

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA



PLANTA PILOTO DE HIERRO ESPONJA

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO METALURGISTA

Presentado por:

LULIO ADOLFO PALACIN LOPE

LIMA – PERU

2010

AGRADECIMIENTOS

A Dios que ilumina mis pasos, también a mis profesores, quienes me brindaron sus conocimientos, para ser de mí un profesional capaz de poder afrontar cualquier reto en la vida profesional, quienes me brindaron la oportunidad de desarrollarme y prepararme para completar esta tesis.

Finalmente quiero agradecer a mis padres que son mi fuente de inspiración y el motivo de la realización de esta tesis.

RESUMEN

Es importante la transformación de los minerales de hierro en productos útiles para la sociedad como por ejemplo las barras de acero para ser usado con el concreto para la construcción de casas, edificios, pero como los Hornos Eléctricos de Arco usan como materia prima la chatarra de acero y teniendo en cuenta que es escasa en nuestro medio, es necesario transformar el mineral de hierro en Hierro esponja para poder así reemplazar a la chatarra en un determinado porcentaje; en el Perú las Siderurgias usan una mezcla de 30 a 40% de Hierro esponja con un 70 a 80 % de chatarra de acero .

Existen diferentes procesos de fabricación del Hierro esponja también denominado DRI (direct reduction Iron), por ejemplo los métodos que usan Gas Natural como el Midrex y el HyL, Purofer, y los procesos con Carbón como el SL-RN y KRUP.

En este estudio vamos a desarrollar una planta piloto usando el método SL-RN debido a que en el Perú tenemos Carbón y también en la Siderúrgica existe Finos de Coque que va a reemplazar al Carbón como material reductor.

INDICE

Agradecimientos

Resumen

CAPITULO I : GENERALIDADES - Procesos de Obtención de Hierro

1.1	Proceso FINMET.....	2
1.2	El proceso HYL III	4
1.3	Proceso MIDREX	5
1.4	Proceso SL/RN	7

CAPITULO II: FUNDAMENTOS BASICOS DE LA REDUCCION DIRECTA

2.1	Fundamentos de la Reducción Directa	10
2.2	Grado de Reducción (Gr).....	12
2.3	Grado de metalización	13
2.4	Reacciones de la Reducción	14
2.5	Requisitos de los Materiales a emplearse en la Reducción Directa	17
2.6.	Procesos a Base de reductor Sólido	19

CAPITULO III: Proyecto Piloto de la Producción de Hierro Esponja

3.1	Horno Reductor	24
3.2	Prueba de Ensayo	25
3.3	Materia Prima	26
3.4	Análisis Químico (Coque)	27
3.5	Caliza	27
3.6	Prueba en frío	28
3.7	Prueba en caliente	28
3.8	Ensayo de Producción en la planta piloto	29
3.9	Pruebas en el Horno Piloto	30
3.10	Balance de Materiales	32
3.11	Balance de Energía	33

CONCLUSIONES	34
---------------------------	----

BIBLIOGRAFIA	36
---------------------------	----

ANEXOS

INTRODUCCION

En el siglo XIV se obtuvo el arrabio con los primitivos altos hornos, ellos fueron de reducción directa los procesos que durante varios siglos permitieron al hombre contar con objetos de hierro procedente de minerales de este metal.

Luego de la aparición del alto horno, los siderurgistas continuaron buscando otros procedimientos que permitieran una obtención más favorable del hierro metálico. Pese a los esfuerzos realizados, la aplicación industrial de los procesos de reducción mas difundidos son: Wibeg, Krupp, HyL, Midrex, Finmet.

El presente informe es hacer un perfil de planta piloto de la producción de hierro esponja, ya que esto entre otros beneficios es bajar los costos de producción, cubrir y reemplazar parcialmente la demanda de chatarra con un producto superior en calidad y precio.

CAPITULO I

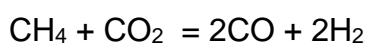
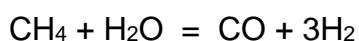
GENERALIDADES

PROCESOS DE OBTENCION DE HIERRO

1.1 PROCESO FINMET.

Es un proceso que se usa para los minerales finos que existe en las Siderurgias produciendo briquetas de hierro esponja. Es un proceso de lecho fluidizado y se obtienen altos grados de metalización del orden de 92%.

Se realiza la reacción catalítica en un Horno Reforming del gas natural a 1000°C, el horno reforming consiste en una cámara de calentamiento y en el interior hay tubos de acero refractario que contiene en su interior un catalizador (Ni) que sirve para activar la reacción entre el Gas Natural y los gases efluentes del Horno Reductor, obteniéndose como producto los gases Reductores:



HORNO REDUCTOR

Los gases reductores son el CO y H_2 , y reduce el fino mineral de hierro de acuerdo a las siguientes reacciones:

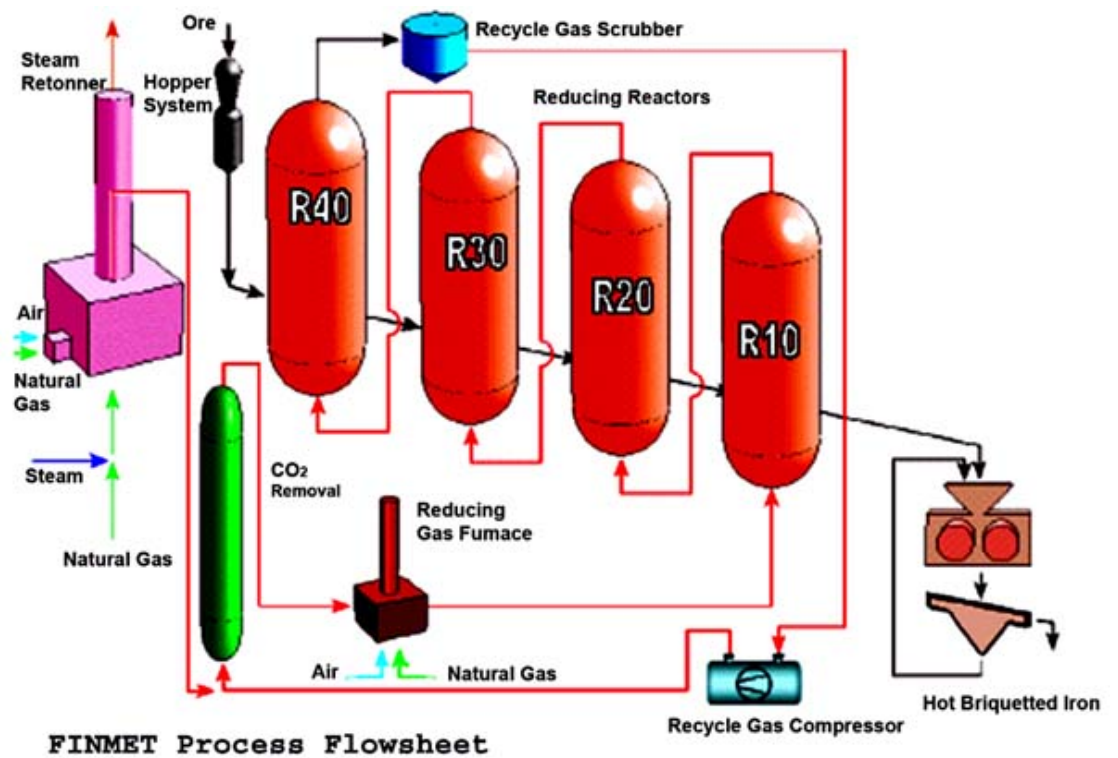
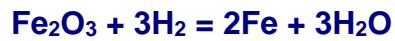


Figura 1.1: Diagrama de flujo del proceso FINMET

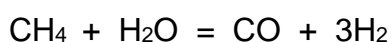
1.2 El proceso HYL III

Este proceso se usa para la reducción directa de minerales de hierro (en estado sólido), mediante la utilización de gases reductores ricos en Hidrógeno (H₂) y Monóxido de Carbono (CO).

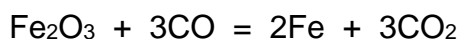
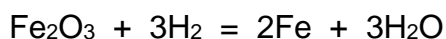
Hierro de Reducción Directa (HRD):

HRD que se utiliza normalmente en acerías cercanas a la planta de reducción directa, puede también ser embarcado y transportado a largas distancias.

El gas reductor se obtiene proceso de reformación del gas metano con vapor de agua, de acuerdo a las siguientes reacciones:



Los gases reductores son el CO y H₂, y reduce al mineral de hierro de acuerdo a las siguientes reacciones:



El hierro esponja es enfriado a 36 °C, y se produce una metalización de 96 %.

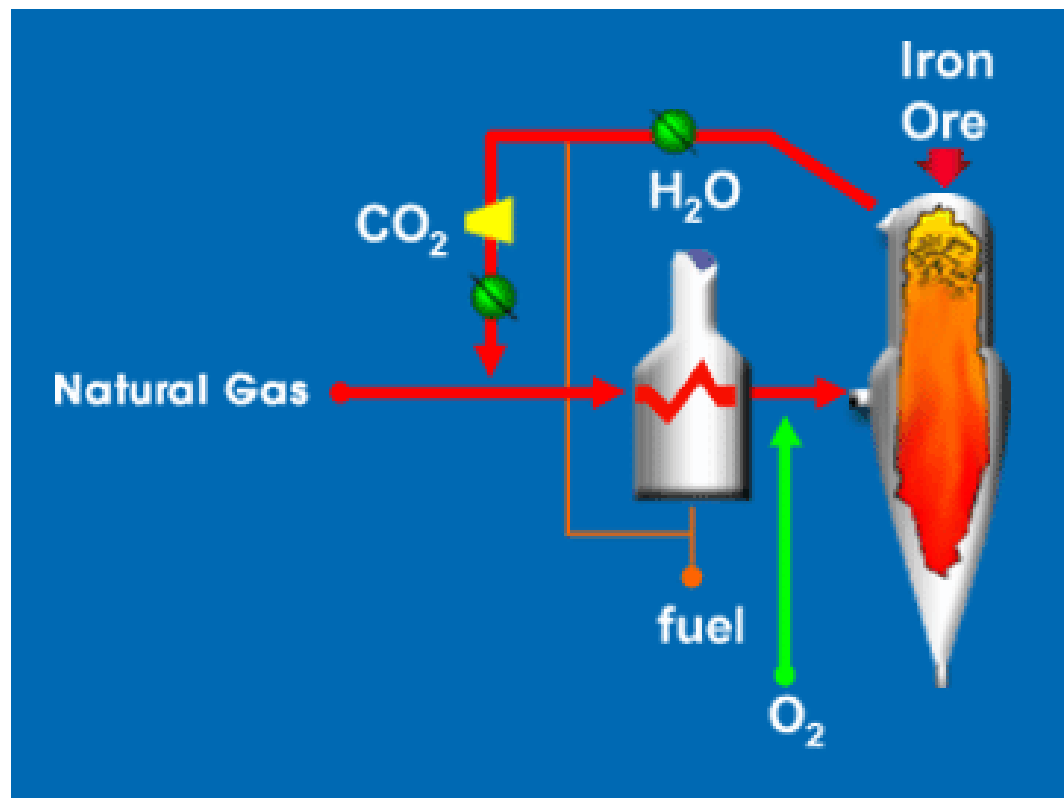


Figura 1.2: Proceso HYL III

1.3 PROCESO MIDREX

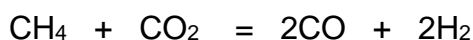
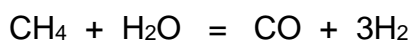
Fue diseñado por Midland Ross Corporation en EU., actualmente este proceso pertenece a la Midrex Corporation Subsidiaria de la Korf Industries INC.

Este proceso combina la tecnología del horno de cuba y el generador de gas para la reducción de los minerales de hierro, usando reductores gaseosos producidos por el gas natural u otro combustible.

PREPARACIÓN DEL GAS REDUCTOR:

Se realiza la reacción catalítica en un Horno Reforming del gas natural a 920°C.

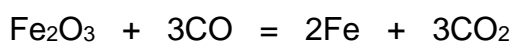
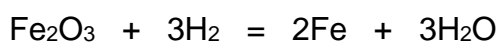
El horno reforming consiste en una cámara de calentamiento revestida de ladrillo refractario, en el interior hay tubos de acero refractario y contiene en su interior un catalizador (Ni) que sirve para activar la reacción entre el Gas Natural y los gases efluentes del Horno Reductor, obteniéndose como producto los gases Reductores:



HORNO REDUCTOR

Tiene un diámetro interior de 4,80 m. y su volumen de 300 m³, la zona superior se usa para la reducción, trabaja a 900°C.

Los gases reductores son el CO y H₂ y reduce al mineral de hierro de acuerdo a las siguientes reacciones:



Se produce una metalización del 95 % y es enfriado en la zona inferior del Horno reductor. La descarga se efectúa mediante un dispositivo llamado wiper bar.

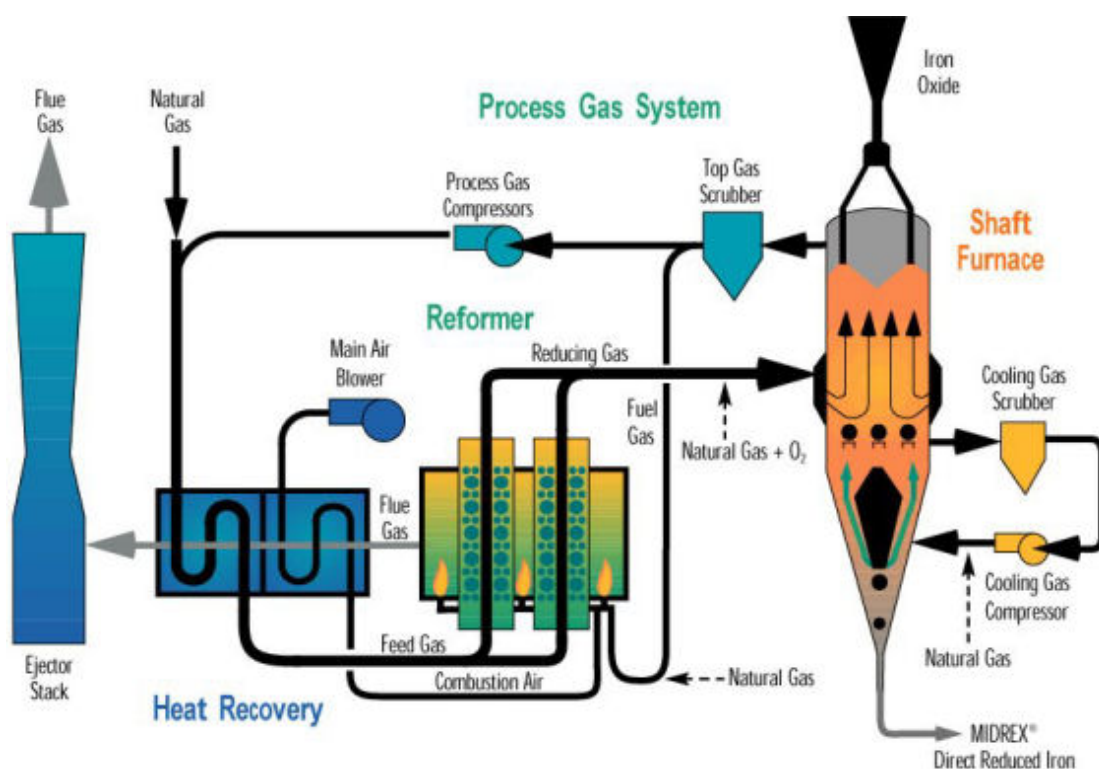


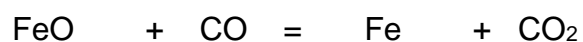
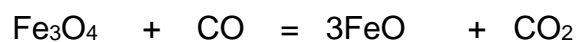
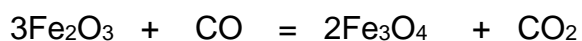
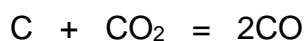
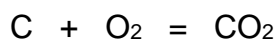
Figura 1.3: Diagrama de flujo del proceso MIDREX

1.4 PROCESO SL/RN

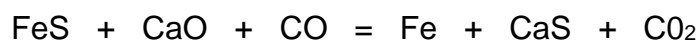
Este proceso de reducción directa de Hierro fue desarrollado por la Steel Company of Canadá Limited, Lurgy Chemic and Hutteutechnik, Republic Steel Corporation y la National Leac Company.

Se usa como reductor el carbón antracita de bajo contenido de azufre y bajo contenido de cenizas, la granulometría del reductor sólido es de granos menores de 12 mm lo cual es muy importante debido a que los finos de carbón existen en grandes cantidades en el país.

Las reacciones de reducción son:



Como desulfurante se usan los finos de caliza o dolomita menores de 4 mm de diámetro y desulfura al mineral según la siguiente ecuación.



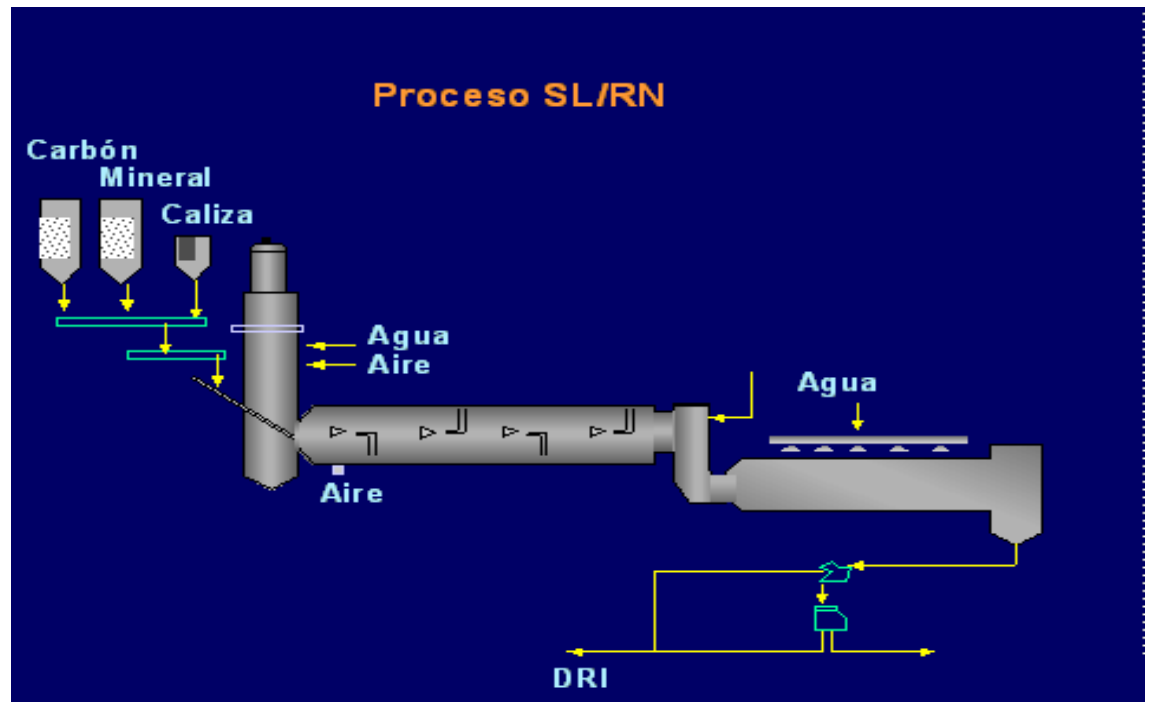


Figura 1.4: Diagrama de flujo del proceso SL/RN

CAPITULO II

FUNDAMENTOS BASICOS DE LA REDUCCION DIRECTA

2.1 Fundamentos de la Reducción Directa

En todo proceso de reducción de los óxidos de hierro, distinto del aplicado en el alto horno, es llamado de reducción directa.

Se considera la reducción directa a todo proceso mediante el cual la reducción se efectúa sin llegarse a la fusión. Aunque esta es la acepción que más se ha generalizado, no deja de ser meramente convencional. Mas apropiado sería en este caso llamar, como lo hacen ya algunos autores, de “prerreducción” al respectivo proceso, en vista de que sin alcanzarse la fusión no se llega a remover en la practica el 100% de oxígeno.

Hierro Esponja

También al hierro esponja se denomina DRI (Direct Reduction Iron). Cuando la eliminación del oxígeno de los óxidos de hierro se efectúa sin llegar a la fusión, el producto conserva la forma original del mineral, pero con notable mayor porosidad. Por esta última condición recibe el nombre de “hierro esponja” o “esponja de hierro”.

No todos los productos sólidos obtenidos por reducción directa son el material hierro esponja, en algunos procesos que emplean mineral de hierro en pequeñas partículas, son estas briqueteadas después de ser reducidas, con lo cual el producto final resulta muy compacto y denso. Se habla en este caso de briquetas “metalizadas”.

Al hierro esponja, que procederá de mineral en trozos o en pelets se aplica también las denominaciones de mineral o pelets “metalizados” y del mineral o pelets “prerreducidos”. Las briquetas metalizadas son llamadas igualmente briquetas prerreducidas.

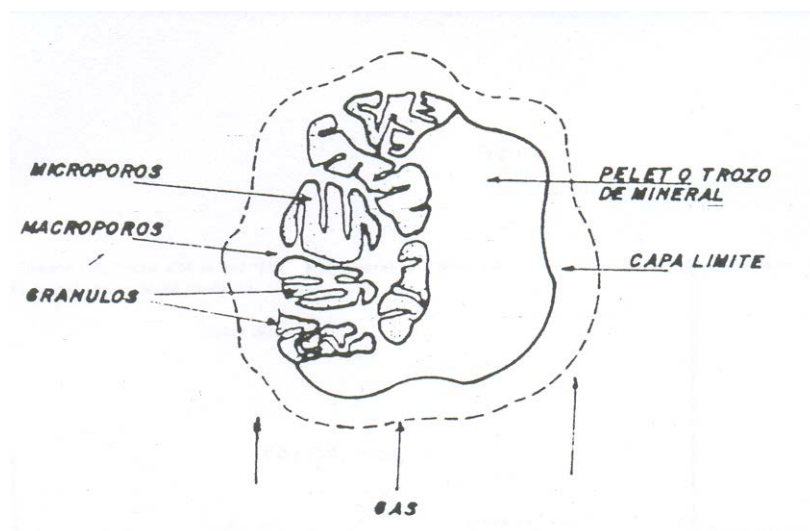


Figura 2.1: Estructura de los poros de un trozo de mineral o pelets

2.2 Grado de Reducción(Gr)

Es la relación entre el oxígeno removido de los óxidos de hierro y el oxígeno total de estos antes de la reducción. Multiplicando esta relación por 100 se expresa el grado de reducción como un porcentaje:

$$Gr = (O_r/O_t) \times 100$$

Donde:

O_r es el oxígeno removido

O_t el oxígeno total original en el mineral,

2.3 Grado de metalización

$$G_m = (F_{em}/F_{et}) \times 100$$

Donde:

F_{em} : Hierro metalizado ($Fe + Fe_3C$).

F_{et} : Hierro total

En el contenido de hierro metálico se incluye el Fe de la cementita (Fe_3C) que se puede formar.

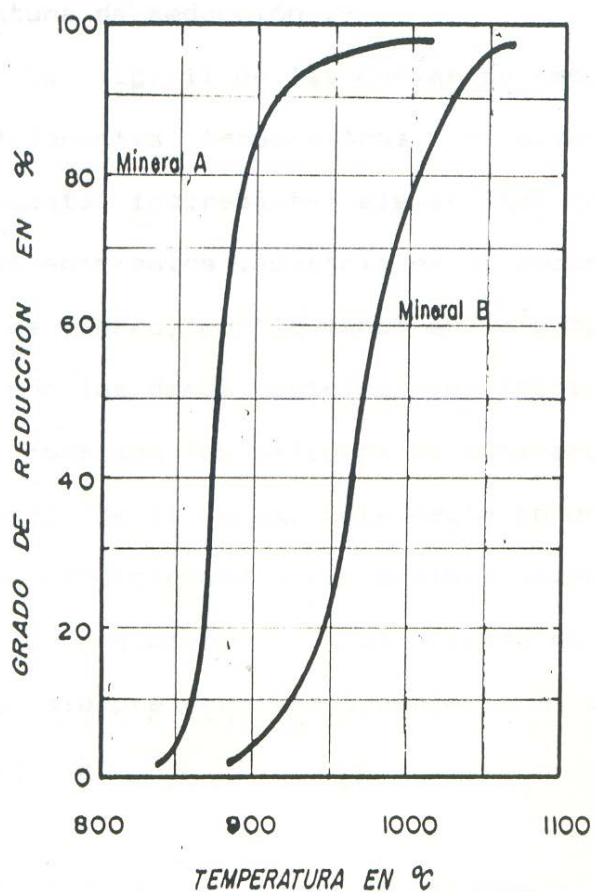


Figura 2.2: Influencia de las características del mineral en el grado de reducción.

En la mayoría de los procesos que nos ocupan, la metalización se presenta luego de haberse efectuado alguna reducción porque los óxidos superiores Fe_2O_3 y Fe_3O_4 ; se deben reducir a FeO antes de liberar al hierro. Como en los grados avanzados de metalización que se obtienen en la práctica, el hierro residual no metálico se encuentra en su mayor parte o totalmente en forma de FeO , es decir oxidado que originalmente, resulta que el grado de reducción es siempre mayor que el de metalización.

2.4 Reacciones de la Reducción

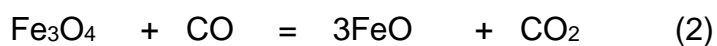
Los minerales de hierro o los pellets procedentes de ellos que se someten al proceso de reducción están constituidos por el óxido férrico Fe_2O_3 (hematita) y/o por el óxido ferroso – férrico Fe_3O_4 (magnetita). Suelen contener también alguna proporción del óxido ferroso FeO (wustita).

Se requiere por tanto de elementos reductores para obtener la deseada metalización, es decir para liberar al hierro del oxígeno con que se le encuentra combinado en la naturaleza.

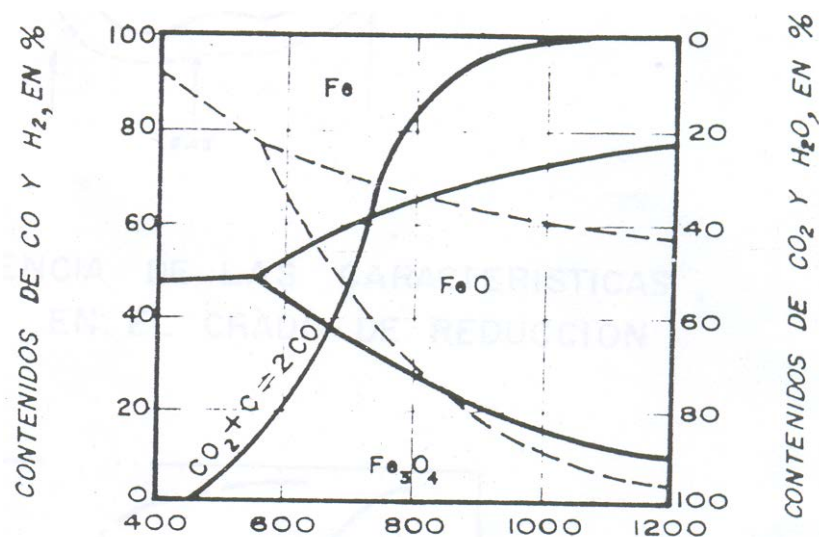
Los reductores usuales son el carbono, el hidrógeno, el monóxido de carbono o una mezcla de estos últimos.

Cuando se emplea carbono, esta reacciona a temperatura adecuada con el mineral directamente al contacto superficial, el cual será tanto mayor cuanto menor sea el tamaño de las partículas en presencia.

Las reacciones que se producen durante la reducción son:



Lo que se logra con estas reacciones es relativamente poco, resultando mucho mas importantes las que tienen lugar con el CO producido y regenerado.

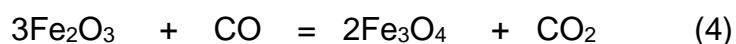


En trazo discontinuo, el de Fe-O-H

En trazo lleno, el de Fe-O-C y la curva de Boudouard

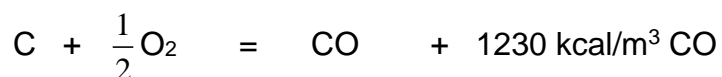
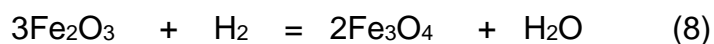
Figura 2.3: Diagrama de Equilibrios

Las ecuaciones respectivas donde se cumple la curva de Boudouard son las siguientes:



El principal efecto del carbón de la carga es, pues, el de producir la atmosfera reductora que ha de rodear al mineral para su reducción, convirtiendo en CO y CO₂ resultante de esta, mediante la reacción (7) conocida como de Boudouard.

Las reacciones con hidrogeno son, análogamente,



2.5 Requisitos de los Materiales a emplearse en la Reducción Directa

a) El Mineral de Hierro

Puede ser este de muy diversa granulometría, teniendo los finos de aplicación en reactores de lecho fluidizado y los trozos mayores, los pelets y las briquetas, en retortas y en hornos de cuba. Los hornos rotativos son los más flexibles en cuanto a tamaño, permitiendo no solo pelets, briquetas y trozos, sino también, en ciertas condiciones, finos de mineral.

Si el producto se destina a hornos de arco, el mineral deberá ser lo mas puro posible, es decir, contener muy reducida proporción de ganga particularmente sílice (SiO_2). Cuanto mas alta el contenido de esta, mayor será la cantidad de escoria con que debe operarse y mayor por tanto el consumo de energía.

Cuando el producto se requiere para empleo en altos hornos o en hornos eléctricos de reducción, la exigencia de la pureza del mineral de origen puede reducirse sustancialmente, sobre todo porque las cantidades admisibles de escoria en estas aplicaciones son más elevadas.

Una característica muy importante del mineral de hierro es su reducibilidad. En algunos casos se procede a oxidar la magnetita con el propósito de cambiar su estructura poco porosa y hacerla mas reactiva. Con el mismo proceso oxidante se persigue a veces una conveniente desulfuración, pues,

como otro de los requisitos importantes para que el mineral de hierro se use para fabricar hierro esponja es su contenido de azufre, se requiere que el contenido de azufre sea lo menos posible.

b) El Reductor Sólido

Se afirma que casi cualquier sustancia carbonífera puede emplearse como reductor en hornos rotativos. Esto lamentablemente esta lejos de ser cierto, lo que si es verdad es que en toda la gama de carbones, desde los lignitos hasta las antracitas y los finos de coque, puede ser usado como reductor apropiado.

Las características más importantes que determinan la aplicabilidad de un carbón a la reducción directa de los minerales de hierro son:

Composición de las cenizas

Reactividad

Materias volátiles

Contenido de azufre

Contenido de cenizas.

Dada la influencia de la temperatura en la velocidad de reacción y su consecuencia en el tamaño del horno, resulta esta característica de capital importancia.

Si la composición de las cenizas es tal, que da lugar a la formación de compuestos de bajo punto de fusión, se presenta también una desfavorable limitación en la temperatura que hace inaceptable el carbón respectivo.

El tamaño del horno y la economicidad de la planta dependen de la reactividad del carbón a emplearse, pues la concentración suficiente del CO que domina la reducción es función de la velocidad con que reaccionen el carbón y el CO₂ para regenerar a aquel ($C+CO_2 \longrightarrow 2CO$).

La reactividad del carbón suele ser paralela del contenido de materias volátiles.

2.6. Procesos a Base de reductor Sólido

Los procesos nombrados, a base de carbón, son el SL-RN y el Krupp, los cuales se realizan en un horno rotativo, estos procesos son casi idénticos y destinados a la reducción de mineral de hierro en trozos ó con pélets. La granulometría conveniente depende de la reducibilidad y suele ser de 5 a 20 mm. para el mineral en trozos y de 10 a 16 mm. para los pelets.

Cuando en los procesos SL-RN y el Krupp, se emplean carbones con alto contenido de materias volátiles, como el carbón bituminoso, estos son

proyectados desde la boca de descarga del horno rotativo hacia distintos puntos del interior del horno rotativo, de este modo el desprendimiento de volátiles resulte convenientemente distribuido para hacer que el calentamiento con la combustión de los mismos y del CO que se desprende de la reacción en el lecho de mineral, carbón y desulfurante (caliza o dolomita) haga que la temperatura sea uniforme en cada zona.

En los casos de empleo de carbones con pocas materias volátiles, como las antracitas y los finos de coque, son ellos cargados con el mineral y el desulfurante por la boca mas alta del horno rotativo, y el calor que hace falta para el proceso, es aportado mediante otro combustible, líquido o gaseoso, inyectado por la boca de salida por medio de quemadores.

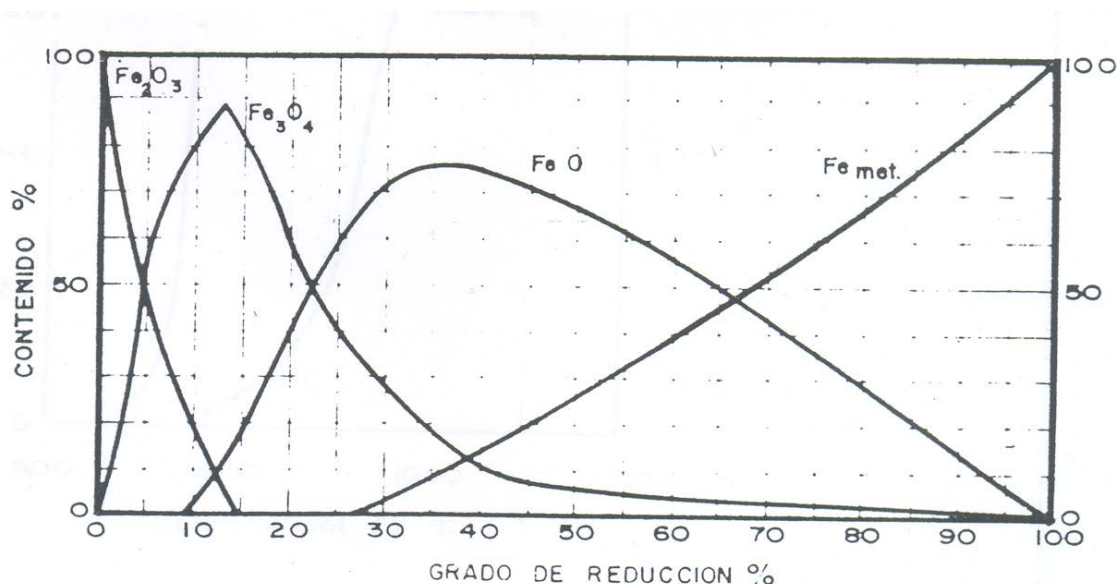


Figura 2.4: Evolución de la reducción de pelets en horno Rotativo con carbón.

El aire para la combustión se aplica en los distintos puntos desde una tubería colectora o mediante ventiladores independientes montados en el mismo horno.

La orientación de las boquillas de aire o de los quemadores en el interior del horno, es una de las características de cada proceso, estando dispuestas las del Krupp, en el mismo sentido del movimiento de los gases y a contracorriente en el SL-RN. La dolomita o la caliza que se emplea como desulfurante, suele cargarse en tamaños de 0,1 a 8 mm. y el carbón en tamaños por debajo de 25 mm.

Se opera en estos procesos a temperaturas hasta de 1100 a 1200°C, limitándose la temperatura por la aglomeración de partículas y la formación de encostramientos dentro del horno. El grado de reducción alcanzable en la práctica industrial esta sobre los 95%.

El producto es enfriado en un cilindro que, a su vez, es refrigerado exteriormente por agua en el proceso SL/RN, en el proceso Krupp -Hierro Esponja se recurre aun enfriamiento parcial con agua directamente sobre el hierro esponja a la salida del horno. Se asegura que la reoxidacion que esto puede provocar es muy pequeña.

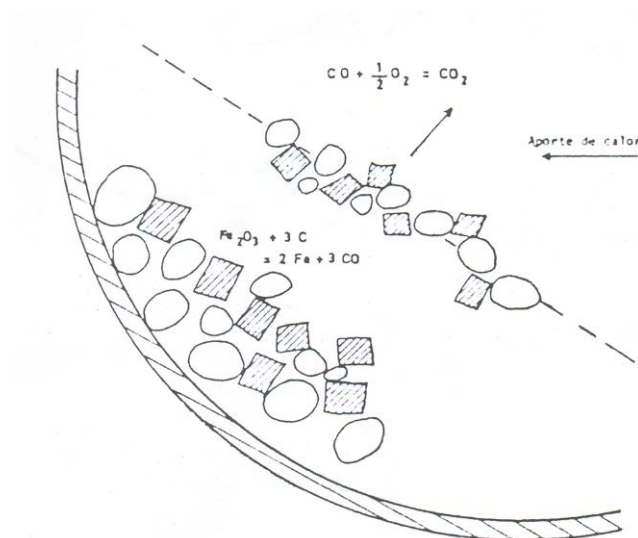


Figura 2.5: Esquema simplificado de la reducción de mineral de hierro por el carbono en un horno rotatorio (corte del horno).

El proceso Krupp ha sido desarrollado por la Fried Krupp GMBH de Alemania, y el SL-RN debe su nombre a las iniciales de las 4 empresas que han colaborado en su desarrollo, a saber: Stelco, de Canadá; Lurgi, de Alemania; Republic Steel y National Lead, de los EE.UU.

CAPITULO III

Proyecto Piloto de la Producción de Hierro Esponja

Se diseño para una capacidad de producción de 25 ton. de producto/día.

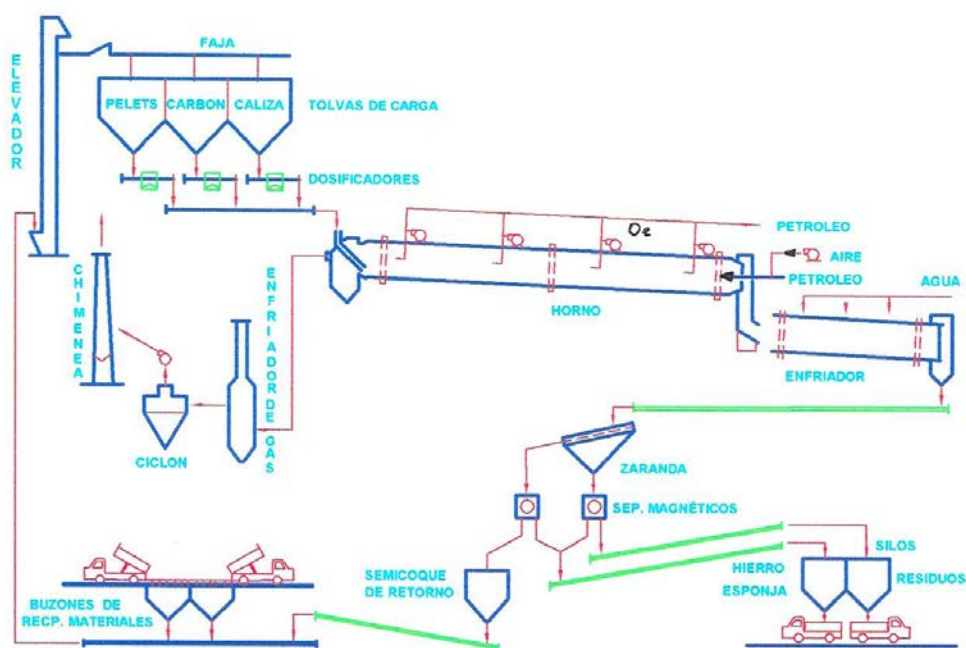


FIGURA 3.1: Planta piloto de 25 toneladas por día.

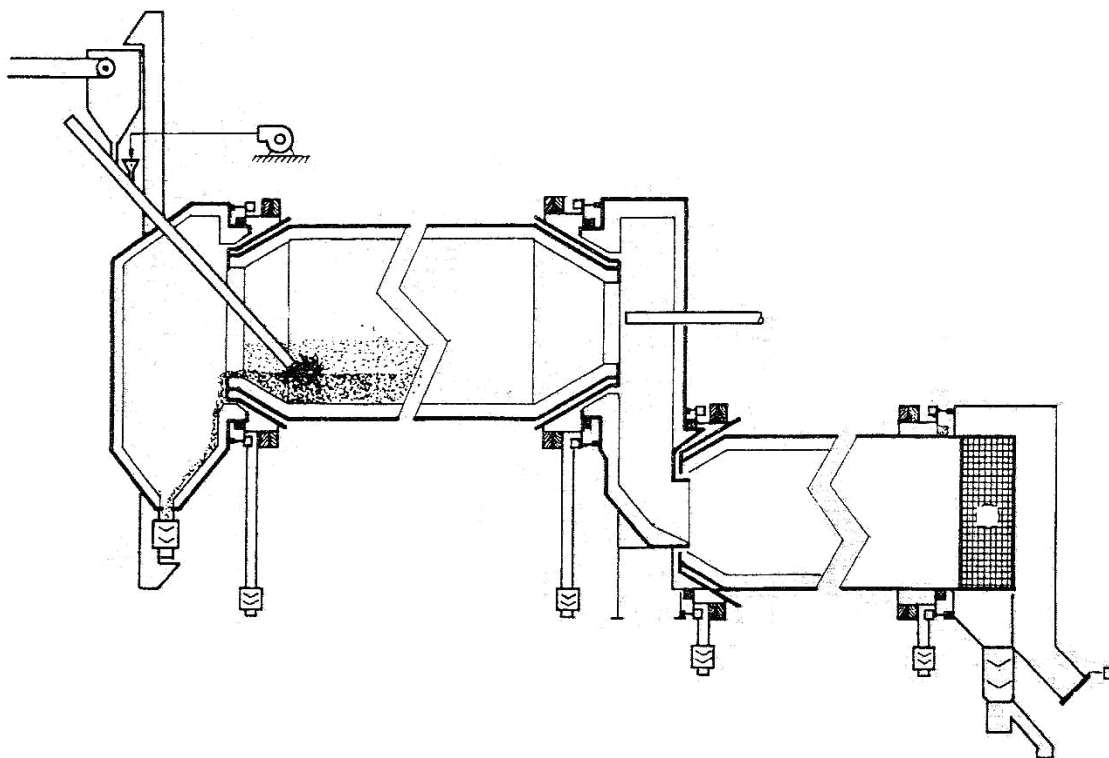


FIGURA 3.2: Horno y entrada al enfriador del Hierro esponja.

3.1 Horno Reductor

El Horno tiene un diámetro de 2,10 m y un largo de 18,00 m. El quemador de petróleo se instaló en la zona de descarga del hierro esponja y se colocaron 6 termopares a lo largo del horno para conocer el perfil térmico del horno reductor. Además se tiene 3 tolvas para la materia prima como son: los pellets, los finos de coque y la caliza. El enfriador tiene un diámetro de 1,5 m y de largo 9.0 m.

3.2 Prueba de Ensayo

Se tuvo que hacer varios ensayos para superar la granulometría y dosificación adecuada.

Como materia prima se uso pellets (Hierro Perú) finos de coque metalúrgico y caliza, con un periodo de calentamiento de 24 horas se obtuvo el mejor perfil térmico y es el que se presenta en la figura 3.3.

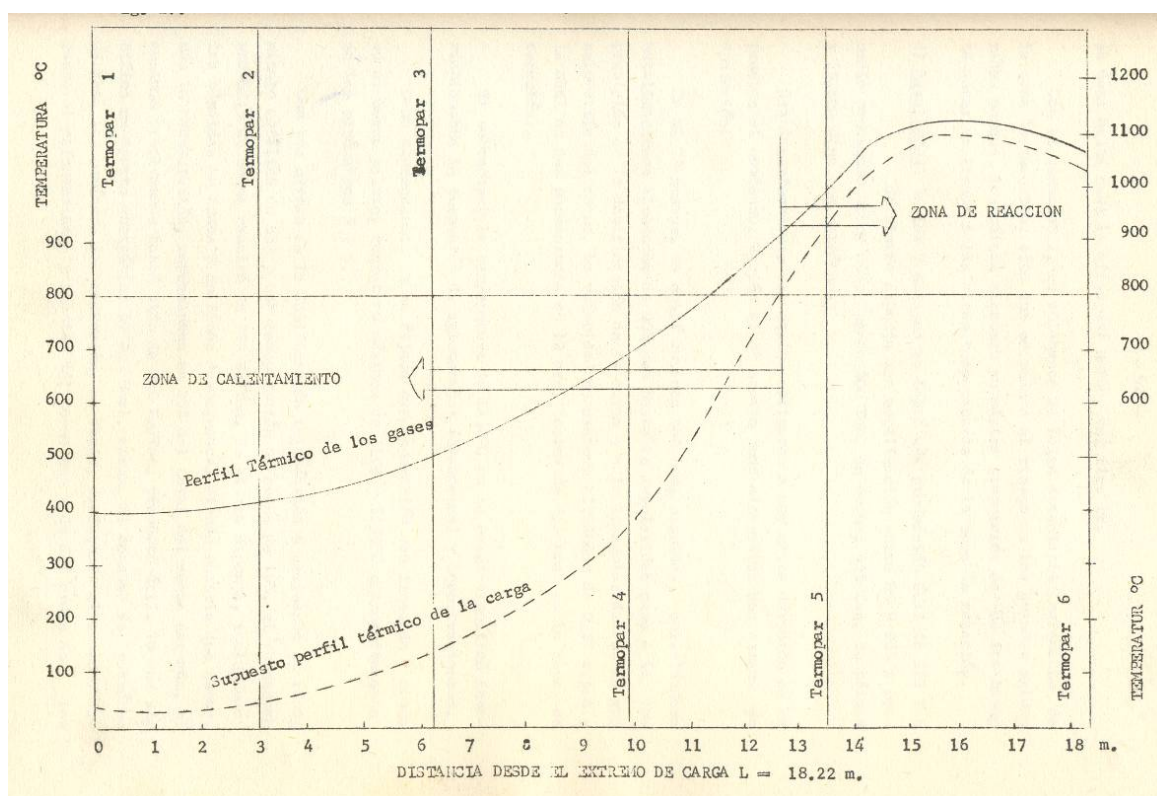


Figura 3.3: Perfil térmico del horno con un solo quemador de petróleo.

3.3 Materia Prima

La materia prima está conformada por finos de coque, mineral de hierro y caliza y las composiciones químicas son las siguientes:

Análisis Químico (Pellets):

Fe	65,00% Min. ;
Al ₂ O ₃	1,20% Aprox.
SiO ₂	4,00% Min. ;
CaO	0,8% Aprox.
MgO	1,20% Aprox.;
S	0,05% Max.
Cu	0,01% Max. ;
P	0,03% Max.
H ₂ O	1,20% Aprox.

Características Físicas

Resistencia a la compresión	200 kg. Min.
Índice de hinchamiento	15,0 % Max.

Granulometría

Entre 10 y 16 mm. (3/8" – 5/8")	95,0% Min.
>16 y 10 mm. (5/8" – 3/8")	5,0% Max.
Promedio 12 mm.	

3.4 Análisis Químico (Coque)

Humedad	4,2% Max
Carbón fijo (base seca)	90,0% Min.
Azufre (base seca)	0,9% Max.
Cenizas (Base seca)	10,0% Max
Materias volátiles	1,0% Aprox.

Características Físicas

Granulometría

Menores a 25 mm. (1")	100,0%
-----------------------	--------

3.5 Caliza

Respecto a la caliza está entre 0-8 mm, los que son provenientes de diferentes canteras de Santa y Casma (Ancash), con la siguiente composición:

CaCO ₃	90%;
MgO	1,2%
SiO ₂	5,0% ;
Al ₂ O ₃	1,1%
S	0,06%

P	0,05%
Fe ₂ O ₃	1,6 %
H ₂ O	1,0 % aprox.

Granulometría:

Entre 0.3 y 8,0 mm. 95% mínimo.

3.6 Prueba en frío

Una prueba con carga en frío permitió observar la compatibilidad de las materias en cuanto a su granulometría al no producirse segregaciones excesivas dentro de la gama de velocidades de 0,2 a 0,45 revoluciones por minuto (rpm).

3.7 Prueba en caliente

Se determinó un periodo de calentamiento de 24 hr. para alcanzar las temperaturas deseadas sin afectar el revestimiento refractario.

El mejor perfil térmico que pudo lograrse con carga se representa en la figura 3.3 esta deja ver una zona de reacción ($T > 800^{\circ}\text{C}$) alrededor de un 30% de la longitud del horno, con temperatura máxima de la carga de 1100°C (entre los 14 y 18m) y la temperatura de gases a la salida también llegó a los 1100°C .

3.8 Ensayo de Producción en la planta piloto

Para mejorar el perfil térmico, se instaló en el cabezal un segundo quemador, lográndose incrementar la zona de reacción, extendiéndose esta desde los 10 metros aproximadamente se obtuvo más de los 900°C , ver figura 3.4.

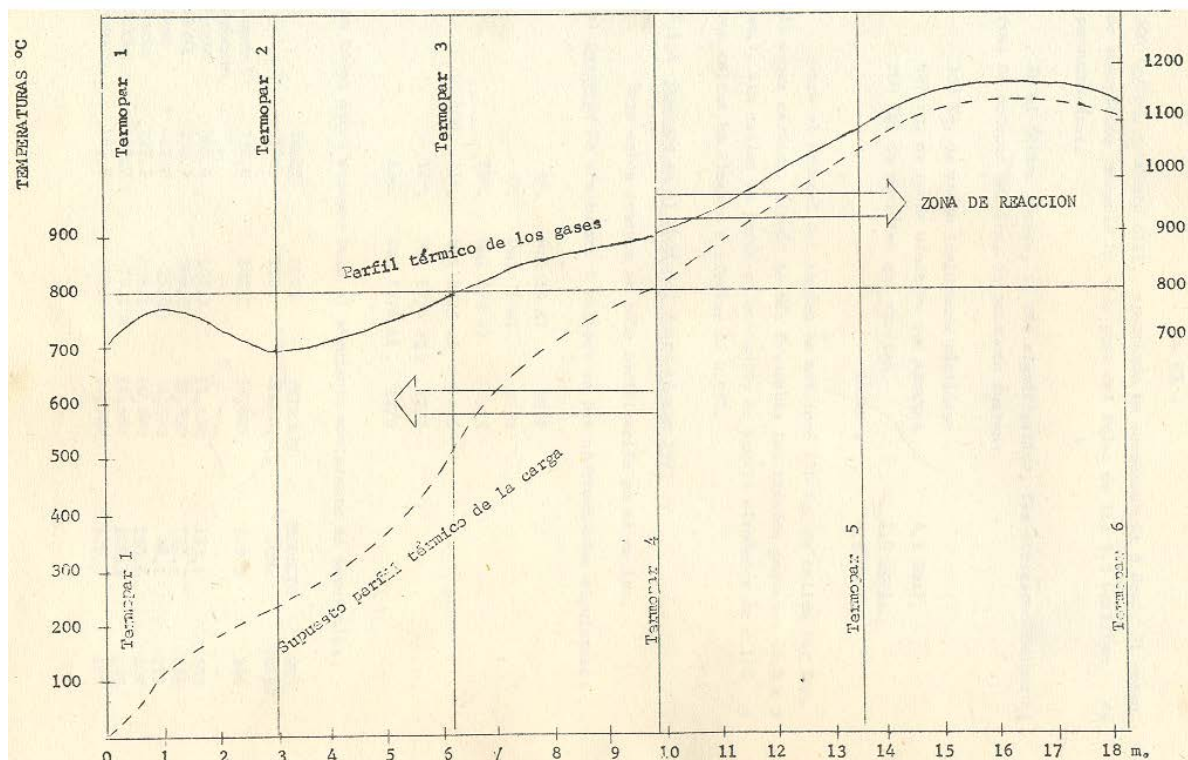


Figura 3.4: Perfil térmico del horno con 2 quemadores de petróleo.

3.9 Pruebas en el Horno Piloto

En los 7 ensayos reportados se logró una producción útil de 985 toneladas de hierro esponja.

Los primeros ensayos sirvieron para ir corrigiendo errores, es así que en el 7mo ensayo se obtuvo metalizaciones alrededor de 90% con bastante regularidad, la velocidad se mantuvo alrededor de 0.20 a 0,37 rpm, la cual da una permanencia de 7 horas dentro del horno y 2 horas en el enfriador.

El sobrepasar la temperatura de 1150°C en la carga se ha producido la formación de aglomerados (champones) y encostramientos.

Los siete ensayos realizados son:

Cuadro N° III -1

N°	Pellet Ton.	Finos de coque Ton.	Petróleo Galones	Hierro esponja Ton.
1	250	102	10825	129
2	246	162	11450	175
3	258	206	11850	192
4	62	25	4800	86
5	227	128	10890	135
6	189	78	11500	148
7	163	119	10980	120
Total	1395	720	72295	985

El movimiento de materiales fue el siguiente:

Pelets	Coque	Petróleo	Hierro esponja	Horas trabajadas
1395 ton	720 ton	72295 Gal.	985	2 602 horas

Análisis del hierro esponja:

Fe libre	81,2%
Fe total	91,8%
S	0,03%
C	0,04%
Gº. Metalización	89,0%

3.10 Balance de Materiales

Se usa la siguiente cantidad promedio de materiales para obtener una tonelada de hierro esponja:

Material	Kgs.
Pelets	1416
Finos de Coque	730
Caliza	76
Petróleo	74 Gal (246Kg.)

3.11 Balance de Energía

El balance de energía nos representa la cantidad de energía que ingresa y la cantidad de energía que sale, en este caso lo vamos a calcular en función a un kilo de Hierro esponja (Kcal/Kg. de Hierro esponja).

Balance de Energía (Kcal/Kg. de Hierro esponja)

Energía ingresa	Kcal	%	Energía (sale)	Kcal	%
Finos de coque	2996,0	75	Red. Óxidos de Fe	1550,5	38,8
Petróleo	1000,0	25	Calcinación del fundente	19,5	0,5
			Q. sensible gas escape	1090,9	27,3
			Q. sensible de los sólidos	363,4	9,1
			Combustible gases escape	96,2	2,4
			Evaporación humedad	159,8	4,0
			Perdida de calor		
			Conducción	505,9	12,7
			Radiación, convección	209,8	5,2
Total	3996,0 Kcal		Total	3996,0 Kcal	

CONCLUSIONES

- El mineral con el material reductor y la caliza permanece dentro del horno reductor en un tiempo promedio de 7 horas y 2 horas en el enfriador regado exteriormente con agua.
- El Hierro esponja sale del horno reductor a 1100°C e ingresa al enfriador y sale del horno enfriador a 110 y 120 °C.
- Se uso el siguiente carbón Carbono fijo 54,9%; H₂O 11,3%; cenizas 7,7%, materia volátil 27% y se obtuvo el siguiente hierro esponja: Fe 84,1% Fe total 90,1%; %S 0,02; P 0,03%; C= 0,02 %; Grado de metalización 93,3%.
- El hierro esponja reemplaza en un 30 a 40% a la chatarra de acero para fundir acero en los Hornos Eléctricos de Arco, mejorando la calidad del acero por que tiene menor cantidad de elementos como el Cu, Zn, Pb, etc.
- El contenido de C en el Hierro esponja fabricado con finos de Coque es bajo es del orden de 0,04%.

- Si bien escoger un proceso depende de varios factores tales como el costo y disponibilidad de materias primas; dicho proceso escogido debe cumplir fundamentalmente con la utilización de nuestros propios recursos naturales; es así que este proceso satisface estos objetivos básicos.

BIBLIOGRAFIA

-A. H. Forero Pinilla (1994), "Reducción directa de minerales de hierro". Tunja. P. 1 Trabajo año Sabático. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Escuela de Metalurgia.

-A. R. Janikow (2000), "Pirometalurgia-Introducción a los Procesos pirometalúrgicos Extractivos", Editorial UNJU, ISBN 950-721-143-8, San Salvador de Jujuy.

-C. Leyva (1997), "Tecnología de la reducción directa". Colombia. U.P.T.C.

-D. Ball y F. Dartnell (1973). "Agglomeration of iron ores". London: Heinemann Educational Books limited.

- F. Jerome and R. Donald (1990), "Direct reduced Iron". Technology and Economics of production and use. The iron and steel Society Warradale, PA. USA.

-Garritz A., Chamizo J.A. (1998), Química. ISBN 968 444 318 B. Addison Wesley Longman de México.

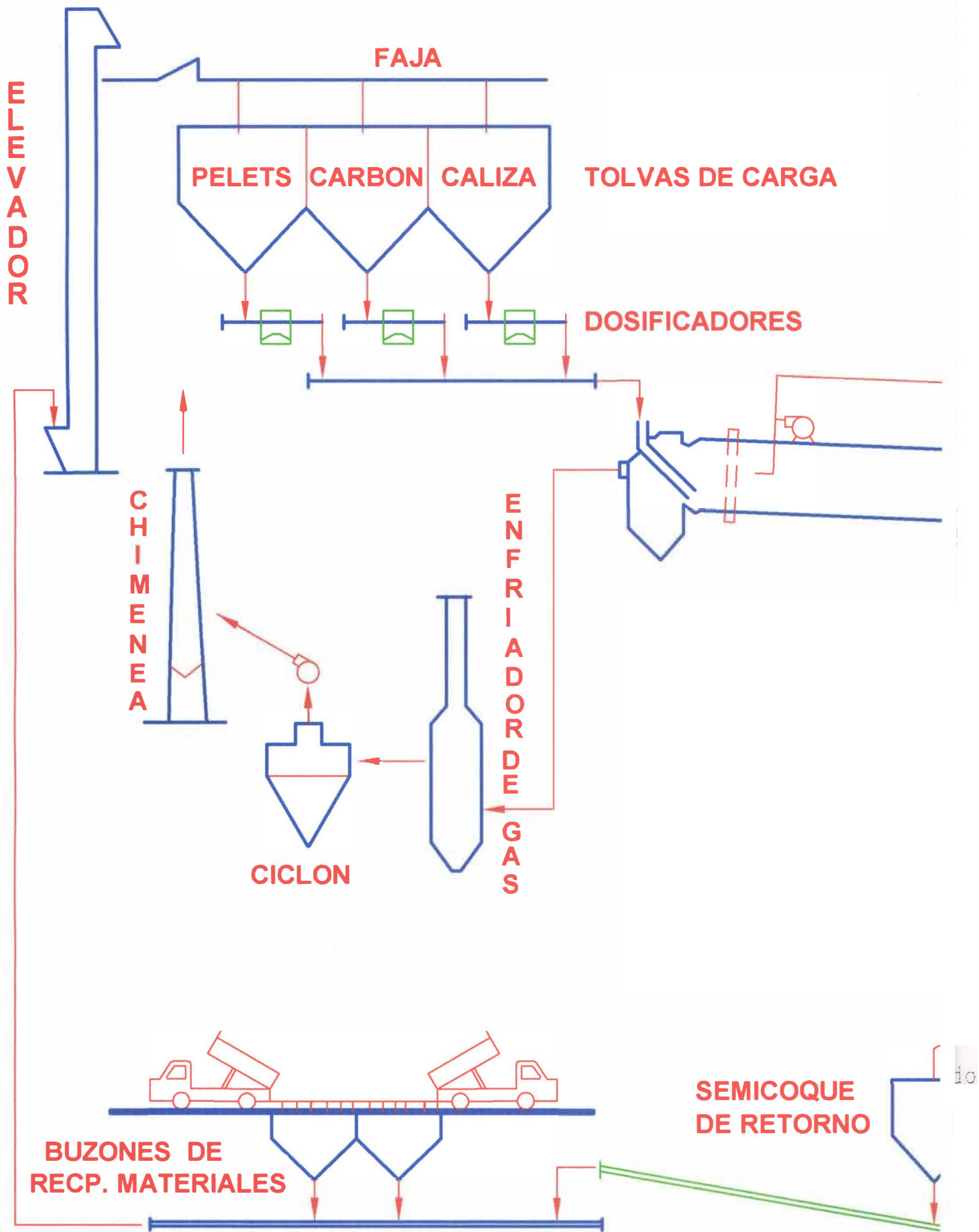
-Grupo de Siderurgia UPTC (2003), Informes proyecto "Diseño y construcción de un horno rotatorio a nivel de planta piloto para la obtención de prerreducidos a partir de minerales de hierro nacionales, en Acerías paz de Río S.A." Colciencias Tunja.

-Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero (ILAFA) (1984), Siderurgia Latinoamericana, Números 285-296.

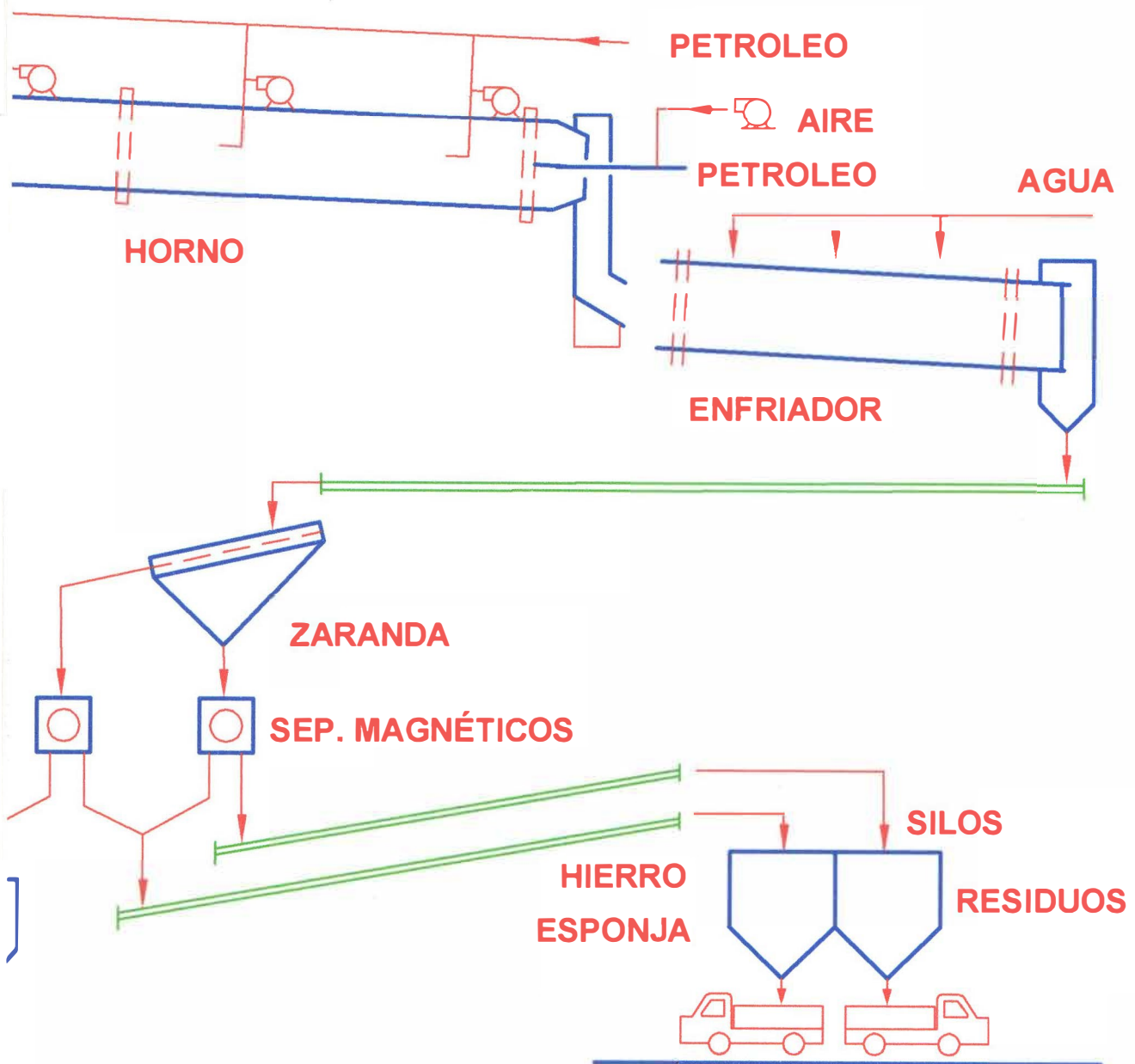
- R. Barbis, y F. Aguirre, "La reducción directa de los minerales de hierro y su aplicación en América Latina

ANEXOS

ANEXO 1



PROCE



SO SL-RN

ANEXO 2



Figura Anexo 2.-Mineral de Hierro (Hematita) y Hierro esponja

ANEXO 3



Figura 1, Anexo 3.- Pellets de mineral de Hierro



Figura 2, Anexo 3.- Mineral Hematita

ANEXO 4

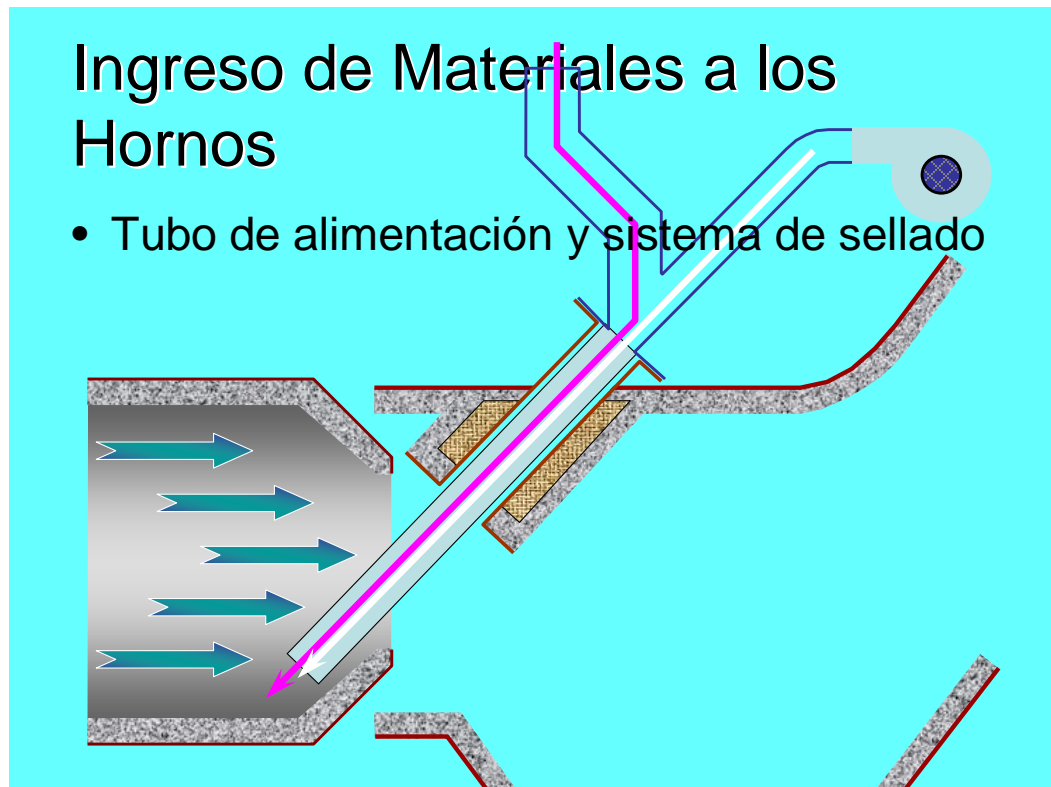


Figura Anexo 4.- Tubo de Ingreso de minerales, carbón y caliza.

ANEXO 5

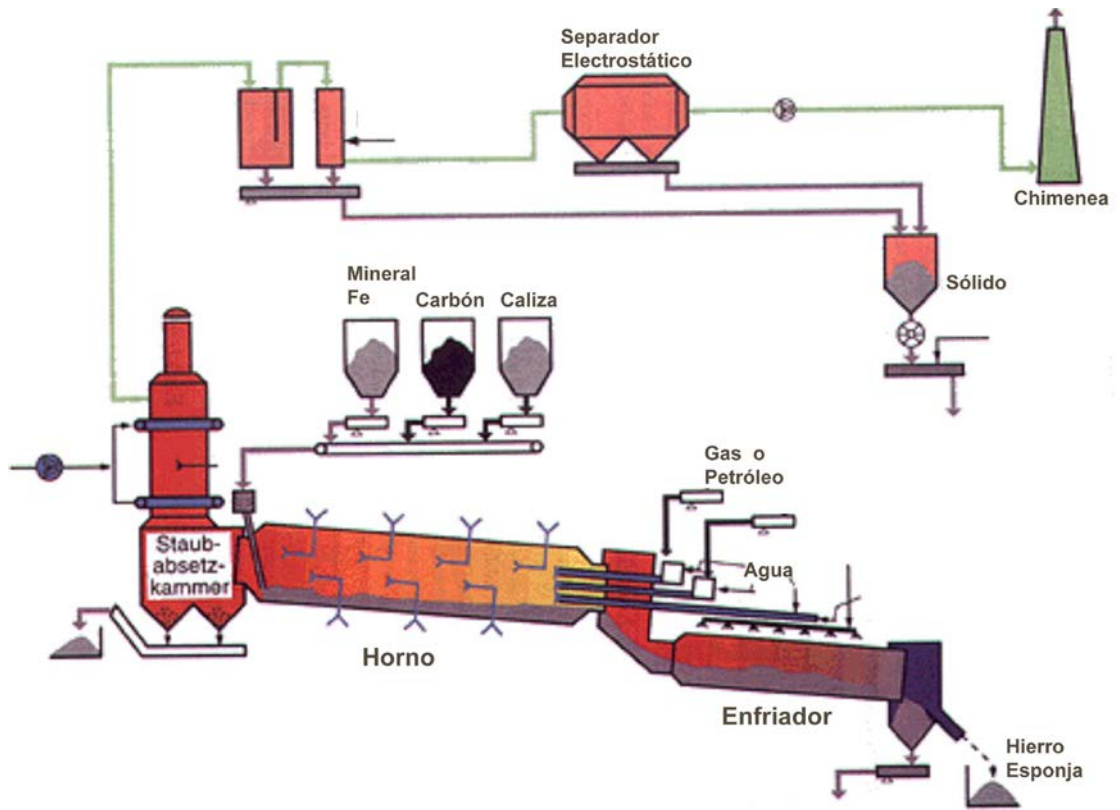
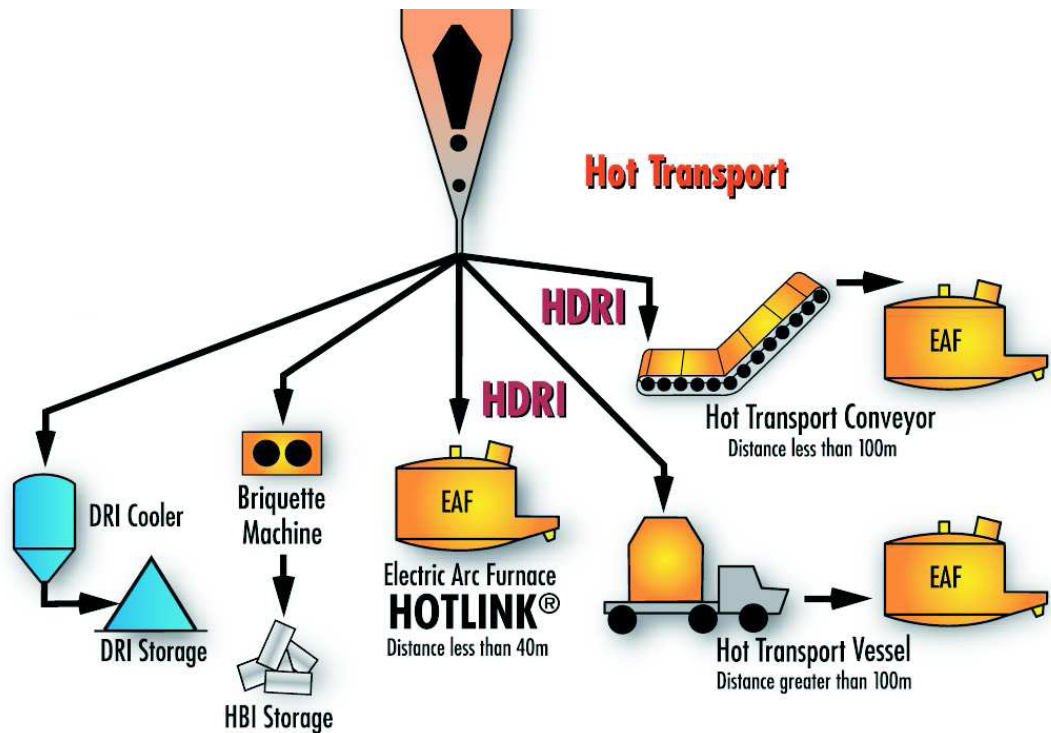


Figura Anexo 5.- Planta SL-RN

ANEXO 6

Proceso de Reducción Directa MIDREX con descarga en caliente



1ro. Esto proporciona la oportunidad de descarga de hierro esponja caliente, directa desde el horno Midrex a un horno EAF.

2do. Beneficios de fusión

- Se reduce la energía eléctrica requerida por el EAF
- Se reduce el consumo de refractarios
- Aumenta la productividad o EAF
- Produce bajo nitrógeno en el acero

3ro. Ahorro

- Ahorro de electricidad 120-140 kWh / t de acero líquido producido por EAF
- De Electroodos de 0.5-0.6 kg / t de acero líquido producido en el EAF.

4to. Flexibilidad

- Al mismo tiempo se puede producir, cualquier combinación de DRI / HBI / HDRI. (Direct reduction Iron.)
- Plantas Midrex puede continuar el funcionamiento cuando la EAF esta fuera de línea.
- EAF puede continuar produciendo usando DRI / HBI cuando la Planta de Midrex se apaga.
- La Automatización del proceso permitirá a los operadores de las instalaciones optimizar la disponibilidad de la planta, la eficiencia y la productividad.

5to. Ahorro de Energía según la Temperatura de descarga

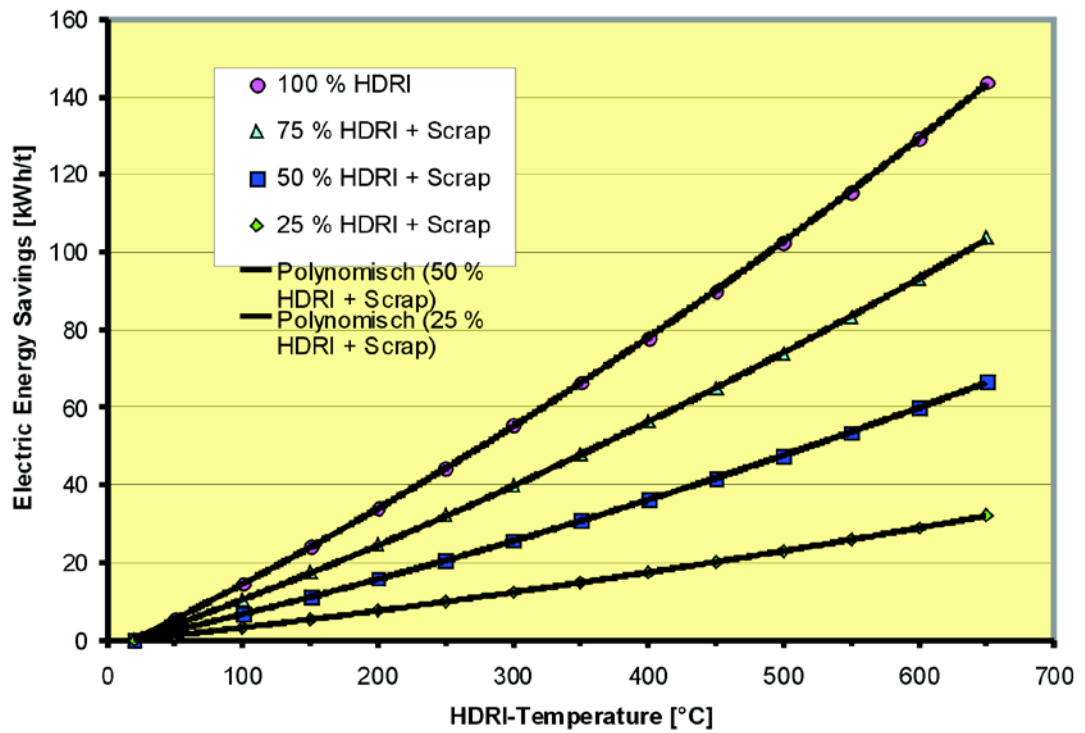


Figura Anexo 6.- Ahorro de Energía y Temperatura del Hierro esponja caliente

ANEXO 7

Análisis Químico de Pellets - MIDREX

Briquetas

Fe Total	92.5 % min.
Fe Metálico	84 % min.
Metalización	91.0 %
C (como Fe ₃ C)	0.8 % min.
P	0.09 % máx.
S	0.027 % máx.
SiO ₂ (Silica)	1.5 % máx.
MgO	0.25 % máx.
CaO	0.03 % máx.
Al ₂ O ₃ (Alúmina)	1.3 % máx.
Ganga (CaO+MgO+SiO ₂ +Al ₂ O ₃)	5.0 %

Residuales

Cu	<=0.002%
Ni	<=0.006%
Cr	<=0.008%
Mo	<=0.002%
Sn	<=0.002%

Residuos Generados por la Producción de Hierro Esponja (MIDREX)

Emisiones a la Atmosfera

Emisiones totales:

Partículas 0.060 Kg/ton

Bióxido de azufre. 0.036 Kg/ton

Oxido de nitrógeno 0.200 Kg/ton

Aguas Residuales

Flujo 17 - 24 l/ton

pH 10.5 - 11

Sólidos totales en suspensión: 1,500 - 2,000 ppm

Cloruros 50 - 150 ppm

Fosfatos 30 - 40 ppm

Sílice 25 - 35 ppm

Residuos Sólidos

Lodos del sistema de lavado de gases: 0.013 M³/ton

Finos de óxidos de las briquetas 3 Kg/ton

Polvos metalizados 27 g/ton

Otros residuos 37 g/ton