BIBLIOGRAFIA

A NEW FAMILY OF REDUCTION PROCESS BASED ON PLASMA TECHNOLOGY. HANS G. HERLITZ, BORJE JOHANSSON AND SVEN O. SANTEN. IRON AND STEEL ENGINEER, MARZO DE 1984.

CONTROL OF POLLUTION OF ELECTRIC ARC FURNACE AT OREGON STEEL MILLS CO. DONALD L. BENZ AND RICHARD BIRD. BY AMERICAN AIR FILTER CO.

OPERATING EXPERIENCE WITH A LARGE BAGHOUSE IN AN ELECTRIC ARC FURNACE STEELMAKING SHOP. J. L. VENTURINI, BETHLEHEM STEEL CO JOURNAL OF THE AIR POLLUTION CONTROL ASSOCIATION, VOLUMEN 20 No. 12, DICIEMBRE DE 1970.

PILOT PLANT TRIAL OF "FILTER-CAKE PROCESS" FOR ROTARY-KILN REDUCTION OF ELECTRIC ARC STEELMAKING FUME. C. P. KERTON AND J. R. WOOD. IRONMAKING AND STEELMAKING No. 3 1981.

POLLUTION CONTROL IN DUPLEX STEEL PLANTS. H. J. KLINGELHOFER MANFRED EISENBARTH AND ROLF BOLLERHEY. WORLD STEEL AND METAL WORKING, VOLUMEN 4, 1982.

PRODUCTION AND PREPARATION OF REINFORCED FILTER DUST BRIQUETTES FROM SPECIAL STEELMAKING OPERATIONS. WERNER KASS, EGON KOHLER, HANS HELMUT BORGGREFE AND KLAUS-DIETER UNGER. METALURGICAL PLANT AND TECHNOLOGY, No. 3 1984.

PRODUCTION EXPERIENCE WITH PLASMA TECHNOLOGY IN METALURGICAL PROCESSING. HANS G. GERTLITZ AND SVEN O. SANTEN. IRONMAKING AND STEEL ENGINEER, AGOSTO DE 1985.

ANUARIO ESTADISTICO DE LA SIDERURGIA Y MINERIA EN AMERICA LATINA. INSTITUTO LATINOAMERICANO DEL FIERRO Y DEL ACERO, 1985

CONTAMINACION EN SIDERURGIA. INSTITUTO LATINOAMERICANO DEL FIERRO Y DEL ACERO, ILAFA 1973.

ECOLOGIA CONTAMINACION Y MEDIO AMBIENTE. TURK, TURK Y WILTES ED. NUEVA INTERAMERICANA, MEXICO 1973.

ELEMENTOS DE LA CONTAMINACION AMBIENTAL EN LA INDUSTRIA SIDERURGICA Y FERROMINERIA EN MEXICO. POR JOSE MARIA GATELL TRUJILLO.

ENVIROMENTAL CONTROL TECHNOLOGY IN THE STEEL INDUSTRY. INTERNATIONAL IRON AND STEEL INSTITUTE, 1985.

LOS HORNOS ELECTRICOS DE ACERACION Y LA TECNOLOGIA DEL PROCESO. G. T. PAUL Y D. G. DAVIES. MEMORIA TECNICA DEL SEMINARIO ILAFA 1974.

MEMORIA DEL PRIMER CONGRESO SOBRE CONATAMINACION AMBIENTAL EN MEXICO, 1973.

OPERATING EXPERINCE WITH THE INMETCO PROCESS FOR THE RECOVERY OF STEELMAKING WASTES. JOHN K. FARGETER. PROCEEDINGS OF THE SEVENTH MINERAL WASTE UTILIZATION SYMPOSIUM, BY THE U. S. BUREAU OF MINES AND IIT RESEARCH INSTITUTE, IN CHICAGO ILLINOIS ON OCTOBER OF 1980.

REPERTORIO SIDERURGICO LATINOAMERICANO. ILAFA 1983.