

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTONOMA DE MEXICO

FUNDAMENTOS Y CONDICIONES GENERALES PARA  
UNA MINIPLANTA SIDERURGICA

T E S I S

Que Para Obtener el Título de

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

P r e s e n t a

LUIS L. ALBERT BATISTA

México, D.F.

1980

M-17982



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

FUNDAMENTOS Y CONDICIONES GENERALES PARA UNA  
MINIPLANTA SIDERURGICA

LUIS L. ALBERT BATISTA

INGENIERO QUIMICO METALURGICO

1980

JURADO ASIGNADO ORIGINALMENTE SEGUN EL TEMA:

PRESIDENTE                    Prof. Kurt H. Nadler Gundeisheimer

VOCAL                            Prof. Héctor Enrique Curiel Reyna

SECRETARIO                    Prof. Alfonso Humberto Castillejos Escobar

1er. SUPLENTE                Prof. Francisco Herrera Castañeda

2do. SUPLENTE                Prof. Marco Antonio Chamorro Díaz

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

Facultad de Química, UNAM y República Dominicana

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL SUSTENTANTE:

Luis Lorenzo Albert Batista

NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL ASESOR DEL TEMA:

Alfonso Humberto Castillejos Escobar

Cariñosamente a mi madre

Rosa Batista Vda. Albert

Quien, con su amor y fortaleza, ha sido  
un ejemplo para todos sus hijos.

Con afecto a todos los que cooperaron  
para que se realizara este trabajo.

## I N D I C E

INTRODUCCION	PAGINA
I. PANORAMA GENERAL Y VENTAJAS DE LAS MINIPLANTAS SIDERURGICAS	1
I.1. Concepto de Mini-planta	
I.2. Actualidad de las Minisiderúrgicas en América Latina.	
I.3. Tipos de Mini-plantas	
II. CONSIDERACIONES ECONOMICAS QUE DETERMINAN LA NECESIDAD DE UNA MINI-PLANTA SIDERUR-- GICA EN REPUBLICA DOMINICANA	10
II.1. Autoabastecimiento.	
III. CONDICIONES DE OFERTA Y DEMANDA EN EL --- MERCADO INTERNO Y EXTERNO EN REPUBLICA -- DOMINICANA	21
IV. LOCALIZACION DE LA PLANTA	24
V. COMBUSTIBLES UTILIZADOS EN EL PROCESO --- SL/RN Y POSIBILIDADES DE ENCONTRARSE EN - REPUBLICA DOMINICANA	26
REFERENCIAS	29

VI.	CARACTERISTICAS GENERALES DEL MINERAL A - PROCESAR	31
VI. 1.	Composición General.	
VI. 2.	Análisis General Promedio.	
VII.	PREPARACION Y BENEFICIO DE MINERALES ---- (Comentario)	35
VII. 1.	Planta de Peletización (Comentario).	
VII. 2.	Costos.	
VIII.	FUNDAMENTOS DE LOS PROCESOS DE REDUCCION DIRECTA	41
IX.	FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE REDUCCION --- DIRECTA SL/RN	48
IX. 1.	Comentarios a los Problemas Iniciales del Proceso.	
X.	ANALISIS GENERAL DE UNA PLANTA SL/RN --- MODERNA Y VENTAJAS QUE PRESENTA EL PROCESO	59
XI.	DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES Y NECESIDADES DEL PROCESO SL/RN	60
XI. 1.	Mineral de Hierro.	
XI. 2.	Condiciones del Carbón.	
XI. 3.	Aspecto Financiero.	
XI. 4.	Descripción del Proceso.	
XI. 5.	Descripción de la Planta.	

XI. 6. Manejo de Materias Primas.	
XI. 7. Sistema de Alimentación al Horno.	
XI. 8. Horno y Enfriador.	
XI. 9. Sistema de Separación del Producto.	
XI.10. Tratamiento de Gas Residual y de - Materiales de Desperdicio.	
XI.11. Disponibilidad de Personal.	
XI.12. Costos.	
XI.13. Producto.	
XII. FABRICACION DE ACERO EN HORNOS ELECTRICOS DE ARCO CON HIERRO ESPONJA SL/RN	92
XII. 1. Efectos del Hierro Esponja Sobre - la Operación del Horno Eléctrico.	
XIII. OBTENCION DE FUNDICIONES A PARTIR DEL --- HIERRO ESPONJA	110
XIV. CONCLUSIONES	116
REFERENCIAS	118



## I N T R O D U C C I O N

Con la presentación de este trabajo se pretende enfoc ar los conceptos generales que determinan la necesidad de producción de hierro y acero en pequeña escala. Esto puede lograrse mediante la instalación de miniplantas siderúrgicas en lugares donde se puedan contar con materias primas y demanda de productos siderúrgicos. Para que dicho trabajo tenga mayor validez en su aplicación posterior y por la sugerencia tan especial del Ing. Pedro Vásquez, Subdirector de Minería de la República Dominicana, nos dispusimos a recopilar todos los datos necesarios para concretizar la idea anterior.

Los fundamentos y condiciones generales para una miniplanta siderúrgica son numerosos, aquí sólo haré un pequeño resumen de ellos haciendo uso de las condiciones básicas de la República Dominicana y ajustando éstas a los equipos que podrían ofrecernos un mejor resultado tanto económica -- como operativamente dependiendo de los recursos naturales -- que ofrece nuestro medio para la industria siderúrgica.

Como es de esperarse, para iniciar un trabajo de esta índole, tenemos que estar seguros de que el lugar donde se piensa instalar una miniplanta siderúrgica reúna dos requisitos principales: contar con los recursos naturales básicos para la producción de hierro y acero como son minerales

de hierro, combustibles siderúrgicos, etcétera, y la justificación real de dicha producción, misma que se verifica mediante las demandas de productos de hierro y acero, así como por el volumen que se importa de dichos productos.

El principal mineral de hierro que existe en la República Dominicana es la arena ferrotitanífera, sin dejar de reconocer que también son importantes los minerales de hierro que existen en Hatillo y que pueden ser aprovechados al igual que las arenas ferrotitaníferas que se encuentran en Monte Cristi para la producción de hierro y su posterior refinación de acero. Ahora tenemos que encontrar los equipos necesarios y económicamente rentables para el procesamiento de estos minerales.

Anteriormente se tenía la idea de que mientras mayor era una planta siderúrgica más económicamente rentable era ésta, pero a medida que se fueron haciendo investigaciones de equipos pequeños y de buena rentabilidad para la producción de hierro y acero se llegó a la conclusión de que es económicamente posible la instalación de pequeñas plantas siderúrgicas; por tanto aprovechando que en la República Dominicana existen las materias primas y la necesidad de una producción justificada dado que en los dos últimos años (1977-1978) sólo se han fabricado cerca de 70,000 T.M. de productos de hierro y acero mientras que en el mismo pe-

riodo se han importado alrededor de 130,000 T.M.; entonces, conociendo que necesitamos producir hierro y acero y que -- contamos con algunas de las materias primas, lo que nos falta por determinar es la rentabilidad de dicha planta y el tipo de equipo recomendable para el mineral que se piensa procesar.

Uno de los métodos más recomendables y que presentará más adelante es el SL/RN, del cual se hará un estudio -- profundo de las ventajas y desventajas que tiene para la -- producción de hierro esponja de buena metalización requerida para su posterior utilización en el Horno Eléctrico, el cual considero ideal para la obtención de una gran variedad de productos siderúrgicos de alta demanda en República Dominicana.

Por otro lado, considero importante la instalación de una miniplanta siderúrgica en República Dominicana ya -- que a medida que transcurra el tiempo, ésta tendrá que cubrir una mayor demanda debido a que cada año la importación será mayor, alcanzando un nivel muy superior al actual; en base a los requerimientos de hierro y acero del país se estima que para 1986 las importaciones alcanzarán un volumen de 200,000 T.M. por año.

PANORAMA GENERAL Y VENTAJAS DE LAS  
MINIPLANTAS SIDERURGICAS

Concepto de Mini-planta.

En la actualidad existen varias formas para definir una miniplanta siderúrgica, pero haciendo una recopilación de las versiones más afines, la más correcta sería la siguiente: "aquéllas pequeñas plantas que obtienen una producción anual entre 100 y 250,000 T.M. anuales de productos siderúrgicos terminados y/o semi-terminados, dentro de sus productos se incluirán barras, perfiles y alambrón de aceros no aleados".

Actualidad de las minisiderúrgicas en América Latina.

Debido a las ventajas que nos presenta la producción del hierro esponja mediante los procesos de reducción directa y, por otro lado, los bajos costos que tienen los productos siderúrgicos obtenidos mediante las miniplantas, en América Latina este tipo de plantas ha tenido y seguirá teniendo una fuerte demanda ya que colabora directamente con la economía y el desarrollo tecnológico de nuestros países. Es un fenómeno conocido y analizado por los expertos en desarrollo industrial el hecho de que los países por lo general comiencen sus actividades siderúrgicas con la producción de barras para hormigón, para proseguir con la producción -

de perfiles livianos. El propio desarrollo de la industria en esta etapa se refleja en el nacimiento de una industria manufacturera y metal-mecánica, la cual probablemente iniciaría sus trabajos con la trefilación de alambres comunes (para el mercado agrícola y ganadero, que es una de las principales fuentes de producción en América Latina). Se inicia después una segunda época de creciente desarrollo de la industria metalúrgica de artefactos electrodomésticos.

La aparición de las miniplantas, veinte años atrás, no provocó en el campo siderúrgico latinoamericano la misma sorpresa que en los países altamente desarrollados, al contrario, sirvió para asegurar algunos esquemas y convicciones que en parte ya estaban siendo aplicados. La siderurgia actual no necesariamente debe basarse sólo en las miniplantas, sino que, bajo ciertas condiciones, éstas completarán y sustituirán a los grandes complejos siderúrgicos integrados. Con un costo de inversión mucho más bajo al de las plantas clásicas, se puede argumentar que la creación de miniplantas ayuda grandemente a regiones en que faltan recursos financieros para llevar a cabo las variadas y en muchas ocasiones angustiosas y urgentes obras de creación de una infraestructura para el desarrollo de carreteras, centrales eléctricas, explotación racional de riquezas naturales e industrialización en general.

Debido a problemas de financiamiento masivo, los --

cuales ascienden a varios cientos de millones de dólares, y a su baja rentabilidad, las grandes plantas integradas han tenido que ser estatales o al menos han requerido un fuerte apoyo gubernamental para su creación. Las miniplantas, sin embargo, han podido ser creadas por grupos privados que por lo general han tenido un cierto grado de apoyo estatal.

#### Tipos de Mini-plantas.

Dentro de las miniplantas podemos encontrar plantas integradas y semi-integradas, pero por lo regular su producción anual no rebasa las 300,000 T.M. al año de productos siderúrgicos.

Una miniplanta integrada consta de: patio para el manejo y almacenamiento de materias primas, mina de carbón o planta de coquización, pelletizadora, horno de reducción directa, acería eléctrica, maquinarias de colada continua de acero y molinos de laminación.

Una miniplanta semi-integrada comprende: patio de almacenamiento de chatarra y/o hierro esponja para el manejo de todas las materias primas, acería eléctrica, colada continua y tren de laminación.

La situación y el concepto de miniplanta en ocasiones se encuentra en función del desarrollo siderúrgico de -

un país; por ejemplo el concepto de miniplanta en Francia - comprende siderúrgicas cuya producción máxima es de 300,000 T.M. anuales y que constan solamente de acería eléctrica y colada continua; a continuación haremos una comparación del costo de producción de los 3 tipos de plantas que se manejan en Francia actualmente.

Considerando los costos de instalación, puede estimarse que los costos de inversión en dólares por tonelada - de capacidad anual instalada ascienden aproximadamente a -- los siguientes órdenes de magnitud:

Planta integrada	US \$ 440/T
Planta semi-integrada	US \$ 500/T
Miniplanta	US \$ 250/T

Se puede observar que las plantas integradas y semi integradas presentan en la fase del producto semiterminado unos costos de inversión semejantes, mientras que los de las miniplantas son dos veces más económicos. De la misma manera, si se establece un balance sobre los costos de producción en estos 3 tipos de plantas, se tendría que:

Planta integrada	US \$ 53/T
Planta semi-integrada	US \$ 60/T
Mini-planta	US \$ 30/T

Sabemos bien que estos costos van íntimamente relacionados con el tipo de planta y estos pueden variar no solamente en sus valores absolutos, sino también en su estructura, particularmente en la importancia relativa de los siguientes factores principales:

1. Las materias primas no energéticas, es decir --- principal suministro de materiales ferríferos -- (mineral en sus diferentes formas o chatarra).
2. Energéticos, según el tipo de planta, en forma - de carbón o de coque, hidrocarburos o electricidad.
3. Mano de obra, tanto de producción como de mantenimiento. Servicios generales y de administración.

A continuación describiré dos cuadros que nos dan - una idea de los costos de producción de bienes siderúrgicos en relación a los tres tipos de plantas antes mencionados, y una figura donde se muestra el nivel de comparación productiva.



	Planta integrada		Planta semiintegrada		miniplanta	
	%	US \$/t	%	US \$/t	%	US \$/t
Materias primas	40	60	38	63	70	119
Energía	34	51	42	69	14	24
Mano de obra	13	19.5	10	16.5	8	13.5
Varios (materiales, servicios)	13	19.5	10	16.5	8	13.5
Total	100	150	100	165	100	170

CUADRO I  
Costos de producción

	Planta integrada		Planta semiintegrada		miniplanta	
	%	US \$/t	%	US \$/t	%	US \$/t
Gastos Fijos	41	83	38	86	25	50
Gastos proporcionales	59	120	62	140	75	150
Total	100	203	100	225	100	200

CUADRO II  
Costos totales de producción

En la actualidad las posibilidades para producir -- acero han aumentado considerablemente debido a la gama tan variada y económica de los procesos de reducción directa, -- así como al horno eléctrico, siendo ambos los avances tecnológicos importantes que han hecho posible la instalación de miniplantas siderúrgicas. Las modernas tecnologías han facilitado las ventajas económicas a niveles tan positivos de producción que han hecho posible que los precios de estos -- productos sean menores a los producidos por tecnologías tradicionales. Tal es el caso de las miniplantas, preferentemente integradas apropiadas para los países en desarrollo -- que necesitan y pueden producir sus principales productos siderúrgicos de consumo inmediato, aunque para enfrentarse -- a esta tarea algunos países como la República Dominicana y otros tendrían que vencer fuertes obstáculos como por ejemplo la inflación, los limitados recursos financieros y las irregularidades de los mercados de consumo.

Algunos de los factores que influyeron para que los países se iniciaran con la fabricación de su propio acero -- por medio de miniplantas fueron: el obtener cierta independencia tecnológica y económica ya que tales factores poseen connotaciones de tipo político y estratégico.

El auge que actualmente tienen y seguirán teniendo las miniplantas siderúrgicas, nos hacen pensar que desplaza-

rán, casi en su totalidad, a los grandes complejos siderúrgicos debido principalmente a las innovaciones tecnológicas cada día más aceptadas por los países en desarrollo.

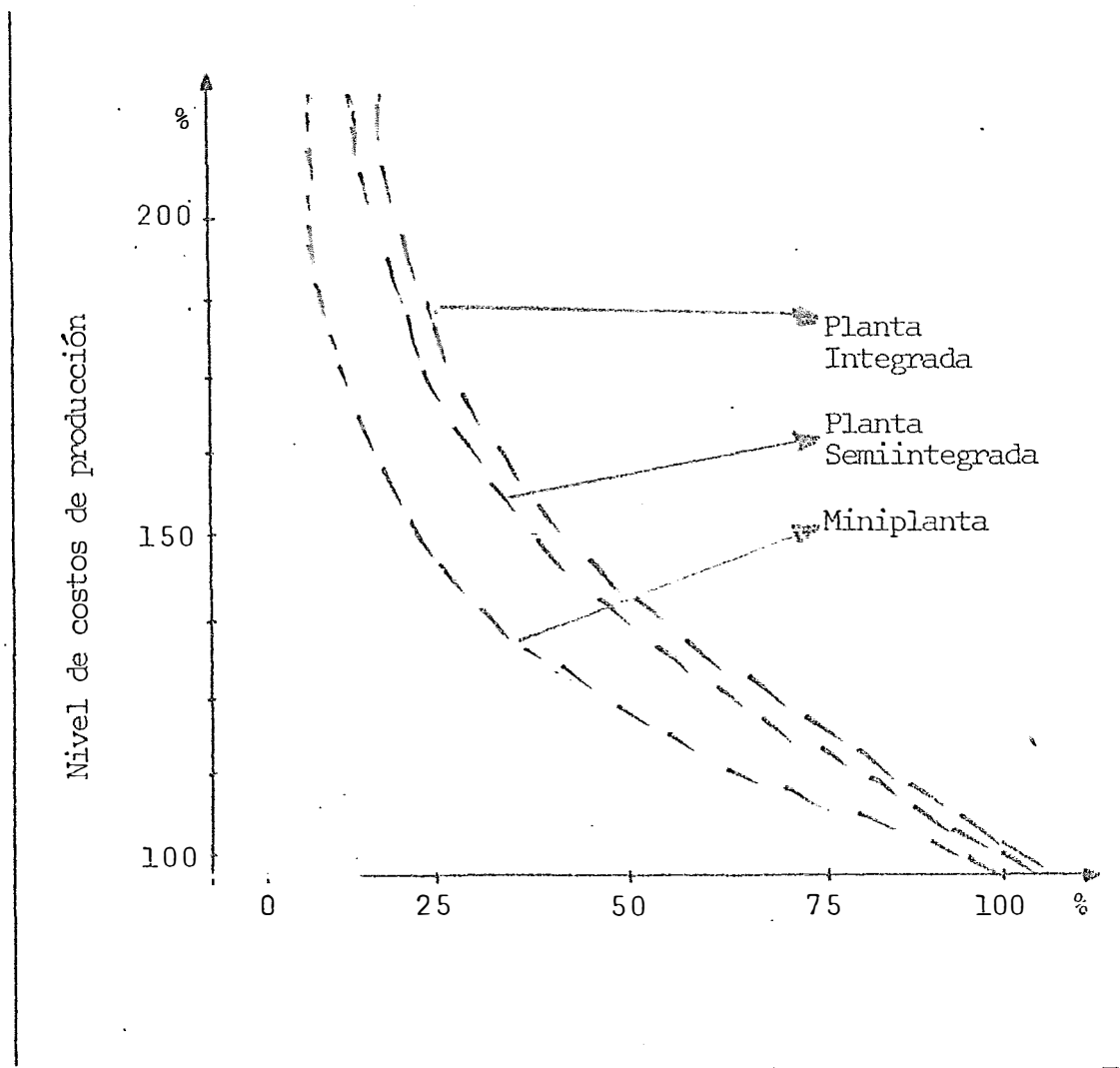


FIGURA 1  
Nivel de producción comparativo

CONSIDERACIONES ECONOMICAS QUE DETERMINAN LA NECESIDAD DE  
UNA MINI-PLANTA SIDERURGICA EN REPUBLICA DOMINICANA

Como la industria siderúrgica debe llegar a ser uno de los complementos poderosos del crecimiento económico de un país como República Dominicana, la cual está en vías de desarrollo, se requiere una industria siderúrgica que transforme adecuadamente la estructura económica, particularmente agraria y minera de este país, en otra más afin a los requerimientos de desarrollo moderno propios del siglo XX. Se puede afirmar que esta transformación debe ser adecuada por dos razones principales: por un lado, los productos de acero son verdaderamente necesarios por casi la totalidad de los sectores económicamente productivos; y segundo, los efectos directos e indirectos que produce la construcción y operación de plantas siderúrgicas coinciden con el desarrollo de prácticamente todos los restantes sectores productivos de la economía, por eso, si el proceso de transformación económica no es adecuado, se producirán cuellos de botella en algunos sectores y excesos de capacidad en otros, todo lo cual repercutirá en la tasa de crecimiento y en un posible aumento de los costos sociales de producción. Si nos preguntamos la forma en que la industria siderúrgica puede ayudar a la transformación de la estructura de producción convencional de un país como República Dominicana, se tendría que considerar la fabricación de productos laminados con características adecuadas de volumen, estructura, -

precios, flujo de producción, abastecimiento regular y otros. También la industria siderúrgica puede cooperar a transformar la estructura productiva del resto de la economía abasteciendo de manera regular al resto de los sectores económicos de productos siderúrgicos en cantidades adecuadas y con calidades y precios convenientes para fomentar el desarrollo de estos sectores adicionales. La siderurgia tiene que planificar, por tanto, su producción de acuerdo a los requerimientos de acero que el desarrollo del resto de la economía vaya necesitando (industria de la construcción, industria agrícola), y además debe adecuar la estructura y el volumen de producción de laminados y los precios de los mismos para incentivar y desahogar el despegue económico general. Esto en ocasiones se traducirá en un retraso en la obtención de utilidades en la industria siderúrgica en pos de un mayor desarrollo de la economía en general.

La otra ruta por la cual la siderurgia puede ayudar a la transformación económica es por medio de los insumos de su operación. Los insumos de la operación de una industria siderúrgica son múltiples, y ésta debe tender a adquirirlos internamente fomentando con esta acción la realización de las capacidades empresariales y laborales constantes en nuestro país. Solo la producción de algunos insumos debe ser fomentada y ellos deben ser los que pueden producir en forma eficiente en el mediano y largo plazo y al mis-

mo tiempo deben aquellos cumplir con los objetivos prioritarios de desarrollo fijados por las autoridades competentes de un país en desarrollo.

Haciendo una relación de lo anterior se puede considerar que la industria siderúrgica en nuestro país debe transformarse particularmente en la principal herramienta del desarrollo industrial. En su primera etapa la industria siderúrgica estará encaminada a lograr la sustitución de importaciones de bienes de consumo primarios, y el desarrollo de esta etapa exigirá que se cumplan varios requisitos tecnológicos, de capital, de mano de obra calificada y semicalificada, y otros tipos de recursos. Pero también, y en forma permanente y necesaria, se le exigirá el abastecimiento de acero en cantidad, calidad y precio compatible con el desarrollo industrial que se desea fomentar. Posteriormente la industria siderúrgica tiene que adaptarse a las nuevas orientaciones que el desarrollo industrial vaya requiriendo de nuevos productos de sustitución tanto del tipo de bienes de consumo como de capital. Los volúmenes de producción deberán ser económicamente factibles como para ser sujetos a fabricación interna; la producción debe lograrse con costos socialmente aceptables.

Sabemos que lo anteriormente mencionado lleva consigo el concepto económico de eficiencia, es decir, que a me-

diano y largo plazo los costos del hierro y acero deben ser relativamente similares a los de países desarrollados y de forma tal que se puedan obtener buenos resultados en lo que nos proponemos y además que las escalas de producción deben ser las mejores para evitar al máximo la competencia.

Por otro lado, la industria siderúrgica debe constituirse en un agente tonificante de la situación de la balanza de pagos.

Esto no solamente debe ser medido como el volumen de divisas que determinado tonelaje de acero producido internamente ahorra en importaciones (esto es después de que se han deducido los costos de los insumos importados necesarios para que se produzcan), sino que además agregando a este -- saldo las divisas netas aportadas a la balanza de pagos por el efecto indirecto que la siderurgia acarreará. Entendiendo que fomentará la sustitución de importaciones de bienes -- de consumo y eventualmente de capital cuyo insumo principal es el hierro y acero.

Existen muchas razones por las cuales la industria siderúrgica debe ir desarrollándose cada día más en nuestro país y para lograr dicho propósito tenemos que estar conscientes de que los países tradicionalmente exportadores de productos siderúrgicos no están creciendo a un ritmo adecua-



do, pudiéndose decir en muchas ocasiones que se encuentran sufriendo un proceso de estancamiento. La industria siderúrgica debe, desde luego, realizar tres acciones principales:

En primer lugar, sustitución de productos siderúrgicos; para lograr esto se tiene que fomentar el desarrollo industrial a manera de sustituir las importaciones de bienes de consumo y de capital.

En segundo lugar, exportar productos siderúrgicos; la siderurgia para ser competitiva y para cooperar a que los proyectos industriales logren también ser competitivos, requiere obviamente ser eficiente, esto a su vez necesita de gente preparada.

El tercer objetivo que tiene que lograr la siderurgia en nuestro país y que además puede obtenerse en forma acelerada es la difusión de los avances tecnológicos al resto de los sectores económicos para al final dinamizar la modernización de la economía en su totalidad.

Se puede asegurar que la industria siderúrgica posee la capacidad necesaria para movilizar este proceso más que otras industrias ya que el acero es prácticamente la fuente de usos universales. Esto se puede obtener de manera pasiva o bien activa.

De manera pasiva, ayuda a la modernización de la economía transmitiendo a los precios de sus productos los adelantos tecnológicos y de productividad de su operación. Al bajar los costos y los precios de los productos siderúrgicos, como consecuencia de los adelantos tecnológicos, se fomenta el uso del acero en todos los sectores de la economía y de la mecanización de las labores de producción en los sectores más atrasados. De manera activa se puede obtener la modernización de la agricultura, que es factor económico fundamental en República Dominicana, que se mantiene de la producción agrícola; además coopera con la modernización de la construcción de viviendas y obras públicas, de la minería, y en general, de todas las actividades económicas en forma regularmente aceptable.

Considero también que el proceso siderúrgico se puede realizar mediante la importación de tecnologías de producción adelantadas, y también como consecuencia de un esfuerzo interno de desarrollo tecnológico de tipo siderúrgico, así como para crear nuevas tecnologías de producción como para adaptar las tecnologías importadas a las necesidades del país.

Como sabemos, el desarrollo de una economía requiere de una infinidad de cambios, acentuándose entre ellos la superación del analfabetismo, el mejoramiento y extensión del sistema educacional, el logro de mejores niveles de ca-

pacidad tecnológica, así como la redistribución del ingreso, aunque aquí solamente señalaremos los aspectos directamente relacionados con la siderurgia, siendo éste uno de los caminos que ayuda a la modernización de la economía de un país en desarrollo.

Para que se puedan satisfacer las necesidades siderúrgicas de un país como República Dominicana y además tener un abastecimiento regular, eficaz y a precios estables y amoldados de productos siderúrgicos se tiene que tomar en cuenta la siguiente consideración.

#### Autoabastecimiento.

Con esto nos referiremos a que el país cuente con una industria siderúrgica capaz de abastecer el mercado interno de los productos siderúrgicos laminados de mayor demanda en cantidad y variedad como lo exija el desarrollo económico. Para lograr esto debemos pensar que el país cuente con una miniplanta siderúrgica integrada, de tal manera que pueda fabricar productos planos y no planos, o que tenga una miniplanta semi-integrada que fabrique los mismos productos.

Si se piensa en la instalación de una miniplanta integrada, tenemos que contar con un mercado amplio de produc

tos planos y no planos, ya que se debe aprovechar al máximo las capacidades de producción de sus equipos debido a que estas plantas están diseñadas para satisfacer dichas características de mercado.

Por otro lado, los requerimientos de capital para la instalación de este tipo de plantas siderúrgicas son sustanciales y en su gran mayoría en divisas extranjeras, cosa que en República Dominicana necesitaría de un estudio profundo al respecto para no acarrear problemas en su economía.

Para la operación de una miniplanta integrada se requiere gran dotación de infraestructura básica así como de energéticos y de una amplia variedad de insumos difíciles de encontrar dentro del país. Es por esto que se necesita realizar un balance que nos determine la posibilidad de instalar una miniplanta siderúrgica sin que se cuente con todas las materias primas para su operación ya que no necesariamente un país tiene que tener todos los recursos naturales para que sea factible la instalación de una planta de este tipo. Lo que va a definir la necesidad de producción de materiales de hierro y acero son las demandas internas del mercado; ahora bien, tenemos a nuestro favor el contar con gran parte de la materia prima en el país y lo único que falta por determinar es la demanda de productos siderúrgicos y el costo de producción de dichos productos en República Dominicana.

Es verdad que una industria siderúrgica integrada - operando en un país económicamente atrasado y con mercados pequeños para productos de hierro y/o acero no podría transformar igualmente la economía en forma adecuada, ya que para iniciar la misma industria siderúrgica tendría capacidades ociosas en sus diversas etapas de producción, lo que ya es una desigualdad y esto mismo haría que los costos de producción fueran más altos y por ende los precios también aumentarían, con lo cual no se podría fomentar el desarrollo de los sectores restantes sobre bases sólidas puesto que -- las ineficiencias de la industria siderúrgica se estarían - transmitiendo permanentemente a través de los precios de sus productos, aunque no necesariamente por medio de los volúmenes, estructuras y capacidad de los mismos. De otra manera, el desarrollo de la industria metal-mecánica no sería aceptable si fuese inferior al de los demás sectores económicos, creando en ella un cuello de botella muy difícil de salvar para lograr estructuras modernas de producción global y dar expresión material a una redistribución de ingresos. Aclarando un poco esto último, una industria metal-mecánica operando con costos altos sólo puede ser mantenida - vendiendo sus productos a precios elevados, y los que pueden solventarlos son los sectores de población de ingresos relativamente elevados, a los cuales habría que darles permanencia en el tiempo para que así sostenga, durante el período en que se llegue a la saturación en el consumo de este

tipo de bienes, a las industrias metalúrgicas en operación e indirectamente a la siderurgia, cosa que no es muy beneficiosa desde el punto de vista económico.

La industria siderúrgica integrada en Dominicana podría abastecer de productos de acero en forma regular al sector industrial y también abastecerlo en volúmenes y calidades aceptables, pero no sería así de favorable la situación en cuanto a los precios a que serían ofrecidos por las razones ya detalladas.

En otras palabras, la ineficiencia derivada de no poder utilizar las capacidades de producción siderúrgicas en grados aceptables, ahogarían el desarrollo industrial masivo que se desea obtener. El desarrollo industrial que se fomentaría sería leve, estancándose a niveles de producción bajos, compatibles con la desigual distribución del ingreso existente.

Por último, tenemos que la industria siderúrgica debe dinamizar la modernización de la economía, para esto tendría que difundir sus avances tecnológicos, tanto en forma pasiva por medio de bajas en los precios de ventas de sus productos, como a través de una participación activa mediante la creación de nuevas tecnologías de producción siderúrgicas y adaptación de tecnologías importadas para fi-

nalmente transmitir las, también por medio de reducciones en los precios de oferta de los productos siderúrgicos fabricados en el país.

CONDICIONES DE OFERTA Y DEMANDA EN EL MERCADO  
INTERNO Y EXTERNO EN REPUBLICA DOMINICANA

Dado que es posible considerar que la industria siderúrgica en República Dominicana se encuentra en una etapa de crecimiento -al igual que en todos los países latinoamericanos-, es conveniente empezar por hacer un análisis de su producción actual y futura, comentando los principales productos siderúrgicos que produce el país y también establecer un análisis de la importación de hierro y acero del país indicando en general los principales productos siderúrgicos que se importan en la actualidad.

En la República Dominicana existen algunas importantes fundiciones de hierro y acero, la de mayor producción en la actualidad es el Complejo Metalúrgico Dominicano (METALDOM), pero como se necesita tener una idea general de la producción nacional utilizaré los datos que obtuve en la Oficina Nacional de Estadística (ONE) y en la Dirección General de Minería de República Dominicana para cuantificar la oferta y demanda de los productos siderúrgicos.

Los principales productos siderúrgicos que produce el país son varillas y tubos, la producción en los últimos 4 años es de cerca de 50,000 T.M. por año, cifra que tiende a aumentar en 2 T.M. anualmente. En base a esta informa---



ción se puede estimar que para el año de 1986 la producción de este material será de alrededor de 65,000 T.M. En cuanto a la producción nacional de tubos de acero, se puede decir que es algo oscilante ya que desde 1971 se han tenido altas y bajas en dicha producción, la producción más elevada se obtuvo en 1978 y fué de cerca de 900,000 pies de tubo de acero de diferentes diámetros. Resumiendo se puede decir en general que la producción de hierro y acero en el país anda por las 75,000 T.M. por año.

A continuación se hará un análisis de las importaciones actuales y se tratará de indicar cuáles serán sus tendencias futuras. En los últimos 4 años nuestro país ha importado cerca de 160,000 T.M. de productos de hierro y acero, cifra que se estima seguirá aumentando mientras mayores sean las necesidades del país; por tanto se espera que para el año de 1986 el país estará importando cerca de 200,000 T.M. de productos de hierro y acero en general.

Las formas en que se importan los productos siderúrgicos es variada, a continuación se enumeran brevemente algunas de ellas. En general, se reciben perfiles obtenidos por laminación en frío y/o caliente, barras macizas de hierro y/o acero obtenidas por laminación en caliente o acabadas en frío, planos universales de hierro y/o acero, chapas de hierro y/o acero laminadas en caliente o en frío, elemen

tos para las vías férreas de fundición de hierro o acero y otras variedades de utensilios terminados y semi-terminados para el uso de la agricultura que, como ya mencionamos, es una de las fuentes principales de producción, al igual que materiales para la construcción, aunque la mayoría de éstos se fabrican en el país.. También es interesante conocer que el país importó cerca de 15,000 T.M. por año de chatarra en los últimos dos años.

Refiriéndonos a la exportación de productos siderúrgicos, el país en la actualidad exportó cerca de 7,000 T.M. en los últimos dos años y se podría estimar que para 1986 - se exportarán alrededor de 10,000 T.M. por año, suma que aumentaría considerablemente con la instalación de la mini---planta, a la vez que se reducirían, casi en su totalidad, - las importaciones de los productos siderúrgicos básicos que demanda el mercado interno.

### LOCALIZACION DE LA PLANTA

El lugar de ubicación de una planta siderúrgica debe cumplir con ciertos requisitos especiales para que la llegada de materias primas y la salida de los productos terminados no generen gastos extremos de transporte; se tendría que hacer un estudio del lugar para determinar la ubicación que permita una fácil comercialización de los productos y al mismo tiempo que tenga fácil acceso a las materias primas.

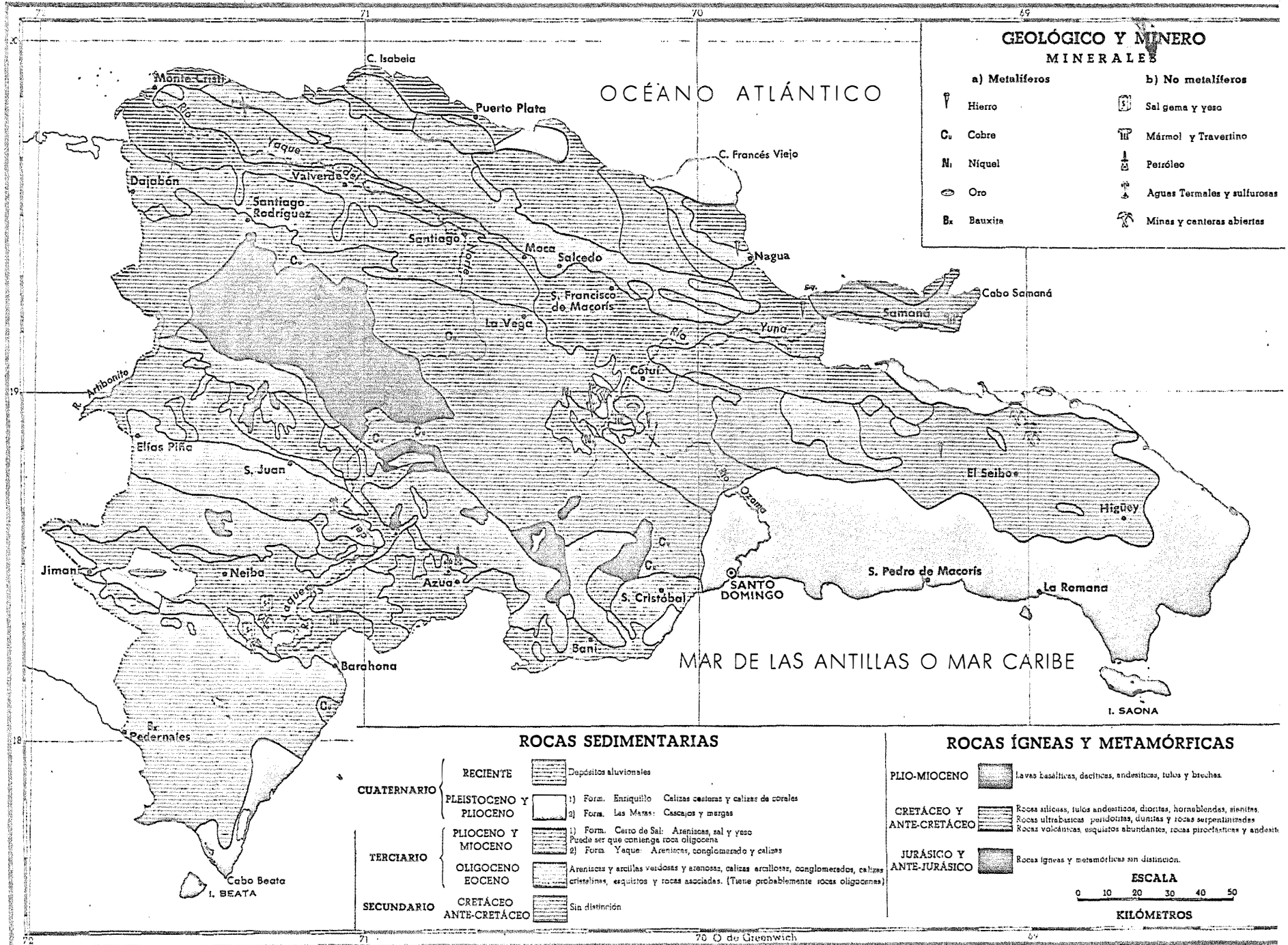
En nuestro caso, no tenemos muchos lugares para elegir debido a que ya mencionamos a Monte Cristi como el lugar que reúne las condiciones óptimas citadas; es ahí donde se encuentran las arenas ferrotitaníferas y también se tienen indicios de carbón de lignito, al mismo tiempo de que el Estado de Manzanillo tiene en proyecto construir un puerto en ese lugar en un futuro no muy lejano; la instalación de una miniplanta siderúrgica en esta zona vendría a justificar aún más la construcción de ese puerto y a la vez alentaría a toda la comunidad de Monte Cristi y Manzanillo que en la actualidad cuenta con muy pocas fuentes de trabajo.

Una segunda opción para la localización de la planta es la zona de Hatillo que cuenta con un río navegable ---

(Río Yuna) así como con minerales de hierro, además de que existen indicios de la existencia de depósitos de carbón en esta zona, aunque no tan estratégica como la de Monte Cristi. Cabe mencionar que la distancia entre Monte Cristi y Santo Domingo, capital de República Dominicana, es de 300 kilómetros aproximadamente, además de que es posible llegar al centro de los yacimientos de estas arenas negras en auto ya que se encuentra a 20 kilómetros al sur-oeste de Monte -- Cristi. Se puede considerar que los medios de transporte -- son regulares pues existen carreteras y caminos en condicio nes aceptables para el transporte.

En cuanto a las condiciones climatológicas son muy -- favorables porque permiten que se pueda trabajar en esa zo-- na sin correr ningún tipo de riesgo que amerite gran preocu pación.





**GEOLOGICO Y MINERO  
MINERALES**

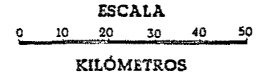
a) Metalíferos		b) No metalíferos	
H	Hierro	S	Sal gema y yeso
C	Cobre	M	Mármol y Travertino
N	Níquel	P	Petróleo
O	Oro	A	Aguas Termales y sulfurosas
B	Bauxita	M	Minas y canteras abiertas

**ROCAS SEDIMENTARIAS**

CUATERNARIO	RECIENTE	Depósitos aluviales
	PLEISTOCENO Y PLOCIENO	1) Form. Enriquillo: Calizas ostras y calizas de corales 2) Form. Las Maras: Cascas y margas
TERCIARIO	PLIOCENO Y MIOCENO	1) Form. Cerro de Sal: Areniscas, sal y yeso. Puede ser que contenga roca oligocena 2) Form. Yaque: Areniscas, conglomerado y calizas
	OLIGOCENO EOCENO	Areniscas y arcillas verdosas y azules, calizas arcillosas, conglomerados, calizas cristalinas, esquistos y rocas asociadas. (Tiene probablemente rocas oligocenas)
SECUNDARIO	CRETACEO ANTE-CRETACEO	Sin distinción

**ROCAS ÍGNEAS Y METAMÓRFICAS**

PLIO-MIOCENO	Lavas basálticas, dacíticas, andesíticas, tufos y brechas
CRETACEO Y ANTE-CRETACEO	Rocas silíceas, tufos andesíticos, dioritas, hornoblonas, sienitas. Rocas ultrabásicas: peridotitas, dunitas y rocas serpentinitizadas. Rocas volcánicas, esquistos abundantes, rocas proterozoicas y andesitas
JURÁSICO Y ANTE-JURÁSICO	Rocas ígneas y metamórficas sin distinción.



COMBUSTIBLES UTILIZADOS EN EL PROCESO SL/RN Y  
POSIBILIDADES DE ENCONTRARSE EN REPUBLICA DOMINICANA

Una de las ventajas que presenta el proceso SL/RN es la gama tan variada de combustibles sólidos que puede utilizar como agentes reductores. Esta es una de las causas que determinarían el empleo de este proceso en República Dominicana ya que en la actualidad no se cuenta con recursos de hidrocarburos del tipo de los utilizados como agente reductor en los procesos H y L, Mildrex y otros; sin embargo - cuenta con reservas de lignito, carbones sub-bituminosos, - carbón vegetal, andracita y otros tipos de carbones que utiliza el proceso SL/RN.

Aunque más adelante haremos una reseña particular de los carbones más usados en el proceso SL/RN y sus ventajas, a continuación mencionaremos algo sobre el tema; como introducción haremos algunos comentarios sobre las reservas - de lignito en República Dominicana y su posible uso en el - proceso SL/RN.

Han sido muchas las pruebas que se han realizado a - nivel laboratorio y planta piloto para determinar cuáles -- combustibles sólidos serían los óptimos para que el proceso SL/RN logre trabajar con el menor número de problemas relacionados con el tipo de combustible.

El principal requerimiento para un carbón es que tenga una densidad razonablemente alta. Esto excluye a la mayoría de los carbones de coque, pero al mismo tiempo comprende las grandes reservas de lignito y de otros carbones sub-bituminosos que se localizan en diferentes lugares de República Dominicana, por esta razón considero necesario hacer un pequeño resumen de las reservas potenciales de lignito en este país y luego un análisis general de los carbones ligníticos.

Las principales reservas potenciales de carbón de tipo lignito que se encuentran en el país se localizan en la cordillera septentrional, pero también se encuentran en la península de Samaná, al este de Sánchez y en la zona del Valle, al sur de Sabana de la Mar.

En el área de El Valle, zona del río Yanigua, aparece un estrato de lignito de 1 metro de espesor, su calidad y condiciones geológicas regionales permiten considerar este hallazgo como interesante, aunque los sondeos geológicos no lo consideren así, es importante realizar un estudio profundo para recabar mayor información al respecto.

Por lo que concierne a los posibles yacimientos en la Cordillera Central, que comprende los lugares de Altamira, La Cumbre, Castillo, Monte Cristi, están asociados a --



abundantes estratos de conglomerados y por las características tectónicas su cuantificación se hace difícil. Más sin embargo se puede considerar muy interesante utilizar todos los métodos de reconocimiento para investigar más a fondo las apariciones de lignito, ya que se comprueba que existen potenciales interesantes en estas zonas. Sería de gran interés porque se encuentran muy cerca de los yacimientos de mineral de hierro, más bien conocidos como las arenas negras ferrotitaníferas ubicadas entre Monte Cristi y Manzanillo.

Ahora bien, donde se encuentran los mayores yacimientos probables de lignito en la zona de Sánchez y su espesor varía entre 20 centímetros y 2 metros y al igual que las muestras de las anteriores localidades, su calidad varía de 3,000 a 6,500 k cal. En esta área se realizaron 5 perforaciones y se ubicaron cerca de 57 millones de toneladas, aunque se recomienda obtener un mayor número de datos para tener mayor seguridad acerca de estas reservas. Se menciona también que en la zona de Yuna al oeste del hallazgo anterior, en sólo dos perforaciones se estimó que había aproximadamente 26 millones de toneladas de turba, los que se consideran también como potenciales. Debe investigarse más sobre estas reservas potenciales para hacer una evaluación concisa de su uso posterior para la industria siderúrgica una vez determinados los problemas de minado de estas reservas.

R E F E R E N C I A S

1. Estadística Industrial de la República Dominicana de 1975 a 1978 y boletines de 1979.  
Oficina Nacional de Estadística (ONE).  
Santo Domingo, República Dominicana.
  
2. República Dominicana en Cifras, 1978. Volumen VIII.  
Secretariado Técnico de la Presidencia de la República.  
Oficina Nacional de Estadística (ONE).  
Santo Domingo, República Dominicana.
  
3. Memoria Primer Seminario sobre el Sector Minero.  
Secretaría de Estado de Industria y Comercio.  
Dirección General de Minería.  
Editores: Romero A. Llinas y Virgilio Malagón A.  
Santo Domingo, República Dominicana, 1978.
  
4. Centro de Información de la Dirección General de Minería de la República Dominicana.  
Santo Domingo, República Dominicana.
  
5. Posibilidades de Instalación de Plantas Siderúrgicas en países de menor grado de desarrollo relativo a América Latina.  
Instituto Latinoamericano del Hierro y el Acero (ILAFSA), 1977.

6. Miniplantas Siderúrgicas. Competitividad-Tecnologías-Operación.

Trabajo presentado al congreso "ILAFA" Miniplantas, - organizado por el Instituto Latinoamericano del Hierro y el Acero en colaboración con el Centro de Industrias Siderúrgicas (CIS) y el Instituto Argentino de Siderurgia (IAS), 12 al 17 de agosto de 1979.

7. E. Salisbury Dona y W. E. Ford,

Tratado de Mineralogía,

Cuarta Edición,

Compañía Editorial Continental S. A. México.

## CARACTERISTICAS GENERALES DEL MINERAL A PROCESAR

El mineral que se piensa utilizar para la obtención de hierro esponja mediante el proceso SL/RN cuya rentabilidad está comprobada, son las arenas negras ferrotitaníferas que se encuentran ubicadas en las cercanías de Monte Cristi y Manzanillo; a dichas arenas negras se les conoce con el nombre de Ilmenita o Menocanita, esta es una mena de hierro titánico de cristales por lo general tabulares gruesos o -- también romboédricos agudos. Con frecuencia se presenta en forma de placas delgadas o láminas macizas y compactas, también sueltos como arena. La estructura atómica es similar a la del Corundo, en donde la mitad de los átomos de aluminio se hayan sustituidos por hierro y la otra mitad por titanio.

Su fractura es coincidental, con una dureza de 5.5 en la escala de Mohr y lustre submetálico. De color negro --- hierro. Raya submetálica, polvo negro a rojo que tira a moreno. Influye ligeramente la aguja magnética. En los yacimientos mencionados, el contenido magnético que tienen las arenas ferrotitaníferas es de 15 a 19% con un contenido de hierro de 56.01%, 11.72% de titanio, además con 25% de  $O_2$  - aproximadamente en la parte del material de bajo contenido magnético ya que existen zonas donde la atracción magnética es superior, indicando la presencia de un alto contenido de

magnetita en la mena.

### Composición General.

Comúnmente se presenta así:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$  con 31.6% de oxígeno, Titanio 31.6%, y fierro 36.8%. Algunas veces se escribe  $(\text{Fe}, \text{Ti})_2\text{O}_3$ , pero probablemente para considerarlo un titanato de hierro. En ocasiones el magnesio puede estar sustituyendo los iones  $\text{Fe}^{2+}$ , formando Picrotitanita de fórmula general  $(\text{Fe}, \text{Mg}) \text{O} \cdot \text{TiO}_2$ . Las variaciones de composición mostradas por los análisis son en parte explicadas por el hecho de que las muestras a veces presentan un crecimiento interno regular de laminillas de hematita o magnetita, en una forma análoga a los crecimientos internos -- pertíuticos de los feldespatos.

En muchas ocasiones se confunde con la hematita por su parecido físico, pero por lo general ésta tiene una raya submetálica casi negra, que no es tan magnética como la propia magnetita.

Esta variedad de mineral de hierro y titanio ocurre, como un componente accesorio en muchos tipos de rocas ígneas, tomando el lugar de la magnetita especialmente en gabros y dioritas. Es uno de los primeros constituyentes del magma rocoso que cristaliza. Se encuentra frecuentemente en vetas o grandes masas aisladas, cerca de los bordes de la ro-

ca ígnea en la que se supone se formó por diferenciación local o cristalización fraccionada en la masa fundida. Se encuentra también, a veces, en rocas metamórficas. Algunas localidades europeas poseen esta variedad como Miosk en los Montes Urales, Ilmen (ilmenita); en el Binnental, Suiza; y en Francia se encuentra formando pequeños cristales. Una de las más notables está en Kragevo, Noruega, en donde ocurre en vetas o capas en dioritas, a veces se encuentran cristales que pesan más de 7 kg. Se presentan también en forma de arena en Mennaccan y República Dominicana, así como en otros lugares.

Es importante mencionar que además de las arenas ferrotitaníferas, en el país se encuentran también otras reservas de minerales de hierro (magnetita y hematita), localizados al norte y sureste de Hatillo hasta La Laguna. Se asegura que aparecen lentes de magnetita en un 90% y de hematita en un 10%. Según algunos investigadores se estimó que las reservas posibles en esta zona oscilan entre 15 y 40 millones de toneladas, pero se tendría que investigar más a fondo para que se consideren como verdaderas reservas de minerales de hierro y de muy buena ley según el análisis de algunas muestras que se obtuvieron de las mencionadas reservas.

Análisis General Promedio

Fe - 68 - 54 %

SiO<sub>2</sub> - 1.28 %

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 0.507 %

Mn - 0.157 %

CaO - 0.20 %

TiO<sub>2</sub> - 0.04 %

S - 0.024 %

P - 0.04 %

PREPARACION Y BENEFICIO DE MINERALES

(Comentario)

La preparación del mineral tiene como propósito - el producir un material con características físicas y químicas adecuadas para su subsiguiente tratamiento. Para el caso de la Ilmenita donde el hierro se encuentra estrechamente ligado con el titanio se requiere el triturar y moler a un tamaño de partícula sumamente pequeño, de tal manera - que sea capaz de permitir la liberación de las partículas - para que se efectúe posteriormente la concentración magnética que permita producir una fracción rica en titanio y pobre en hierro de tal manera que se pueda extraer el primero; y otra fracción rica en hierro y que pueda utilizarse como mena de hierro.

Como el beneficio de mineral implica el uso de varios procesos como la flotación, separación magnética, pelitización y otros, se tendría que investigar más a fondo sobre la utilización de uno de estos procesos para el beneficio de la "Ilmenita"; no es mi propósito profundizar este tema, ya que llevaría bastante tiempo su investigación; además, no es parte fundamental de este trabajo aunque reconozco que lo es para una miniplanta siderúrgica.



A continuación un breve comentario de una planta de peletización, tomando en consideración que con esta forma de aglomerado es como trabaja el proceso SL/RN.

## PLANTA DE PELETIZACION

(Comentario)

Los procesos de peletización se han utilizado en Estados Unidos y Suecia desde 1935. Este proceso comienza con la mezcla del concentrado de mineral de hierro, bentonita y agua. Esta mezcla se trata en un disco rotatorio inclinado o bien en un horno revolvedor; la acción rotatoria del aparato sobre la mezcla húmeda produce los pélets que miden de 10 a 20 mm. Especialmente en el caso de minerales de alto grado, con bajos contenidos de ganga, la dureza o firmeza de los pélets se incrementará añadiendo un agente de endurecimiento el cual generalmente es bentonita. Los pélets verdes se calcinan en un horno de Cuba o en una banda viajera con succión hacia arriba o hacia abajo, por medio de una combinación de banda viajera, horno rotatorio de hogar y de una estufa con horno de Cuba a una temperatura de 1 000 a 1 300 °C. Aunque la temperatura exacta está determinada por la composición del mineral. En el primer método para cocer los pélets, la capacidad del horno está limitada, mientras que en el segundo método puede superar al primero hasta en un 40% de capacidad.

Por otro lado, se considera que el horno de Cuba no es el adecuado para hornear pélets de mineral con bajo contenido de hierro como son las arenas ferrotitaníferas y sería un riesgo hornear este mineral en este tipo de horno.

La siguiente figura muestra el diagrama de flujo de una planta peletizadora.

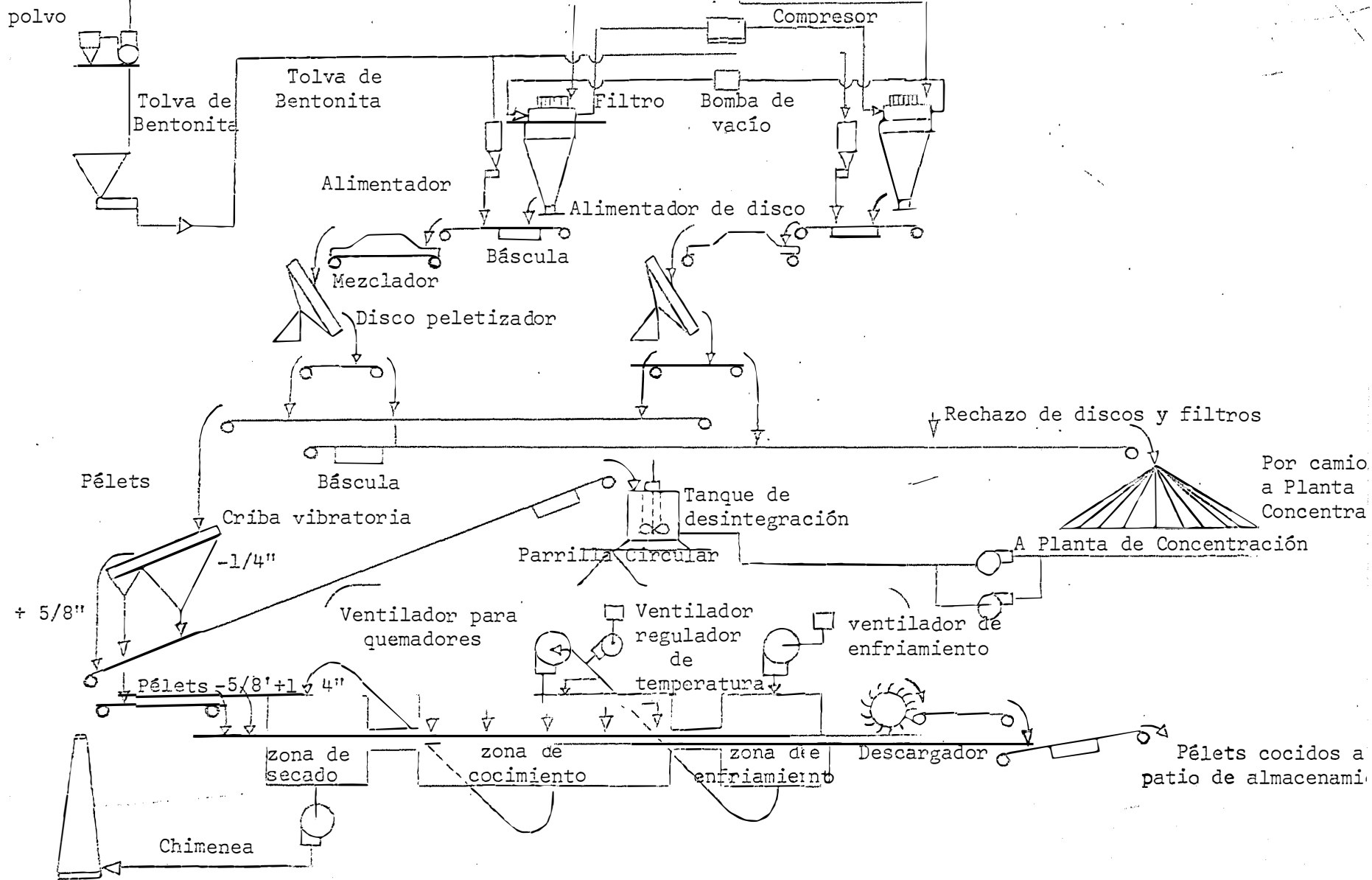


DIAGRAMA DE FLUJO DE UNA PLANTA PELETIZADORA

C o s t o s .

Los costos de inversión de una planta de preparación y beneficios de minerales de hierro varían en función de su tamaño y del tipo de mineral a procesar. Por planta de preparación de beneficio de minerales identificaremos: - Almacén de minerales, planta de trituración y molienda, --- planta de sintetización y planta de peletización. A continuación se muestra una tabla, los valores presentados en -- ella pueden servir como guía.

P l a n t a	relacionado a	Costos totales de ---- inversión por tonelada anual de capacidad.
Planta de preparación de minerales		DLLS/T
Almacén de minerales	mineral sin tratar	2.00
Planta de tritución y molienda	mineral sin tratar	5.00
Planta de sintetización	sinter	7.50
Planta de peletización	pélets	7.50 a 10
Planta de beneficio de minerales		
Concentración magnética en medio húmedo	carga	6.25

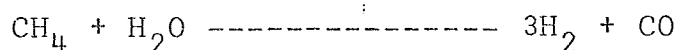
FUNDAMENTOS DE LOS PROCESOS DE REDUCCION DIRECTA

En términos generales los métodos de reducción directa consisten en tratar los minerales oxidados de hierro (Limonita, Ilmenita, Hematita y Magnetita) en un medio reductor, que se encarga de separar el oxígeno de los mismos, produciendo hierro metálico. Esta reducción, como es bien sabido, constituye también la base del proceso del alto horno, pero a diferencia de lo que ocurre en éste, el hierro producido en los procesos conocidos como de "reducción directa", permanece en estado sólido en lugar de pasar a la forma líquida que es como se obtiene usando el método clásico. A consecuencia de ello, al desprenderse el oxígeno, íntimamente repartido en la masa del mineral, el producto final queda con una textura esponjosa, que es la que le da el nombre de hierro esponja.

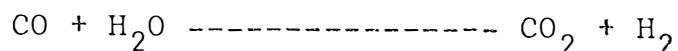
En los diferentes procesos de reducción directa existen variantes en cuanto al reductor utilizado y a la manera en que éstos actúan. Entre los procesos de reducción tenemos los procesos H y L, SL/RN, KRUPP, PUROFER, MILDREX y otros.

En el método mexicano H y L, la reducción se realiza mediante el gas natural al que se reforma previamente para aumentar su capacidad reductora, para ello este gas se so-

mete a una reacción catalítica en caliente con vapor de --  
agua, con el fin de disociar el metano dando lugar a una -  
mezcla de hidrógeno y monóxido de carbono:

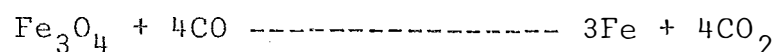
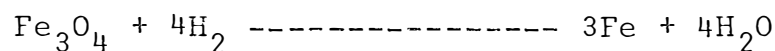
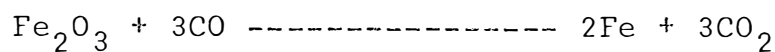
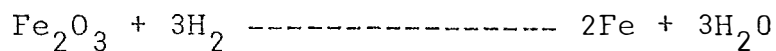


De manera semejante, se realiza la disociación de -  
los demás hidrocarburos. En esta forma se aumenta la pro-  
porción en el gas de los dos agentes eminentemente reductor  
res, es decir, hidrógeno y monóxido de carbono. En gene--  
ral alguna porción de metano escapa a la descomposición y  
también parte del CO pasa a CO<sub>2</sub>, al reaccionar con el va--  
por de agua:



puede considerarse que el gas reductor es una mezcla en --  
proporciones variables de hidrógeno, monóxido de carbono,  
bióxido de carbono y metano con elevado contenido de los -  
dos primeros elementos.

Como los minerales de hierro mexicanos son, en casi  
la totalidad de los casos, mezclas en proporciones diver--  
sas de las dos formas oxidadas del hierro, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, y Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>,  
las reacciones generales que tienen lugar durante la reduc-  
ción son las siguientes:



El carbono libre, que se origina en alguna de las otras reacciones (principalmente con el metano), se deposita en forma finamente dividida en los poros del hierro esponja producido.

Se debe señalar que en general los gases son mal utilizados si se realiza sólo un paso de los mismos sobre el mineral a reducir, para mejorar su utilización existen las dos soluciones siguientes:

1. Absorber los productos de la reacción, es decir  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{CO}_2$ , y recircular los gases;
2. Utilizar un cierto número de reactores en serie, a través de los cuales se hace pasar el gas; este arreglo permite reducir los óxidos de hierro más ricos en oxígeno, mediante un gas que ya se ha oxidado parcialmente al pasar por los reactores precedentes.



En lo que concierne a los problemas térmicos del procedimiento hay que tener en cuenta dos aspectos diferentes:

1. El que se refiere al balance térmico total, en el cual hay que cubrir dos requerimientos: ante todo hay que suministrar el calor necesario para la reducción con hidrógeno que es sensiblemente endotérmica, mientras que la reducción con monóxido de carbono es débilmente exotérmica. A pesar de todo, esto no constituye un grave problema e incluso se han podido establecer procesos en los que, mediante una mezcla conveniente de  $H_2$  y  $CO$ , la reacción es sensiblemente atérmica. En el cuadro siguiente se muestran algunos valores característicos para los calores de reacción a diferentes temperaturas, obtenidos mediante datos termodinámicos reales.

TEMPERATURAS °C	ABSORCION DE CALOR T. DE RE REDUCIDO SEGUN LA REACCION:  $Fe_2O_3 + 3H_2 \rightarrow 2Fe + 3H_2O$	DESPRENDIMIENTO DE CALOR POR T. DE FE, REDUCIDO SEGUN LA REACCION:  $Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$
	Térmies *	Térmies *
500°	151	84
600°	143	88
700°	137	88
800°	135	84

\* 1 térmie = 100.00 BTU

TABLA I

2. Respecto a los cambios de calor que se realizan en los aparatos empleados, se observa en la práctica que generalmente se precalientan los sólidos en un horno especial o, por lo menos, en una parte del horno de reducción; además en casi todos los casos que hay que precalentar el gas natural, lo que constituye una pesada carga en aquéllos casos en que se requiera recircularlo, ya que es muy difícil depurarlo o regenerarlo en caliente.

Por lo que concierne a la cinética de las reacciones de reducción, el problema es muy complejo dado que involucra los efectos de cambio de calor y difusión de gases, los cuales desempeñan un papel preponderante para la determinación de la velocidad de reacción de una partícula de mineral de hierro. Se debe señalar que en todos los procesos en operación o en ensayo, salvo los que tienen lugar a muy altas temperaturas (altos hornos), la reducción es lenta y que, en consecuencia, los tiempos de permanencia de los minerales en los hornos de reducción son elevados, variando entre un mínimo de varias horas hasta más de 15 horas en muchos casos.

Como se comprende sin dificultad, habrá un elemento de los minerales -que es la ganga o parte estéril- que, al

verificarse la reducción en estado sólido; no se podrá eliminar en forma de escoria como se hace en el proceso de alto horno y que, por tanto, quedará formando parte del producto final; a consecuencia de ello, la separación de esa parte estéril deberá realizarse por escorificación, en el empleo final del hierro esponja.

Debido a que en República Dominicana el costo del gas natural es tan elevado, tenemos que profundizar en métodos que utilicen como combustibles las reservas de carbones que se encuentran en el país, el método de producción que más se ajusta a las condiciones requeridas para instalar una miniplanta siderúrgica es el proceso SL/RN, ya que utiliza una serie de carbones que si bien no se tienen a disposición por el momento, podrá en un futuro cercano contarse con ellos debido a los estudios que ya se han realizado. Además con el proceso SL/RN se producirían los volúmenes de hierro que demandará el país en tiempos futuros por lo que considero que dicha instalación es una necesidad para agilizar la economía nacional.

Por otro lado, tenemos que hacer hincapié en la escoria obtenida de las arenas ferrotitaníferas, pues de ésta podría obtenerse, mediante un tratamiento particular, el bióxido de titanio, compuesto de gran demanda en la actualidad para diferentes usos industriales.

FUNDAMENTOS DEL PROCESO DE REDUCCION DIRECTA SL/RN

Este proceso se puede considerar como el indicado para la producción de hierro esponja en República Dominicana por las ventajas que representa en nuestro medio sobre los demás procesos de reducción directa.

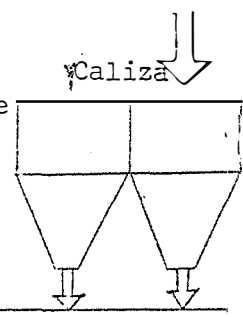
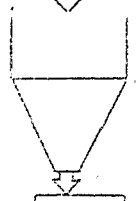
Comentarios de los problemas iniciales del proceso.

El proceso de reducción directa SL/RN se lleva a cabo en un horno rotatorio y utiliza combustibles sólidos como agentes reductores, las materias primas son minerales de hierro, generalmente en forma de pélets industriales y carbón, ya sea lignito y/o sub-bituminoso. Estos dos tipos de carbones son los más utilizados en la actualidad, aunque se utilizan otros reductores como carbón vegetal, antracita, etcétera.

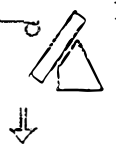
En la zona inicial o de precalentamiento del horno, la cual opera como un horno de cal, las materias primas son secadas y calcinadas mientras se inicia el calentado a temperaturas de reducción. En la zona de reducción del horno, el óxido de hierro es reducido a hierro por medio de la siguiente reacción:

mineral de hierro

Carbón



Peletización



Chimenea de emergencia

Horno reductor

Salida de gases

Quema de petróleo

Endurecimiento y oxidación de los pélets

Polvos

Enfriador

Vibrador

Separador magnético

HIERRO-ESPON

Separador magnético

Separador del carbón

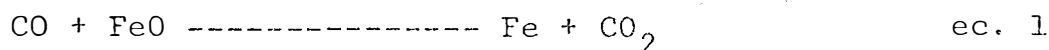
Residuos (cenizas y cal sulfurada)

Carbón de recirculación

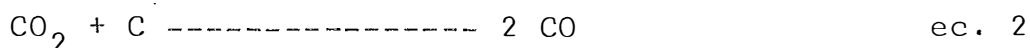
FIGURA 2

Esquema de la instalación del proceso SL/RN

10



El CO es regenerado para continuar la reducción y --- para servir como fuente de calor; la reacción de regeneración es la siguiente:



Esta segunda reacción es altamente endotérmica; la -- zona de reducción, así como la zona de precalentado, están - limitadas por la transferencia de calor a través de la inter fase de gas sólido.

El proceso SL/RN lo podemos considerar como muy joven, ya que no fué sino hasta 1970 cuando se inició su comerciali zación en Nueva Zelandia y Falcon Bridge después de que algu nos problemas eléctricos y mecánicos fueron corregidos, que dó claro que se tenían todavía dos problemas del proceso que no habían sido anticipados: la rapidez de formación de acre ciones en el horno era mucho mayor de lo permitido para que la operación se llevara a cabo de una manera pareja, y la vi da de los quemadores era muy corta, debido a problemas de en corvamiento, torcimiento y desoldado. El proceso en ambas

Nota: Debe asegurarse un tamaño de partículas de mineral o - aglomerado adecuado para que permita el libre paso de los gases por su través, a fin de que se obtenga una - buena reductibilidad.

plantas durante ese tiempo fue como el que se muestra en la figura 3 en el extremo de carga algo de carbón nuevo y de carbón calcinado de recirculación es alimentado junto con el mineral mientras que por el extremo de la descarga se inyecta más carbón.

En un esfuerzo por determinar qué pudo ocasionar esos problemas una corrida (jornada) fue organizada en la planta piloto SL/RN de Hamilton para probar el efecto de las cantidades de carbón inyectado, así como el tipo de carbón en relación con factores tales como temperaturas del quemador, temperaturas de operación del horno y otros. El horno fué equipado con termopares en varios quemadores y en varios puntos de la coraza del horno, éstos últimos forman parte integral del equipo.

Las formas de operación que fueron examinadas son:

- a) Alimentación completa de la antracita en el extremo de carga y gas natural a través de los quemadores. Esta fue la forma original del proceso en planta piloto, se produjeron miles de toneladas de materiales reducidos con muy pocos problemas de operación.
- b) Una porción de carbón total que debía alimentarse con la carga se inyectó con carbón bituminoso en diferentes cantidades. Esta forma de opera-



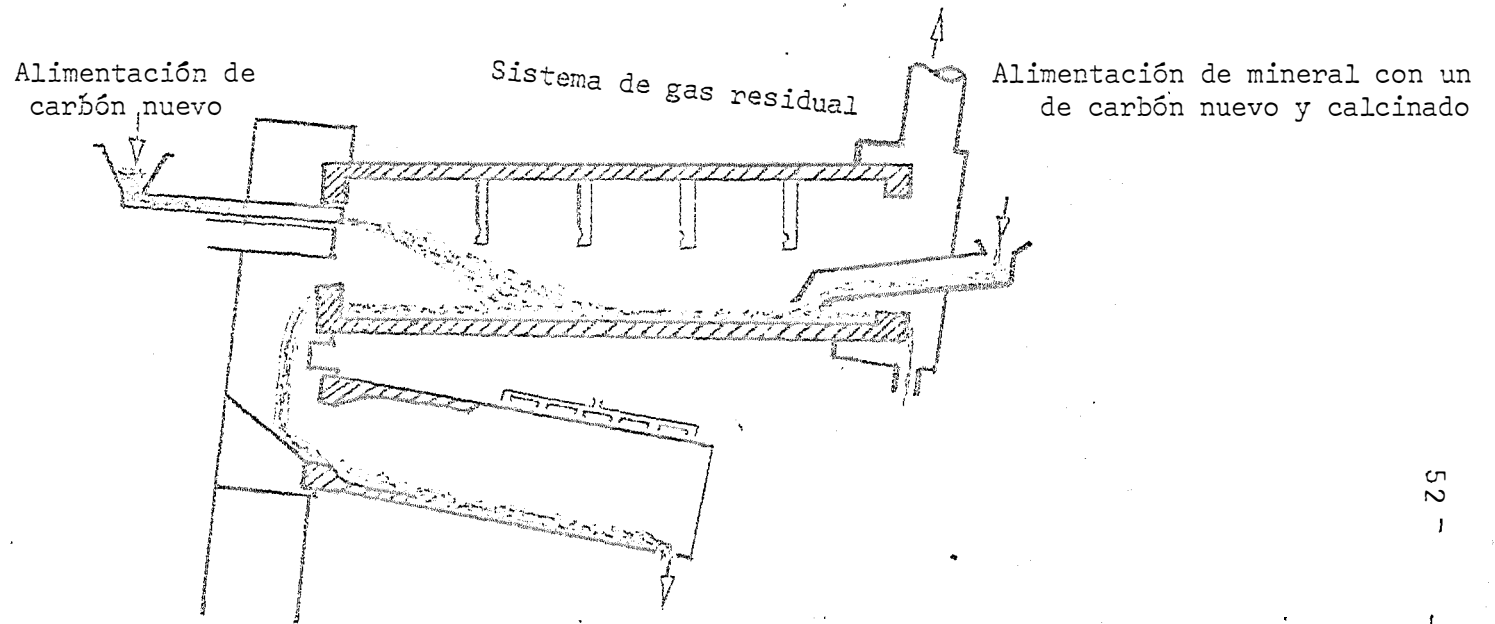


FIGURA 3

Forma inicial de alimentación de carbón del proceso SL/RN

ción se probó pocas veces y mostró ventajas sobre el modo anterior; por esta razón se había elegido para la operación de las dos plantas que operaban comercialmente.

- c) Alimentación de lignito altamente reactivo junto con la carga con o sin la introducción de gas natural a través de los quemadores. Este tercer modo fué casi una idea posterior realizada para complacer a uno de los abastecedores de carbón. Tuvo muy buena aceptación debido a que trabaja a baja temperatura.

Los resultados de las pruebas fueron muy reveladores; En la prueba en donde el carbón fue inyectado en diferentes cantidades las boquillas de los quemadores estuvieron muy calientes en comparación con la cama de sólidos. Con antracita y gas natural, las puntas de los quemadores se pusieron calientes, pero dentro de los límites de diseño. Y en las puntas donde se usó carbón lignito, el cual podía ser utilizado sin ningún combustible auxiliar, las temperaturas del quemador fueron muy bajas, cerca de 200°C menos que en los dos casos anteriores.

Cuando se inyecta carbón, la atmósfera del espacio libre del horno contenía muchos combustibles y partículas

finas del carbón que había sido inyectado. Estos combustibles se quemaban exactamente en la boca del quemador provocando que la temperatura de la punta del quemador se elevara mucho creando así una región de muy alta temperatura en esa área del horno. Este modo de operación tenía dos inconvenientes graves: la boca del quemador estaba muy caliente, causando que el quemador se doblara, torciera, etc., en adición, el gas opaco entre cada quemador tendía a dar una área emisiva muy caliente en la zona de combustión, seguida de un área relativamente fría. La formación de acreciones en esta zona caliente era inevitable. En los otros dos casos, el espacio libre del horno era oxidante y la combustión se llevaba a cabo en la superficie del lecho, como se muestra en la figura 4 donde la superficie del lecho es observada como un fuego en una reja. También esta operación permite que la fase gaseosa sea relativamente transparente y que por lo tanto la distribución de temperatura sea más uniforme.

La investigación realizada por T. R. Meadowcroft y J. K. Brimacombe et al concluyó que la alimentación de carbón de bajo grado a través del extremo de alimentación ofrecía las mejores ventajas, para reforzar estas conclusiones se llevaron a cabo pruebas en New Zealand Steel, en estas pruebas se inyectó carbón sub-bituminoso. Los resultados que se obtuvieron sobre el grado de

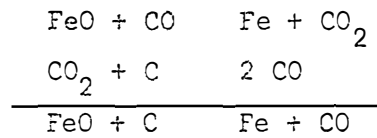
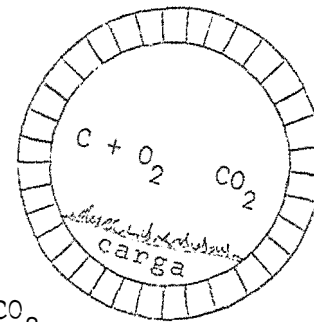
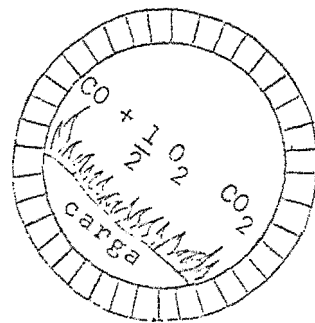
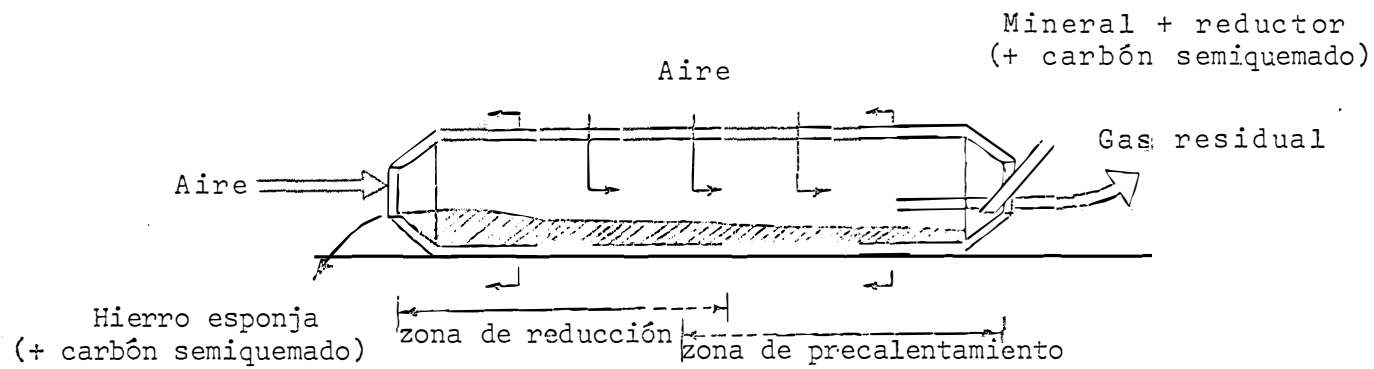


FIGURA 4  
Principio de la reducción directa en horno rotatorio  
(Operación en contracorriente)

alimentación fueron muy alentadores. Las fallas en el quemador virtualmente desaparecieron y la temperatura de operación en el horno fué más uniforme y más baja. El grado de acreción no fué más un mayor problema de operación, y fué posible realizar una campaña de manejo consistente y mantenida.

En la figura 5 se muestran los resultados que obtuvieron Meadowcroft y Brimacombe et al acerca de la reactividad y reductibilidad de diferentes pélets. También se ilustra el efecto del tipo de combustible sobre la reactividad y reductibilidad de los pélets. Estos resultados indicaron que era necesario un mayor cambio en los modos de proceso. También revelaron que era necesario conocer mucho más acerca del proceso mismo por razones de operación y para lograr llevarlo a una mayor escala. Stelco, consecuentemente, se aventuró a un amplio programa para determinar qué carbones podrían ser alimentados en el extremo de carga, la influencia de la reactividad y reductibilidad del pélet sobre la operación y la forma más exacta para aumentar la escala del proceso.

La influencia del tipo de carbón estuvo sujeta a un estudio por separado. El requerimiento esencial del carbón es que produzca una calcina de densidad aparente razonablemente alta. Esto excluye a la mayoría de los carbones

de coque pero a la vez incluye a las reservas de lignito y otros carbones adecuados para el proceso que se encuentran en República Dominicana.

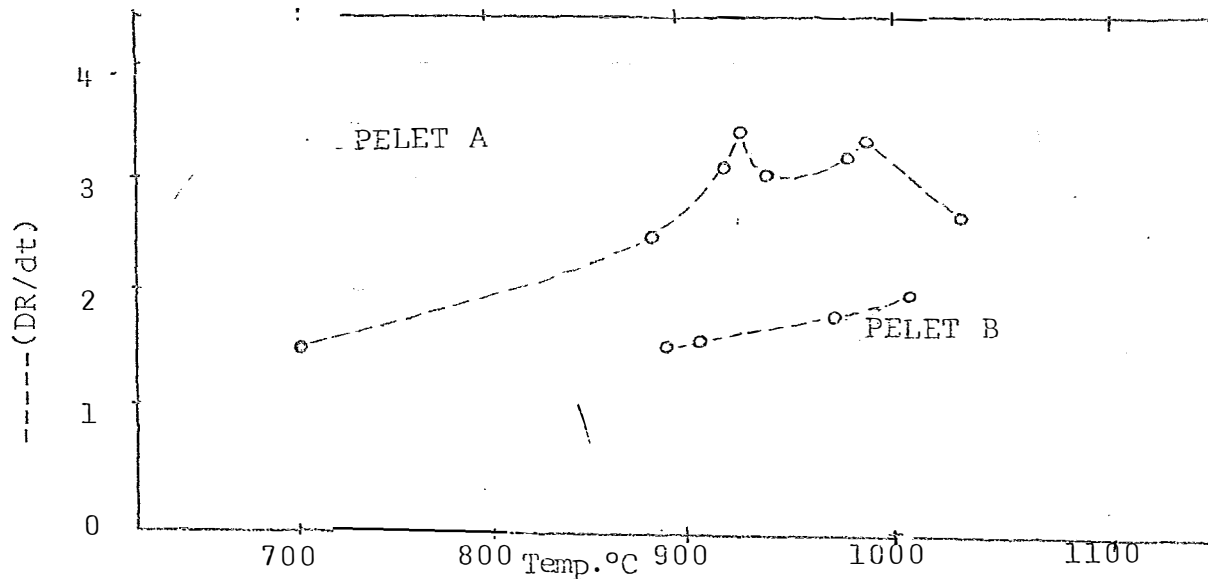


FIGURA 5

Velocidad de reducción para dos minerales diferentes

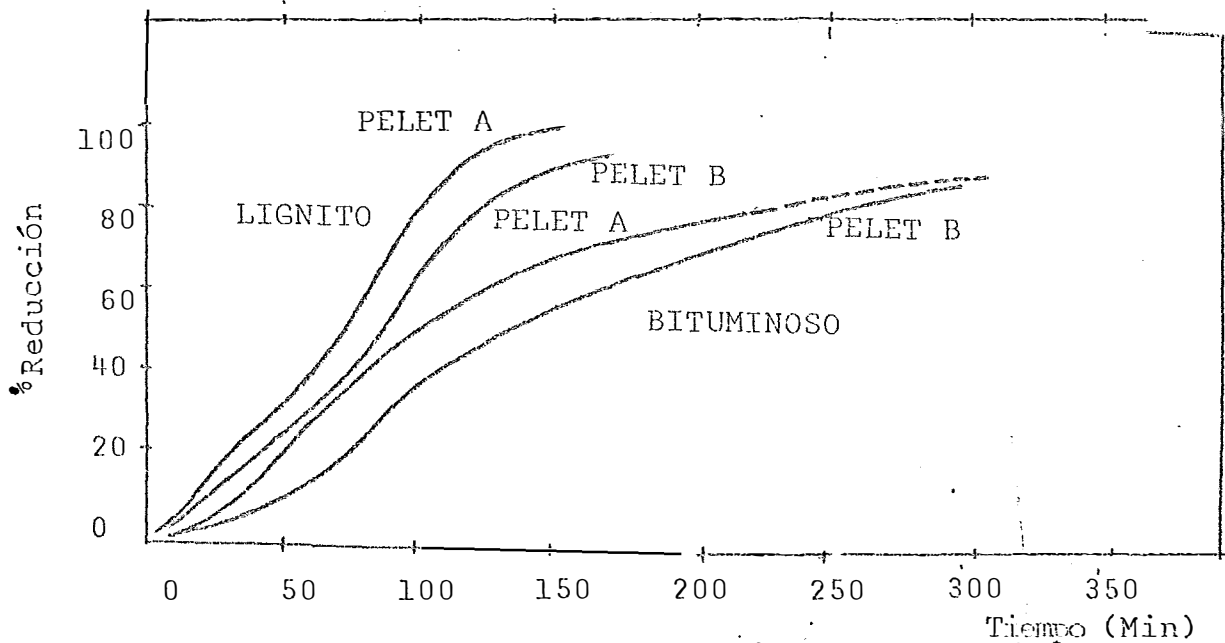


FIGURA 5a

Comparación del tiempo de reducción con diferentes carbón y mineral

ANALISIS GENERAL DE UNA PLANTA SL/RN MODERNA  
Y VENTAJAS QUE PRESENTA EL PROCESO

Las ventajas que representa el proceso de reducción directa SL/RN sobre otros procesos convencionales fueron las que determinaron su aceptable comercialización. A continuación enumeramos sus principales ventajas:

1. Tener unos costos de inversión muy inferiores a los que requiere la combinación del alto horno y el horno de coque (inclusive más bajo que otros procesos de reducción directa).
2. Tener costos de operación más bajos.
3. Permitir el incremento en la facilidad del desarrollo, para producir hierro.
4. Ser capaz de utilizar una amplia variedad de carbones, particularmente no coquizables.



DESCRIPCION DE LAS CONDICIONES Y  
NECESIDADES DEL PROCESO SL/RN

Mineral de Hierro.

Los minerales de hierro que se pueden utilizar para la reducción directa mediante el proceso SL/RN incluyen -- las arenas ferrotitaníferas, y en la actualidad se encuentra en operación la obtención de hierro de este mineral en Nueva Zelandia con una producción anual de 100,000 T.M. -- por año. Este mineral debe procesarse en forma de pélets (aglomerado) que es la forma en que el horno trabaja con -- mayor eficiencia.

Los pélets de la mina Griffith en Canadá, son com-- pletamente endurecidos y tamizados a  $-16 + 10$  mm. El contenido de hierro en los pélets, alimentados al horno, es -- del 67% aproximadamente y el contenido de oxígeno es de -- cerca de 28%. El contenido de ganga en los pélets es del 5%. El análisis completo de las condiciones químicas de -- un pélet se encuentra en las tablas III y IV.

Análisis Químico	Componente en %
Fe <sub>T</sub>	66.7
Fe <sup>++</sup>	0.8
SiO <sub>2</sub>	3.6
C	0.05
S	0.006
Na <sub>2</sub> O	0.075
K <sub>2</sub> O	0.095
H <sub>2</sub> O	0.05

TABLA III

*Composición de los Pélets*

Compañía	Materia prima	% seco			
		Fe	SiO <sub>2</sub>	CaO	Misc.
Acos Finos Piratini/Brasil	Pélets-Itabira	67	2.4	1.6	-----
Steel Company of Canadá	Pélets-Griffith	67	3.4	0.6	-----
Nippon Kohan K.K./Japón	Pélets con contenido de óxidos residuales	54	4.9	3.3	0.7 Zn
Hecla Mining Corp/EE.UU.	Pélets de residuos de lixiviación	47	19.0	2.0	1.5 Cu
Highveld/Sudáfrica	Mineral en trozos de magnetita titanífera	54	2.1	---	13.2 TiO <sub>2</sub> 1.7 V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Highveld/Sudáfrica*	Mineral en trozos Sishen/Sudáfrica	66	2.5	0.2	-----
Western Ti Corpo./Australia	Conoc. ilmenita/Australia	30	0.8	---	55 TiO <sub>2</sub>
N.Z. Steel Ltd./Nueva Zelandia	Conoc. arenas ferruginosas/Nueva Zelandia	58	1.1	0.2	8 TiO <sub>2</sub>
*Ensayo en gran escala.					

TABLA IV

Composición de materias primas portadoras de hierro usadas en hornos rotatorios Lurgi y Plantas SL/RN

### Condiciones del carbón.

La especificación del carbón para el proceso SL/RN está basada en muchos años de pruebas en plantas piloto. Para la buena operación de una planta SL/RN es necesario que el carbón reúna las condiciones siguientes:

1. Alta reactividad, no carbón de coque (dos criterios encontrados en los carbones sub-bituminosos y lignitos).
2. Índice de hinchamiento libre
3. Contenido permanente de carbón, tan alto como sea posible para los tipos de carbón que se estén considerando.
4. Contenido de cenizas: tan bajo como sea posible y nunca mayor de 10% (en base seca).
5. Temperatura inicial de deformación de ceniza: tan alta como sea posible con un mínimo absoluto de 1,040°C.
6. Azufre: tan bajo como sea posible, y
  - a) Se prefiere un 0.7% máximo con menos de 0.1% como azufre.

b) Arriba del 1.2% máximo es tolerable, con fundentes adicionales de dolomita.

El carbón debe ser tamizado a --50 mm para cargarlo dentro de las tolvas abiertas y luego enviarlo a la planta. Ver tabla V.

Nota: Cuando el contenido de azufre es bajo, no es necesario agregar dolomita.

Aspecto financiero.

El costo de una planta de reducción directa SL/RN - puede variar en función de su tamaño, o bien de su capacidad, así como del transporte de las materias primas; a -- continuación comentaremos los aspectos financieros de la - moderna mina Griffith de Canadá.

El costo de capital del proyecto de reducción di--- recta fué de 42.5 millones de dólares canadienses. Esto -- incluye 36.5 millones de dólares para la planta SL/RN de -- reducción directa (observar tabla VI) y 6 millones de dóla-- res para facilidades especiales en la utilización del pro-- ducto en tres plantas de producción de acero.

Cerca del 80% del costo de producción de hierro esponja SL/RN se debe a los costos de materias primas (mineral, carbón y otros combustibles). El costo total de producción está directamente relacionado con la localización - de la planta, de ahí que esto normalmente determina los -- costos de transporte de una o más de las materias primas - al lugar de la planta.

Ahora bien, las ventajas financieras que presenta - un proyecto como este, es el bajo costo de hierro esponja SL/RN con relación al uso de chatarra para la producción -

de acero. Una vez más, reconocemos que los costos por --- transporte son factores determinantes. Por esta razón, --- los costos están arriba de 130 dólares por tonelada de hie--- rro esponja y sus precios son comparables con la mejor cha--- tarra del mercado. Estos precios deben ser comparados con el costo del hierro esponja de cada lugar ya que, como ha--- bíamos comentado, este va a variar de acuerdo a su locali--- zación.

Los costos extras de operación por el uso de mate--- rial directamente reducido en lugar de chatarra incluyen --- tanto los incrementos de electricidad, consumo de funden--- tes y refractario, así como la presencia de ganga en los --- pélets. Estos costos inconvenientes están directamente re--- lacionados con la naturaleza de la ganga, y bajo condicio--- nes normales, son más que compensados por otros factores. Los factores de compensación incluyen las mejoras en la --- producción de carga continua (CONTIMELT PROCESS) y la li--- bertad de utilizar elementos uniformes y fáciles de mane--- jar como lo es el hierro esponja.

Departamentos	Costo en millones de dólares
Fundaciones	5.4
Sobreestructura	5.8
Manufactura e instrumentación	1.3
Equipo mecánico	11.9
Equipo eléctrico	2.3
Servicio de alumbrado y electricidad	0.7
Abastecimiento de fuerza eléctrica	0.7
Abastecimiento de líneas	0.6
Equipo móvil	0.3
Otros (Repuestos, ingenierías, ubicación y servicio)	7.5
Costo total	36.5

TABLA VI

*Costo aproximado de una moderna  
planta SL/RN*



### Descripción del Proceso.

Los principios del proceso SL/RN y el uso de hierro esponja SL/RN en las acerías eléctricas se ha tratado ya profundamente.

El carbón y los pélets son continuamente alimentados por el extremo de carga del horno rotatorio inclinado, Observar figura VI. La inclinación y la rotación del horno mueven los materiales a todo lo largo del mismo, y causa que éstos, una vez reducidos, sean descargados de manera continua. Como la carga se mueve a través del horno es calentada por los gases de combustión, los cuales fluyen en dirección opuesta a la que fluye la carga (flujo a contra corriente observado en la figura 4).

En la primera parte del horno, los pélets y el carbón son calentados a la temperatura de reacción al mismo tiempo que se elimina la humedad y los materiales volátiles junto con los gases.

En la segunda parte (la zona de reducción) del horno, el pélet de óxido de hierro y/o de titanio es reducido. El hierro esponja y el exceso de carbón se descargan del horno a un enfriador (un pequeño horno rotatorio inclinado al cual se le está rociando agua). En el enfriador -

Análisis Químico en %	Composición del carbón sub-bituminoso	
	Como se recibe	Seco
H <sub>2</sub> O	24.9	0.0
Carbón fijo	38.9	51.8
Materiales volátiles	28.5	37.9
Ceniza	7.7	10.3
Azufre	0.34	0.45
Indice de hinchamiento libre	0	
Valor calorífico bruto KJ / kg	19 927	
Temperatura inicial de formación de ceniza en °C	1130 ± 80	

TABLA V

*Composición del carbón sub-bituminoso*

de hierro esponja se enfría antes de ser descargado. El material del enfriador se lleva a un sistema de clasificación del producto (ver figura 7 ) en donde es tamizado y el material clasificado es separado mediante un separador magnético en finos (pélets rotos y polvo de hierro) y por otro lado en materiales no magnéticos.

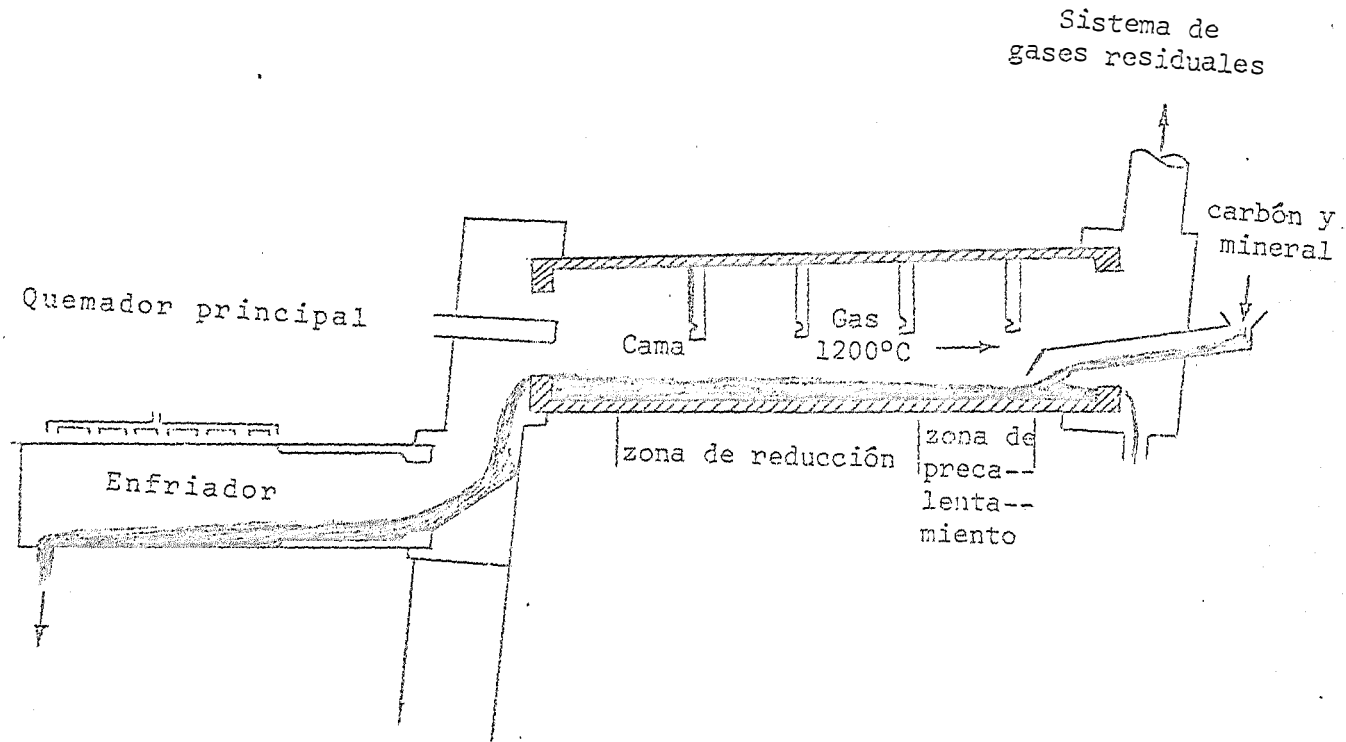


FIGURA 6

Esquema moderno de las partes principales del proceso SL/RN

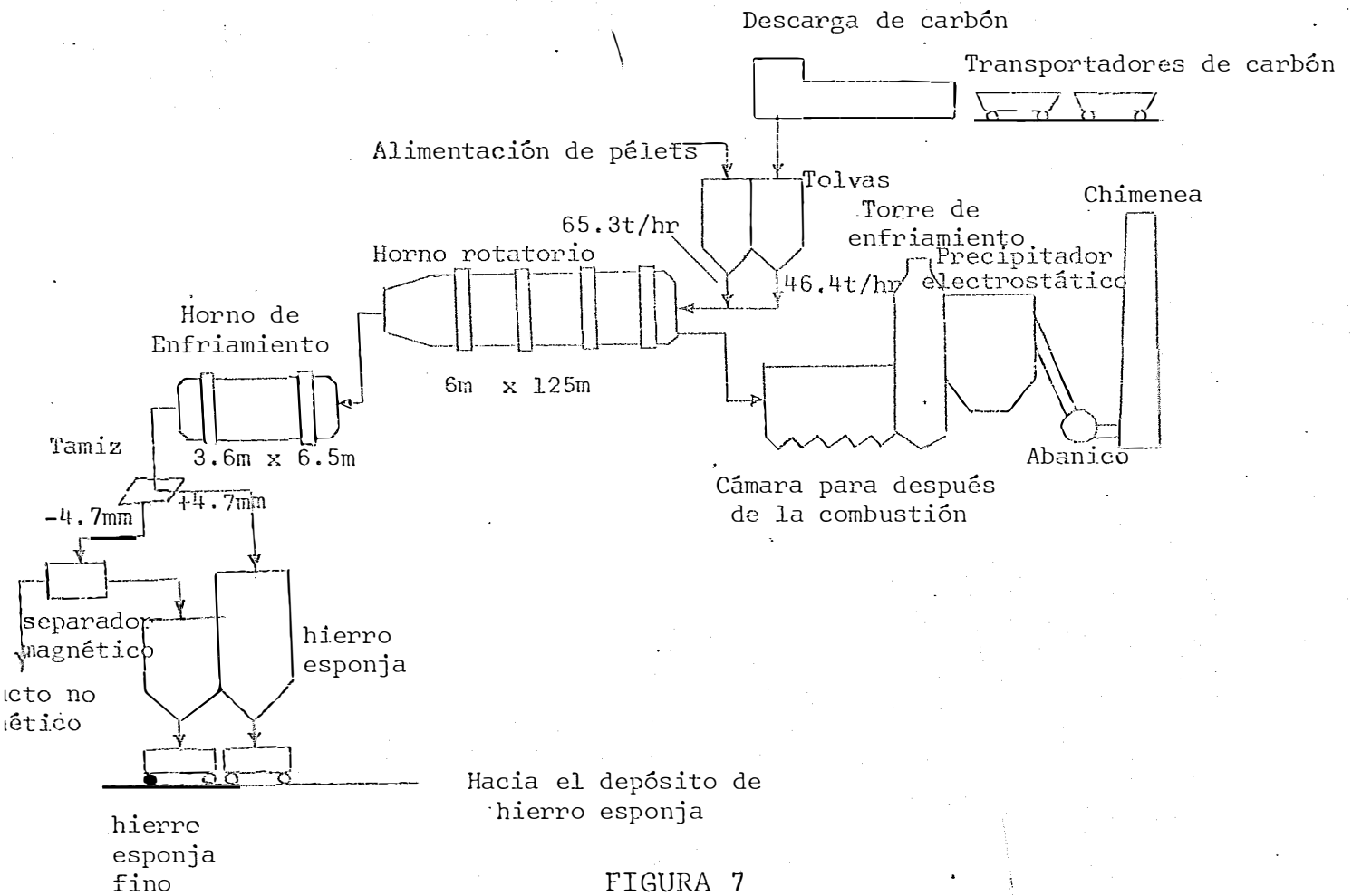


FIGURA 7

Diagrama de flujo de las cargas de las materias primas y descarga de los productos obtenidos en la Planta S1/RN en la Griffith Mine de Canadá

Descripción de la Planta.

Las partes principales de la planta SL/RN se muestran en el diagrama de flujo de la figura 7.

La planta consiste de los siguientes sistemas básicos:

1. Manejo de materias primas
2. Sistema de alimentación al horno
3. Horno y enfriador
4. Separación de los productos
5. Tratamiento de gas residual y de materiales de desperdicio.

Manejo de Materias primas.- El sistema utilizado en el manejo de materias primas se encarga de recibir y -- descargar los carros de carbón, y llenar los depósitos -- de materia prima con carbón y pélets endurecidos del mineral de hierro en cuestión. Los depósitos para almacena-- miento deben tener la suficiente capacidad como para man-- tener suficientes materias primas durante 24 horas de ope-- ración contínua.

El sistema de manejo de carbón va a depender de -- las condiciones en que se reciba dicho carbón y para nues

tro caso podría consistir en:

- a) Un carro para vagón para descargar el carbón y otro carro para empujarlo.
- b) Bandas transportadoras y cangilon elevador.
- c) Dos depósitos de almacenamiento con una capacidad de  $\approx 540$  toneladas cada uno.

Los pélets endurecidos recibidos directamente de la planta de endurecimiento, son cribados para separar el material de menor tamaño.

El sistema para el manejo de pélets consiste de:

- a) Una criba grande para separar los pélets a un tamaño de malla de + 75 mm.
- b) Dos bandas transportadoras.
- c) Un depósito para almacenaje de 1,620 toneladas de capacidad. Sin embargo, el sistema de manejo de carbón puede utilizarse para alimentar los depósitos de pélets en caso de emergencia.

Sistema de alimentación al horno.- Este sistema se utiliza para proporcionar precisión y continuidad a la alimentación de pélets y carbón al horno, observar la figura VIII.

El sistema consiste en:

- a) Dos básculas para pesar el carbón alimentado.
- b) Dos básculas para pesar los pélets alimentados.
- c) Dos básculas para pesar los pélets de menor tamaño.
- d) Una báscula totalizadora.
- e) Dos transportadores de banda.
- f) Un tubo de alimentación al horno.

Cualquier pélet de hierro esponja que se encuentre por debajo del nivel requerido de metalización debe ser regresado al sistema de alimentación inicial.

Horno y enfriador.- Como es en el horno donde se efectúan todas las reacciones del proceso, tenemos que --



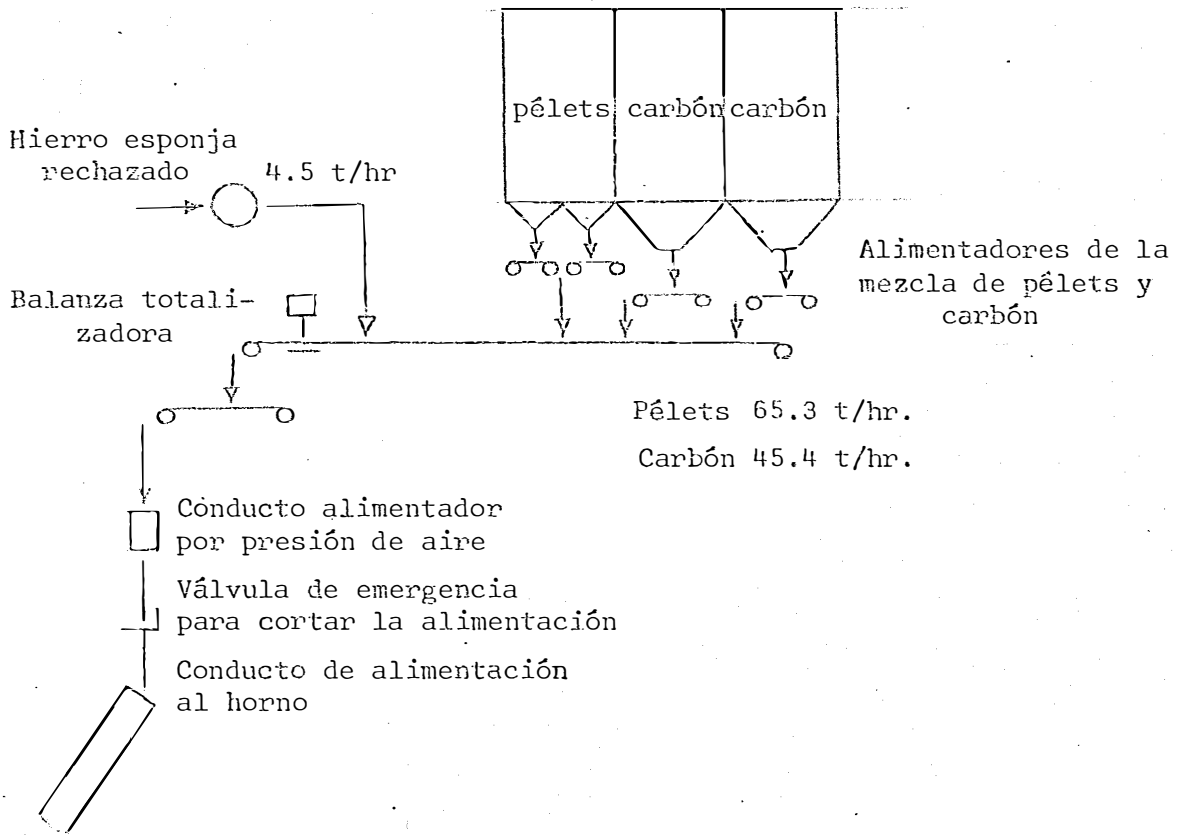


FIGURA 8

*Sistema de alimentación al horno*

dar una explicación clara de su operación. Este horno -- tiene una longitud de 125 metros, un diámetro de 6 metros y una inclinación de 3%. Debe estar sostenido sobre cuatro soportes neumáticos y se hace girar mediante dos motores de corriente directa (d.c.) de 450 kw a una velocidad variable, sincronizada a través de las unidades de reducción. El rango de velocidad es de 0.2 a 1.0 r.p.m., con una velocidad normal de operación de 0.4 r.p.m. En caso de una falla en los motores, debe haber un motor generador de Diesell que a la vez controla dos motores de 56 kw a 0.05 r.p.m. en el horno y un motor de 30 kw de corriente alterna (c.a.) a 0.1 r.p.m. en el enfriador. La coraza del horno está protegida con refractario de 23 cm. de espesor.

Existen 15 tubos quemadores de acero inoxidable -- distribuidos en toda la longitud del horno. Cada tubo alimenta aire y tiene la capacidad de introducir gas natural a lo largo de la línea central del horno si así se requiere. El aire de combustión es alimentado por 15 abanicos (uno por cada quemador) montados en la coraza del horno. El gas natural se usa para calentar el horno rápidamente hasta la temperatura de operación, así como para proveer de un método adicional de control de temperatura cuando se requiera durante la operación. El gas natural es alimentado a través de un sistema de alimentación, único en

su género, en el área de carga del horno. Este gas, es alimentado por vía de un tubo aislado con aire frío que entra al final del horno a través de la caja negra de la línea central del mismo. La tubería gira, entonces, en ángulos rectos alimentando el gas a través de la coraza donde se distribuye a los quemadores. Los ensambles de rotación (chickson) permiten que la porción fija del horno gire mientras los tubos exteriores de alimentación permanecen estacionarios.

Para elevar la temperatura del horno existe un gran quemador de gas natural localizado en el extremo de descarga. Este quemador de alta temperatura está en contra corriente con el gas residual y tiene un largo radio de curvatura para permitir su uso en el control de la descarga final a esas temperaturas.

El control de la temperatura del lecho y de los gases es fundamental para las sucesivas operaciones del horno. La distribución de la temperatura a lo largo de este horno es regulada mediante el control del aire que entra al mismo con los abanicos. Para poder colocar estos 15 abanicos individuales, se localiza un control de flujo manual en cada ventilador. Las temperaturas son medidas con termopares Chromel-Alumel a lo largo del horno, los cuales pasan a través del lecho y de la fase gaseosa alternadamente durante la operación.

Seis anillos con tres secciones deslizables y un anillo de tubo común transfieren señales (fem) al termopar que se centralizan en el cuarto de control. Los botones de operación cambian las lecturas de temperatura del lecho a temperatura del gas durante la rotación.



Existen conos en la sección de carga y descarga del horno que nos dan la profundidad correcta del lecho (o cama). Como el producto se esparce sobre el cono de descarga del horno, se transfiere al enfriador por vía de un conducto vertical aislado con refractario (conducto de transferencia). Para prevenir la formación de grandes piezas para la acumulación en el tubo de transferencia, dos enfriadores de agua y una criba nos permiten clasificar el material grande (+ 50 cm) y descargarlo en una cámara de separación mediante un conducto mayor. Los conglomerados extremadamente grandes para este conducto mayor, pueden ser removidas por una "cuchara" (la cual descarga el material directamente del horno al enfriador).

El enfriador en sí mismo es un pequeño horno rotatorio de 65 m de largo por 3.6 m de diámetro. Tiene dos soportes neumáticos, un motor (c. d.) de 150 kw y otro motor de emergencia de (c. a.). La velocidad normal de rotación es de 60 r.p.m. El agua es rociada en el lado exterior de la coraza del enfriador. Esta se recircula sobre

los pélets de hierro esponja de +4.7 mm. Los de menor -- tamaño son separados magnéticamente de las esponjas finas y del material no magnético. Las finas son almacenadas y transportadas por separado de los pélets de hierro esponja. Los materiales no magnéticos son colocados junto a las gangas primarias.

La producción de unos días de hierro esponja abastece los almacenes. Cuando los depósitos de almacenamiento están llenos, el hierro esponja es separado mediante dos bandas transportadoras y son llevados a un almacén de emergencia para hierro esponja. Similarmente, si el hierro esponja se encuentra por debajo de la metalización requerida, se separan mediante una banda transportadora para llevarlos al almacén de desperdicios de hierro esponja. De aquí, ellas van al alimentador del horno para su reprocesamiento.

El sistema está también diseñado para manejar material que está "caliente" y que tiene que ser puesto en un lugar de almacenamiento para enfriarlo antes de llevarlo al sistema de separación. Esta operación se lleva a cabo posteriormente separando el producto de un transportador de olla a uno de cadena de acoplamiento.

La provisión de transportador de canjilones sustitutos de un almacén auxiliar aseguran la continuidad de la operación.

Tratamiento de gas residual y de materiales de desperdicio.- Los gases residuales del horno tienen que ser purificados antes de descargarlos a la atmósfera. Los gases son inicialmente inducidos a un quemador auxiliar horizontal/caja descomposición de gases. Este sistema con una capacidad de 200 GJ/h es probablemente el más grande que existe en este tipo. Aquí los volátiles, el hollín y el polvo de carbón se calcinan completamente por la adición de aire a través de una entrada central de aire y tres puertas de aire con montaje de lado para prevenir el sobrecalentamiento en una emergencia; existen tres depósitos de agua de aspersión a todo lo largo de la cámara. Las partículas de cenizas y hierro se asientan en el fondo de la cámara. Estas son desalojadas a intervalos regulares mediante puertas herméticas a prueba de aire, hacia un transportador aéreo de agua de enfriamiento. Este transportador alimenta a un elevador de canjilones que transfiere el polvo al depósito de polvos y gases residuales. Cualquier material que no se asiente en la caja de descomposición, se lleva con los gases a la torre de en-

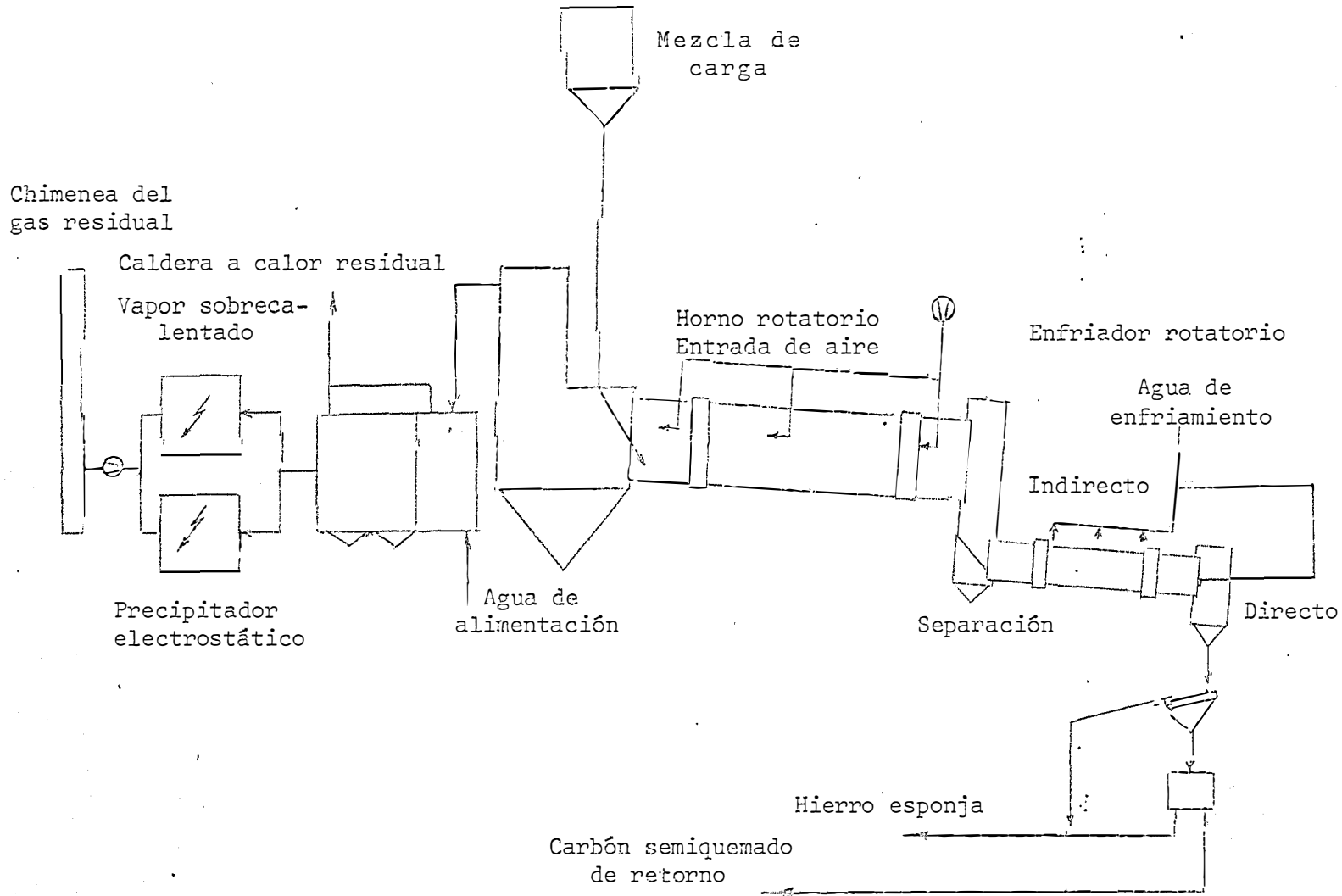
friamiento. Aquí los gases son enfriados por agua de aspersión hasta una temperatura de 285 °C antes de entrar a un precipitador electrostático. Los precipitadores tienen tres campos activos y una eficiencia de diseño del 98%. En los precipitadores, el hierro fino y las cenizas son separados del gas; el gas limpio se pasa a través de un abanico de extracción y salen de la chimenea hacia la atmósfera.

El polvo de los precipitadores se lleva a seis transportadores de tornillos sin fin hacia el depósito de polvo y gases residuales.

En el caso de emergencia por el paro del abanico extractor de aire, los gases pueden ser extraídos con el abanico extractor de aire hacia la atmósfera antes del precipitador electrostático

Los gases purificados descargados a la atmósfera contienen menos de 0.007 gramos/metros cúbicos de polvos.

El polvo atrapado, principalmente cenizas de carbón y óxido de hierro, se elimina junto con el desperdicio de roca y se lleva al depósito de gangas (Observar figura 10).



*Planta de reducción directa con recuperación de calor residual*

FIGURA 10



Disponibilidad de Personal.

El número de personas que operan una planta como ésta es muy reducido por la forma tan moderna en que se maneja dicha planta, pero en nuestro medio no se podría contar con la experiencia que tienen los que pusieron en marcha una planta con aproximadamente 80 personas, así -- que esto va a depender del tipo de equipo que se utilice, así como de la preparación de adiestramiento que se le dé al personal futuro que operase una planta de esta magnitud; este número de 80 no incluye al personal de preparación de mineral, sino que se refiere exclusivamente al -- personal que opera la producción de hierro esponja a partir de la alimentación; cabe recordar que el número de -- trabajadores para la construcción de una planta así es de aproximadamente 500 trabajadores, pero esto también dependerá de la rapidez en que se quiera terminar la construcción de la planta y del tamaño de la misma, así como de -- la localización y otros factores.

## C o s t o s .

Los costos generales para una planta de estas proporciones fueron descritos en la tabla VI pero éstos están en función directa del tamaño de la planta y del tipo de materias primas utilizadas en el proceso, así como de otros factores importantes que tienen que tomarse en consideración.

Estos costos son aproximados para una producción anual de 350,000 toneladas, así que considerando que los minerales de hierro en República Dominicana son otros, pero que sí es posible su reducción directa con algunos cambios en el proceso, ya que en Nueva Zelandia se encuentra operando una planta con este tipo de mineral sin problemas, se considera que para una producción de 200,000 toneladas anuales, los costos de capital son, aproximadamente, 50 millones de dólares tomando en cuenta factores desfavorables en nuestra condición de importadores totales de tecnologías adecuadas para el proceso, observando que los cambios y ajustes de equipo para el tipo de mineral y los combustibles no sean extremos.

## P r o d u c t o .

El proceso SL/RN consistentemente produce hierro - esponja con más del 90% de metalización. La tabla VII -- nos muestra la composición del producto de una planta moderna.

El hierro esponja SL/RN no es pirofórico y es altamente resistente a la oxidación del aire, a menos que - éste se encuentre húmedo. El hierro esponja ha sido almacenado fuera de sus depósitos únicamente tapado con cubiertas de plástico por períodos mayores de 1 año y miles de toneladas han sido transportadas a varios lugares por diferentes medios sin ningún problema.

En la tabla VIII se observan las plantas SL/RN ---- puestas en marcha y en construcción, indicando el volumen de producción de cada una.

Constituyente	Peso %
Hierro total	91.5
Hierro Metálico	85.0
Azufre	0.014
Carbón	0.10
% de metalización	93

TABLA VII

*Especificación del producto  
de Fe esponja SL/RN*

Compañía	Localización	No. de hornos rotatorios	Producción de mineral t/tpa	Año de puesta en marcha
Acos Finos Piratini	Brasil	1	95.000	1973
Hecla Mining	EE.U.U.	1	95.000	1975
Highveld Steel & Vanadium	Sudáfrica	7	2.100.000	1968
		1	300.000	1977
New Zealand Steel	Nueva Zelandia	1	190.000	1969
Nippon Kokan K.K.	Japón	1	500.000	1974
SIDERPERU	Perú	3	100.000	1978
Stelco-Girffith Mine	Canadá	1	540.000	1975
Western Titanium	Australia	1	20.000	1968
Total		17	3.940.000	

TABLA VIII

*Planta SI/RN y hornos rotatorios para reducción directa en operación y en construcción*

FABRICACION DE ACERO EN HORNOS ELECTRICOS  
DE ARCO CON HIERRO ESPONJA, SL/RN

Actualmente ha resurgido el interés por el hierro esponja en los países en desarrollo como en los que ya están industrializados debido al rápido desarrollo de los hornos eléctricos de arco de alta potencia.

A continuación se indicará cómo el hierro esponja difiere de la chatarra de acero, como material de carga, y cómo esta diferencia influye sobre la operación y aspectos económicos de los hornos eléctricos de arco.

A pesar de que recientemente se ha publicado mucho material sobre el estado de reducción directa comercialmente disponible, existía, hasta hace poco, escasa información respecto a las experiencias operacionales reales de utilización del hierro esponja en los hornos eléctricos de arco. En el caso de la reducción directa, muchos siderurgistas han analizado el hierro esponja estrictamente como sustituto de la chatarra, comparándolo, sobre la base de su costo de producción o precio de mercado por toneladas de hierro, con el de la chatarra comprada. Este análisis es importante, pero pueden cometerse equivocaciones, ya que el hierro esponja ofrece muchas ventajas potenciales, esto es espe---

cialmente cierto en el caso del proceso de horno eléctrico de arco.

Como principal objetivo tenemos que analizar el hierro esponja encuestión, de tal manera que permita al siderurgista interpretar sus efectos sobre la operación de un horno eléctrico de arco; en base a esto, se espera que puedan evaluarse mejor los intercambios económicos involucrados y estar en mejor disposición para tomar decisiones más acertadas en cuanto a inversiones de capital relacionadas con futuros requerimientos de capacidad siderúrgica.

A partir de 1966, las ventajas del proceso de horno eléctrico de arco han conducido a su rápido crecimiento mundial que ha sido respaldado por la chatarra de acero disponible, internacionalmente importada, y se investiga la disponibilidad, calidad y precios futuros de la chatarra debido a los siguientes aspectos.

- a) Continuo aumento en el crecimiento de la producción de acero en hornos eléctricos de arco.
- b) Continuo aumento de la producción en hornos eléctricos de arco y de inducción en la industria de fundición.
- c) Disminución de la producción en hornos Siemens-Martin.
- d) Reducción del rendimiento del procesado de chatarra de automóviles.
- e) Menos chatarra de planta debido al crecimiento de la colada continua.

Tons.

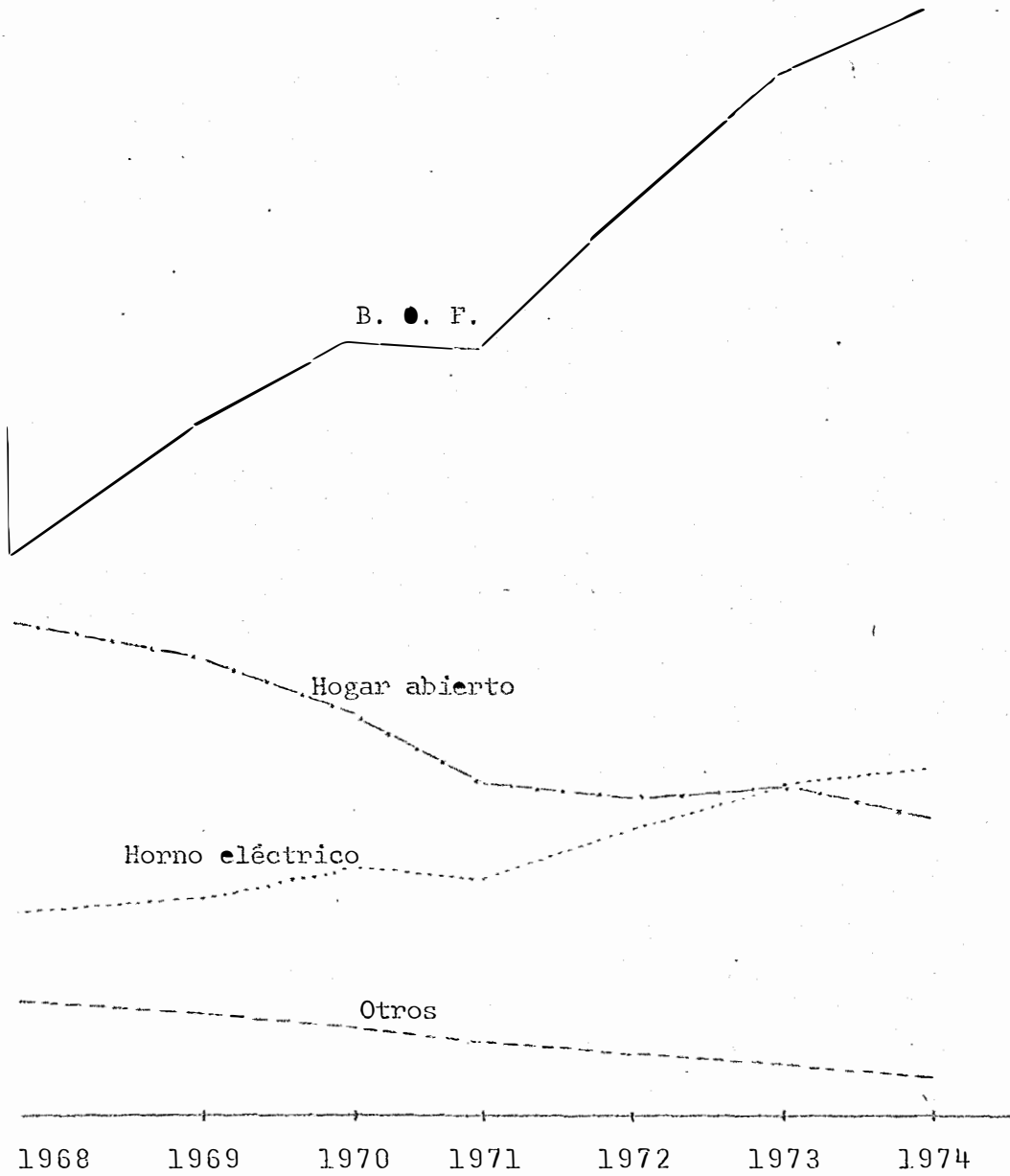


FIGURA 11  
Producción de acero mundial por procesos



Se deben evaluar las ventajas y desventajas de la reducción directa para estimar en forma adecuada el intercambio económico que se requiere para determinar la conveniencia de este tipo (reducción directa-horno eléctrico de arco) de inversión de capital.

El objetivo de este resumen es el explicar algunas de las formas más significativas de cómo el hierro esponja influye sobre la operación de elaboración de acero en hornos eléctricos de arco, tratando de comparar los aspectos económicos de esta vía hacia el acero con los del método convencional.

Para la industria siderúrgica, algunas de las principales ventajas del hierro esponja son:

- a) Conocimiento exacto de la composición química.
- b) Composición química uniforme.
- c) No contiene impurezas metálicas indeseables, generalmente.
- d) Permite la fusión con chatarra de bajo costo (de mayor disponibilidad)
- e) Fácil de transportar y manipular.
- f) Permite la carga continua automática.
- g) Aumenta la productividad del horno.

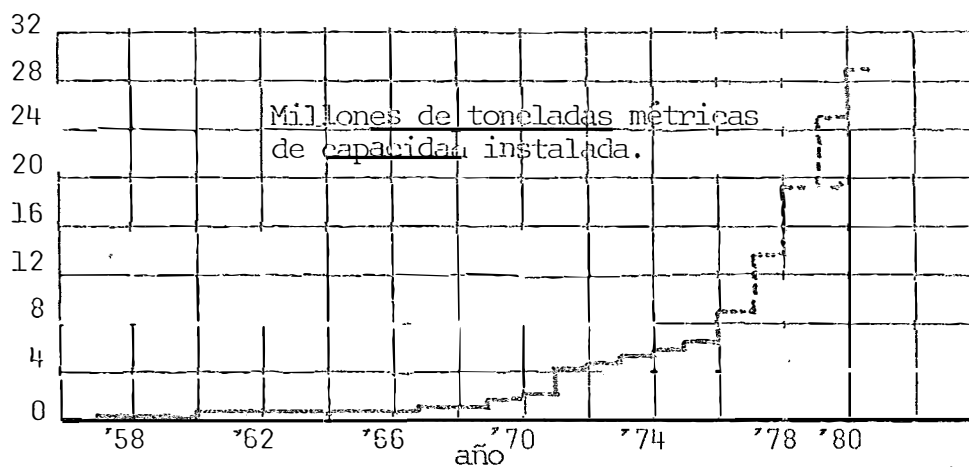
- h) Menos ruido durante la fusión, en comparación -- con la operación de chatarra.
- i) Estructura de precios más predecibles.
- j) Permite a la industria siderúrgica expandirse e incrementarse con un mínimo de inversión de capital y riesgo.
- k) Las instalaciones de reducción directa-horno eléctrico pueden construirse más rápidamente que las de hornos de coque-alto horno-convertidor básico al oxígeno.

Debido a que el hierro esponja es químicamente conocido, uniforme y libre de impurezas metálicas, permite al operador predecir su análisis final, si se carga inicialmente en forma continua con hierro esponja; lo que por lo general se inicia hacia el final de la fusión, si la carga es chatarra. Con la elaboración de acero en hornos de arco, incluyendo la colada continua, se podría ahorrar hasta el 20% del tiempo que se necesitaría para hacerlo mediante chatarra.

Existen muchas ventajas cuando se utiliza el hierro esponja pero la más importante es el aumento de la productividad. Cuando se cargan en forma continua diversos porcentajes de hierro esponja, la experiencia demuestra que la -- producción puede aumentarse en 10 a 20% en comparación con la chatarra. (Observar cuadros III y IV).

Producción de acero	1975	1980
Convertidor básico al oxígeno	330.0	433.2
Siemens Martin	73.5	60.6
Horno eléctrico de arco	101.0	127.1
Otros	10.2	7.5
Total	514.7	628.4
Requerimientos de chatarra comprada	142.5	173.6
Total de chatarra interna disponible	133.1	159.3
Saldo de chatarra	-9.4	-14.3
Hierro esponja	+3.2	+7.3
Saldo aparente	-6.2	-7.0

CUADRO III  
Estudio de chatarra del IISI



CUADRO IV  
Crecimiento mundial de la capacidad de reducción -----  
directa (solamente proyectos aprobados y/o anunciados)

Con el manejo del hierro esponja, la industria siderúrgica podrá controlar mejor sus costos de materias primas, los que representan 60 a 70% de su costo total. Esto se debe al precio mundial más predecible del mineral de hierro, en comparación con el de chatarra.

El estado actual de la reducción directa indica que económica y técnicamente es más factible construir mini-plantas de reducción directa-horno eléctrico de arco (dependiendo del proceso de reducción) de 40,000 toneladas métricas a ----- 5,000 000 de toneladas métricas anuales, con una inversión de capital considerablemente menor por tonelada anual de capacidad, disminuyendo así los riesgos financieros.

Efectos del hierro esponja sobre la operación del horno eléctrico.

La reducción del óxido de hierro puede lograrse por medio de la reacción con carbono, monóxido de carbono, hidrógeno, dependiendo del método que se elija para la reducción. Los productos de la reducción, además del hierro metálico, son el anhídrido carbónico y el vapor de agua, que salen de la unidad de reducción en el flujo de gas de escape. En la práctica no resulta económico reducir completamente todo el óxido de hierro a hierro metálico, debido a que los productos

contienen algunos óxidos de hierro no reducidos, a menudo en forma de wustita ( $\text{FeO}$ ). Los productos comerciales también contienen ganga, principalmente óxidos no ferrosos, tales como sílice y alúmina, que no se convierten al estado metálico durante la reducción. La cantidad de ganga contenida puede ser apreciable, especialmente en los minerales en trozos, pese a que las tendencias actuales se inclinan hacia el uso de minerales altamente beneficiados o de bajo contenido de ganga. Es la presencia de ganga y óxidos de hierro, no reducidos en los materiales metalizados, lo que los distingue claramente de la chatarra.

El producto de los procesos de reducción directa se conoce por diversos nombres, siendo los más comunes los de hierro metalizado, hierro esponja, hierro directamente reducido (HDR) e hierro prerreducido (HPR), hierro esponja SL/RN.

Además de que las dimensiones del hierro esponja tienen cierta significación positiva para su uso, lo más importante para la industria siderúrgica es su composición química definida. El cuadro siguiente nos da un análisis químico simplificado de pélets oxidados de baja ley antes y después de la reducción a un nivel de metalización arbitrariamente elegido.

	Pélets de Óxido %	Pelets me talizados	Pélets %
Hierro total	64	64	86.3
Hierro metálico	0	(54.5)	(73.5)
Oxígeno combinado con hierro	28	2.7	3.6
Ganga (principalmente SiO <sub>2</sub> ó TiO <sub>2</sub> para el caso)	6	6.0	8.1
Agua	2	0	0
Carbono	0	1.5	2.0
	100	100	100

CUADRO V

*Análisis químico simplificado de pélets oxidados de baja ley antes y después de la reducción.*

El término "grado de metalización" se usa para describir la eficiencia de la eliminación del oxígeno del óxido de hierro durante la reducción. Este término se define con un ejemplo numérico en base a datos del cuadro anterior.

Grado (ó %) de metalización = hierro metálico/hierro total

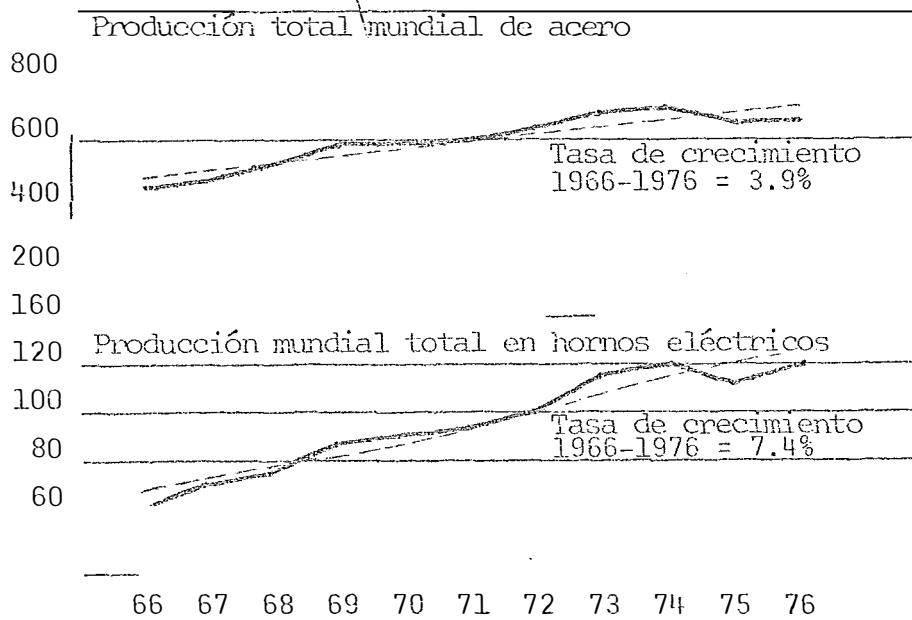
$$54.5 \text{ kg}/64.0 \text{ kg} = 85\%$$

En cualquier análisis químico del hierro esponja, los factores de más importancia son la cantidad y forma de los óxidos de hierro que quedan en el producto metalizado y la cantidad y naturaleza de la ganga.

Las consecuencias de la recuperación de los óxidos de hierro no reducidos en un horno eléctrico de arco, utilizando materiales metalizados para el 100% se ilustran en la figura 12. Esta cifra presenta datos experimentales en un horno eléctrico de arco pequeño, utilizando pélets de hierro esponja de diferentes grados de metalización, manteniendo constante el contenido de wustita de la escoria. Se observa que, con niveles bajos de metalización, se produce un aumento del consumo de energía y como consecuencia, tiempos de fusión más largos.

La inclinación de la curva muestra que un 1% de cambio de metalización produce un cambio en el consumo de ener

Millones de toneladas  
métricas



Valores reales  
Líneas de tendencias

Figura 12

Producción mundial de acero en millones  
de toneladas



gía de fusión de alrededor de 12 kWh/t de acero vaciado, para este horno en particular. La inclinación de la curva incluye no solamente la energía para producir la reacción de reducción, sino también las pérdidas de calor adicionales resultantes de los tiempos de fusión más prolongados. En los hornos más grandes, que tienen pérdidas de calor menores por unidad de capacidad, la inclinación observada podría ser algo menor. Los datos sobre un horno de arco de 85t muestran un cambio de alrededor de 10 kWh/t para un cambio de 1% en la metalización, en tanto que podría esperarse que un horno de 200t produjera una inclinación de 9 kWh/t, bajo circunstancias similares.

En ciertos casos, el oxígeno residual puede encontrarse en forma de magnetita o hematita en lugar de wustita. La energía necesaria para recuperar el hierro de estos óxidos es mayor que para la wustita. En estos casos, la inclinación de la curva mencionada podría exceder los 20 kWh/t colada por 1% de cambio en la metalización.

La utilización de altas proporciones de hierro esponja, que contiene cantidades considerables de ganga ácida, da como resultado pesos de escoria muy altos, con un consecuente aumento en el consumo de energía y pérdida de productividad. Sin embargo, algunas acerías que operan con altos

porcentajes de hierro esponja han desarrollado prácticas especiales para minimizar el peso de la escoria. Esto implica balancear la chatarra y/o el hierro esponja en el bando del horno durante el mayor tiempo posible y llevar a cabo la fusión bajo condiciones ácidas o casi neutras. Esta escoria se hace salir en la mitad de la fusión y se establece la práctica básica para el resto de la hornada. En algunos de estos casos, las escorias de acabado básico, con una baja proporción de cal a sílice, han resultado satisfactorias, siempre que se agregue cierta cantidad de dolomita, para ayudar a proteger la línea de escoria.

Cuando sólo se usan cantidades relativamente pequeñas, el nivel de ganga en el hierro esponja tiene menos importancia. Este es el caso de las acerías que buscan maximizar la productividad cargando en forma continua solamente 15 a 25% de la carga en forma de hierro esponja.

A continuación mencionaremos algunos de los efectos positivos del hierro esponja sobre la operación del horno de arco.

La ventaja principal es el aumento potencial de la productividad de los hornos como resultado de la carga continua. La carga continua adecuada de un hierro esponja de calidad puede aumentar considerablemente la productividad de un horno.

La carga continua de hierro esponja da como resultado un nivel más alto de alimentación de corriente útil que el que se produce para la fusión de chatarra con la misma instalación eléctrica en el horno. Los récords de energía eléctrica de megawatt comparan la fusión de chatarra con la de hierro esponja, cargado en forma continua, con la misma instalación eléctrica, en un horno de 85t. Las amplias fluctuaciones de la energía eléctrica típicas de la fusión de chatarra se deben a la naturaleza no homogénea de la chatarra y la longitud continuamente variable del arco entre el electrodo y la chatarra sobre la que se produce el arco. Estas fluctuaciones aumentan la reactancia eléctrica del sistema del horno, reduciendo por lo tanto la alimentación de corriente efectiva. Por contraste, la fusión de hierro esponja asegura un arco comparativamente estable, que resulta de una alimentación de corriente estable. Las bajas pérdidas eléctricas observadas en la carga continua generalmente producen entre 10 y 14% de aumento de la alimentación de corriente útil al horno.

La alimentación de energía eléctrica estable, observada con la carga continua, da también como resultado niveles significativamente reducidos de disturbios en la línea eléctrica. En relación a la chatarra se observan reducciones de 50% o más en los niveles de centelleo. Como podría esperarse, la reducción del "ruido" eléctrico está acompañada

do de una reducción similar del ruido acústico.

Probablemente el mayor progreso aislado de la elaboración de acero con hierro esponja es el desarrollo de la carga continua de los hornos eléctricos de arco. A continuación algunas ventajas de la carga continua en estos hornos:

- a) Menor tiempo de desconexión de la energía eléctrica.- La eliminación de la carga suplementaria, demoras en las grúas, etcétera, conducen a una utilización total de la energía durante una gran parte del ciclo completo de fusión; es decir, se logra un mayor tiempo de utilización de la capacidad eléctrica del horno.
- b) Menor pérdida de calor.- Se eliminan las pérdidas de calor que se producen por las cargas suplementarias y demoras y los menores tiempos de fusión reducen las pérdidas de calor de la unidad.
- c) Mayor alimentación de energía eléctrica.- Las menores pérdidas resultantes de la carga continua producen energía útil adicional para la fusión.

- d) Transferencia de calor mejorada en el baño y reacciones metalúrgicas más rápidas.- Como consecuencia de la reacción del carbono con los óxidos de hierro no reducidos en el hierro esponja, se produce una ebullición continua muy fuerte, a través de todo el período de carga continua, lo que mejora mucho la transferencia de calor en el baño y la mezcla de la escoria con el metal. Esto conduce a una significativa aceleración de las reacciones metalúrgicas en comparación a la fusión normal de la chatarra.
- e) Fusión y afino combinados.- La conocida composición química del hierro esponja y el hecho de que está libre de impurezas indeseables, permiten lograr el afino mientras se llevan a cabo la carga continua y la fusión. Estos efectos se combinan para aumentar la productividad del horno y disminuir tanto el consumo de electrodo como el de energía eléctrica en relación a los niveles de carga intermitente. Se logran mejoras significativas, aún cuando se carguen en forma continua proporciones relativamente pequeñas de hierro esponja. Con mayores proporciones de hierro esponja, los efectos adversos de la ganga y de la metalización incompleta tienden a disminuir los efectos beneficiosos observados con la carga continua.

En resumen, los efectos que tiene el hierro esponja sobre la operación de elaboración de acero en hornos eléctricos de arco son:

- a) Los materiales metalizados son diferentes a la chatarra y pueden ejercer efectos positivos y negativos sobre la operación de elaboración de acero.
- b) Al igual que en el caso de otros materiales de carga, la calidad de los productos metalizados puede tener una gran influencia sobre los resultados de la operación de aceración.
- c) Para las acerías que utilizan altos porcentajes de hierro esponja en la carga, los materiales con bajo contenido de ganga y alta metalización son importantes para lograr una alta productividad.
- d) Para acerías que utilizan proporciones pequeñas de hierro esponja en la carga, pueden tolerarse niveles moderados de ganga y metalización sin efectos perjudiciales graves.

- e) En ciertas circunstancias, la totalidad de los aspectos económicos pueden favorecer el uso de materiales con alto contenido de ganga y/o baja metalización.
- f) Los mejores resultados con hierro esponja se obtienen utilizando el sistema de carga continua.
- g) El uso de cantidades moderadas de hierro esponja puede tener efectos favorables sobre la productividad del horno, cargándolo en forma intermitente con chatarra de baja densidad.

## OBTENCION DE FUNDICIONES A PARTIR DEL HIERRO ESPONJA

En la actualidad, la comprobación de utilizar hierro esponja en fundiciones se encuentra limitado a sólo dos tipos de hornos: el horno de cubilote y los hornos eléctricos de inducción. Debido a que el hierro esponja es un material de hierro virgen, el contenido de elementos residuales es bajo y se encuentra en función directa de la carga de mineral de hierro usado en la planta de reducción directa. El hierro esponja se está utilizando en la actualidad como sustituto de diferentes tipos de arrabio y/o chatarra y además como diluyente de los elementos residuales que causan problemas de fundición, básicamente fósforo, cromo, níquel, cobre, titanio, vanadio, azufre y otros; aunque para nuestro caso tendríamos que tomar muy en cuenta dicha composición ya que la presencia de titanio, en el hierro esponja obtenido, será alta.

Por lo general, el hierro esponja tiene una composición química definida, pero esto va a depender de la naturaleza del mineral que le puede hacer variar dentro de un rango considerable.

A continuación se ilustra en el Cuadro VI la composición química del hierro esponja permisible en las fundiciones, tomando como un estudio por separado el contenido de Titanio.



Grado de metalización	92 % ó más
Fe (total)	Aproximadamente 92%
C*	0.8 a 1.7%
SiO <sub>2</sub>	1.25 a 2.0%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5 a 1.2%
CaO	0.3 a 1.7%
MgO	0.1 a 0.5%
MnO	0.06 a 0.12%
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.015 a 0.02%
P	0.007 a 0.04%
S	0.002 a 0.01%
Na <sub>2</sub> O	aprox. 0.15%
K <sub>2</sub> O	aprox. 0.10%
TiO <sub>2</sub>	0.01 a 0.46%*
V	aprox. 0.15%
PbO	aprox. 0.0025%
cuO	aprox. 0.024%
SnO <sub>2</sub>	aprox. 0.015%
ZnO	aprox. 0.02%
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	aprox. 0.002%

\* Este elemento en el hierro esponja SL/RN Dominicano sería --  
aproximadamente 9 a 11.5%

Grado de metalización X fe(total) = porcentaje de  
hierro metálico

#### CUADRO VI

*Rango de composición química  
del hierro esponja*

Nota: Esta composición podría ser la adecuada, aunque  
puede variar en rangos aceptables para la pro-  
ducción de fundiciones.

Esta composición puede variar en la mayoría de los -- casos y en ocasiones varía de embarque a embarque, pero se -- mantiene dentro del grado de utilización para la obtención de fundiciones de diferentes tipos. En la mayoría de los casos, el contenido de hierro y grado de metalización del hierro esponja se aproxima a los valores superiores en tanto que los -- elementos de ganga y las impurezas se acercan a las especificaciones más bajas.

El análisis descrito en el cuadro anterior muestra -- que el producto satisface específicamente los requerimientos de material de carga y/o diluyente para la producción de hierro dúctil con grafito modular. Los niveles de estabilizadores de perlita y carburo en el hierro dúctil exigen un estricto control; los elementos residuales que producen grafitos -- en copos y vermicular deben separarse lo más completamente posible. El hierro esponja tiene el porcentaje de pureza suficiente; podría tener el bajo grado de niveles de aquellos elementos que le dificulten la formación del grafito esferoidal, lo que le haría un material de carga predilecto para hierro, de base dúctil y el bajo nivel de estabilizadores de perlita, como el manganeso, permiten la producción de calidades de hierro dúctil, ferrítico, en forma de fundiciones.

En ciertas ocasiones, se pueden producir piezas fundidas difíciles, el hierro esponja virgen es altamente beneficioso para la producción de fundición gris, fundición maleable y

acero fundido, aunque para la fundición gris se tendría que contar con un muy bajo contenido de titanio y aluminio, así que tal vez nuestro hierro esponja no sea muy bueno para producir fundiciones donde se requiera de bajo contenido de titanio sino que se puede extraer este elemento por la escoria y luego procesarlo a fin de obtener el titanio en forma de bióxido (comercialmente muy aceptable en el mercado). Para esto se tienen que realizar investigaciones más exhaustivas; aunque considero que sí podría ser rentable montar una planta de hidrólisis para la obtención de bióxido de titanio, ya que va a ayudar a afirmar el proyecto de la miniplanta siderúrgica.

Volviendo a lo anterior, la principal diferencia entre el hierro esponja y el material convencional de fundición -chatarra- es el contenido de ganga y óxido de hierro residual, principalmente en forma de wustita (Feo), así como también las distintas características de manipulación, almacenaje y carga.

Como se conoce, el origen del mineral de hierro es lo que va a determinar la composición final del hierro esponja, el proceso de reducción directa y específico, condiciones de operación durante la reducción y grado de oxidación antes de cargarse el horno. Para aplicaciones en fundición, el contenido de ganga tiene que ser bajo. El aumento de la escoria que se obtiene durante la fusión del hierro esponja no es particularmente objetable\* en el cubilote. Este horno está di-

señado para realizar una separación efectiva entre el metal líquido y la escoria que se descarga en forma continua durante la colada. La escoria tendría cierta importancia si el hierro esponja se utilizara como material de carga en hornos de inducción del tipo de crisol; sin embargo, casi la totalidad de las fundiciones con hornos de inducción que, en el presente, usan hierro esponja no han notificado sobre cantidades extras objetables de escoria.

Por métodos ya comprobados, se indica que las cargas mixtas con cerca de 10 a 15% en peso de hierro esponja usado como diluyente pueden utilizarse en hornos de inducción sin escoriado intermedio. Ahora, si se hace de manera regular, la carga de hierro esponja puede realizarse en mejor forma, usando un método de carga continua (Observar figura 13). La parte de chatarra de la carga debe fundirse primero para que forme una laguna de metal líquido dentro de la cual se carga el hierro esponja. La otra alternativa es mantener un resto de metal líquido en el horno y cargar el hierro esponja en esta laguna de metal líquido. En ambos casos es necesario escoriar antes de cada colada.

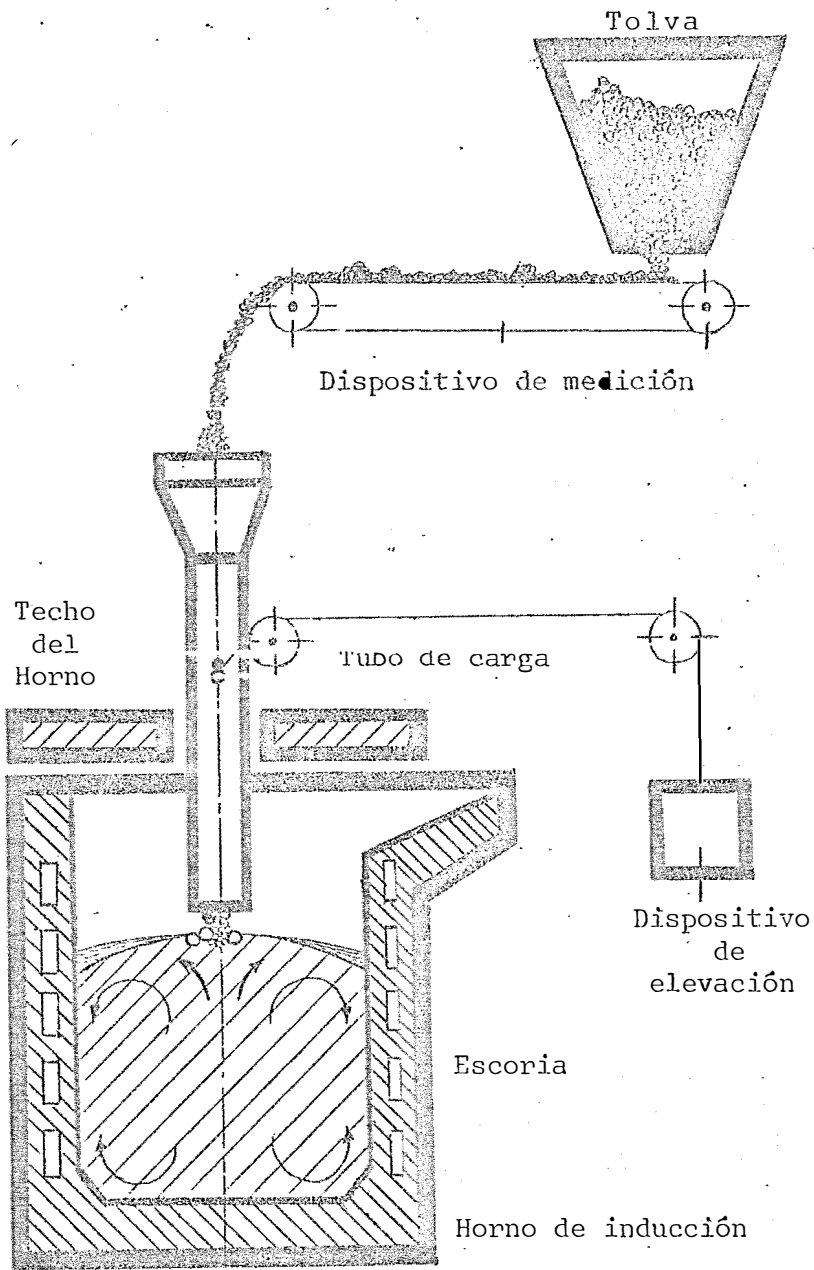


FIGURA 13

Método de carga continua para hierro esponja en hornos de inducción

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

Desde el punto de vista económico y práctico, las miniplantas siderúrgicas se pueden considerar como el camino ideal para ayudar al desarrollo tecnológico de un país como República Dominicana que necesita incrementar su desarrollo industrial actual para, de esa manera, aliviar la economía nacional.

Las condiciones económicas que presenta el país para que pueda hacerse posible la instalación de dicha miniplanta son críticas, pero las demandas de productos siderúrgicos cada año más elevadas y la existencia en el país de algunas de las materias primas, son capaces de acelerar el mencionado proyecto.

Por otro lado, se puede asegurar que se encuentra vigente el proceso adecuado, para reducir el mineral de hierro en cantidades industriales, que tiene el país (arenas ferrotitaníferas o Ilmenita), dicho proceso es el "SL/RN" que utiliza una variada gama de materias primas, especialmente mineral de hierro y combustibles.

Con una producción de 200,000 TM por año se podría calcular que la vida de estas arenas ferrotitaníferas oscila entre 15 y 20 años.

Otras de las condiciones que hacen posible la ---  
producción de hierro y acero en el país son las ventajas --  
que presenta el horno eléctrico de arco con la utilización  
del hierro esponja para producir acero, lo mismo que el ---  
horno de cubilote y el horno de inducción para producir fun  
diciones.

R E F E R E N C I A S

1. F. Luth and H. Koning  
The Planning of Iron and steelworks  
Third Edition  
July, 1967.
  
2. T. R. Meadowcroft and J. K. Brimacombe  
Research & Development Dept.  
The Steel Company of Canadá, Ltd  
Hamilton, Ontario, Canadá  
Dept. of Metallurgy & Materials Science  
University of British Columbia  
Vancouver, B.C., Canadá
  
3. The SL/RN Direct Reduction Plant at  
Griffith Mine  
Ontario, Canadá.
  
4. J. G. Sibakin  
Development of the SL Direct Reduction Process  
Yearbook of the American Iron and Steel Institute  
1962, pp 187-228.



5. M. J. Fraser and C. R. Grigg .

The SL/RN Process Its Place in the Iron and  
Steel Industry

The Engineering Journal

(Engineering Institute of Canada)

Vol. 48, No. 6, June 1965, pp 29-34.

6. K. Meyer, C. Heitmann, W. Janke

The SL/RN Process for Production of Metallized  
Burden

Journal of Metals

Vol. 18, No. 6, June 1966, pp 48-52.

7. J. G. Sibakin et al

Electric Arc Steelmaking with continuously  
Charged Reduced Pellets

Journal of Iron and Steel Institute

Vol. 205, Oct. 1967, pp 1005-1017.

8. J. G. Sibakin et al

Utilization of SL/RN Reduced Pellets in  
Electric Arc Furnaces

Journal of Metals

Vol. 20, No. 5, May 1968, pp 108-114.

9. J. A. Peart and F. J. Pearce  
The Operation of a Commercial Blast Furnace  
with a Prereduced Burden  
Journal of Metals  
Vol. 17, No. 12, Dec. 1965, pp 1396-1400.
  
10. J. A. Peart and F. J. Pearce  
Prereduced Burdens in the Blast Furnace Process  
Presented at Congres International sur la  
Production et l'utilisation des Minerais Reduits  
Evian, May. 1967.
  
11. H. Sperl and S. Eisen  
The new Mini-Steelworks of the Georgetown  
Texas Steel Corporation in Beaumont  
July, 1977, pp 686-688.
  
12. J. Apraiz Barreiro  
Fabricación de Hierro, Acero y Fundiciones  
Tomos I y II  
Editorial Urmo  
España, 1978.
  
13. J. A. Vallomy  
La Miniacería Eléctrica Moderna  
Análisis del proyecto desde el punto de  
vista operativo  
Instituto Latinoamericano del Hierro y el Acero (TIAFA)

14. Miniplantas Siderúrgicas Alternativa Válida  
en América Latina  
Instituto Latinoamericano del Hierro y el Acero  
(ILAFA) Nov. 1979.
  
15. Uso y Comercialización del Hierro Esponja  
Instituto Latinoamericano del Hierro y el Acero  
(ILAFA) 1977.
  
16. J. Latapí  
Compendio de Términos Siderúrgicos Básicos  
Tercera Edición 1978  
Altos Hornos de México, S.A.
  
17. E. Meléndez  
Apuntes Siderúrgicos I  
Universidad Autónoma Metropolitana.
  
18. W. B. Pietsch y R. P. Kreimendahl  
Uso del Hierro Esponja en la Elaboración del Hierro  
Instituto Latinoamericano del Hierro y el Acero  
(ILAFA) 1977, pp 233-239.
  
19. Manual de Proyectos de Desarrollo Económico  
Estudio preparado por el Programa CEPAL/AAT de  
capacitación en materia de desarrollo económico  
Naciones Unidas, México D.F. Dic. 1958.

20. R. J. Sarjant y E. S. Grumell

La Utilización Eficiente de los Combustibles

Editorial Aguilar, S.A.

Ediciones Madrid, 1949.