

iluminación, etc), entonces es necesario construir nomogramas separados para las condiciones diurnas y nocturnas.

En conclusión podemos señalar que el nomograma debe renovarse periódicamente, en primer lugar considerando el progreso técnico, ya que como demuestra la experiencia, la

productividad de los equipos aumenta en 3-4 % cada año y en segundo lugar por causas de cambios en las condiciones de trabajo del complejo de carga-transporte, (variación en la organización del trabajo, cambio de equipos, condiciones minero geológicas, etc).

CDU: 622.778

## ESTUDIO SOBRE LA UTILIZACION SIDERURGICA DE LA MENA

### MAGNETITICA DEL SECTOR CONCORDIA

C.Dr. Ing. Luis L. García Sánchez, CIME. Ing. Tania Rodríguez Fernández, CIPI. C.Dr. Ing. Widodo Suwardjo, CIME.

RESUMEN

ABSTRACT

Con vistas a su utilización en la producción de aglomerados (sinter o pellets), se estudia el beneficio de la mena magnetítica del sector "Concordia" del yacimiento Hierro Santiago. Se dan las características principales de la muestra tecnológica, la composición química y granulométrica de los concentrados de hierro obtenidos.

El esquema de beneficio recomendado, que incluye separación magnética seca y húmeda permite obtener un concentrado de 64,9 % Fe con una extracción del hierro del 90,1%. Las características químicas y granulométricas lo hacen factible para la producción de sinter metalúrgico para su carga al alto horno.

Mediante la molienda y separación magnética de este concentrado se obtuvo un superconcentrado de 69,9 % Fe, el que por sus características metalúrgicas se puede emplear en la producción de pellets metalizados por la vía de la reducción directa para su posterior carga en hornos de arco eléctrico.

Se brinda una evaluación técnico económica sobre el posible empleo de estos aglomerados en la industria siderúrgica nacional.

Beneficiation of the magnetitic ore from the "Concordia" sector of the Santiago iron deposit is being considered for use in the production of agglomerates (sinter or pellets).

Main features of the technological sample, as well as, the chemical and granulometric composition of the iron concentrates obtained are also given.

The recommended beneficiation-plan, which includes dry and wet magnetic separation, allows to obtain a 64,9 % Fe concentrate, with a 90,1 % of iron extraction. The chemical and granulometric features of this concentrate make it suitable for the production of metallurgical sinter to be fed into the blast furnace.

Through magnetic grinding and separation of this concentrate, it was obtained a 69,9 % superconcentrate, which, by its metallurgical characteristics, can be used in the production of metalized pellets via Direct Reduction for its later feeding into Electric-Arc Furnaces.

Last but not least, it is given a technical and economical evaluation of the possible use of these agglomerates in the national siderurgical industry.

#### OXIDO DE NIQUEL GRANULAR

Para la producción de aceros inoxidable en hornos de arco eléctrico, se recomienda adicionar el óxido de níquel granular, colocándolo en el medio de la carga fría, junto con la adición del ferrocromo alto carbono y sobre la chatarra ligera.

Se reduce a níquel metálico, durante la fusión de la carga, incorporándose totalmente a la solución.

Este producto se encuentra libre de impurezas perjudiciales como arsénico, plomo, estaño, bismuto, antimonio, etc.

Su contenido de oxígeno ofrece ventajas tecnológicas importantes como:

Reducción del tiempo de fusión.

Disminución del consumo de energía eléctrica durante la fusión.

Aumento de la temperatura del baño durante la fusión.

Promoción de la ebullición del baño.

Descarburación del metal, lo que permite una mayor utilización del ferrocromo alto carbono, de bajo costo, en la carga.

#### GRANULAR NICKEL OXIDE

When producing stainless steel in electric arc furnaces it is recommended to place CUBANIQUEL GRANULAR NICKEL OXIDE along with the high-carbon ferrochromium in the middle of the cold charge on top of the light scrap.

Is reduced to metallic nickel during meltdown, passing completely into solution.

It is free from such harmful impurities as Arsenic, Lead, Tin, Bismuth, Antimony, etc.

Its Oxygen content offers important technological advantages, including:

Shortening meltdown time.

Lowering energy consumption during meltdown.

Increase bath temperature during meltdown.

Promotion bath boil.

Carbon scavenging allowing in turn greater use of low-cost, high-carbon ferrochromium in the initial charge.

Somewhat smaller requirements of oxygen during the blowdown stage.

#### OXIDO DE NIQUEL GRANULAR GRANULAR NICKEL OXIDE

##### GUARANTEED ANALYSIS AS PER NC 44-04 ANALISIS GARANTIZADO SEGUN NC 44-04

ELEMENT  
ELEMENTO

Ni	76,00 Min
Co	1,30 Max
Fe	0,70 Max
S	0,03 Max
C	—
Cu	—

TYPICAL ANALYSIS  
ANALISIS TIPICO

%	77,00
%	0,90
%	0,30
%	0,02
%	0,015
%	0,02



## INTRODUCCION

La base de materia prima ferrosa de nuestro país está compuesta por residuos industriales (colas) de las plantas productoras de níquel de la provincia de Holguín, algunas reservas de minerales magnetíticos del yacimiento Hierro Santiago y los escombros lateríticos de los yacimientos de níquel.

Con vistas a incrementar las reservas de minerales magnetíticos y enmarcado en el Programa de Desarrollo siderúrgico del país, se ejecuta un amplio plan de búsqueda y prospección geológica en la zona del yacimiento Hierro Santiago, donde han sido estudiadas y se encuentran en categoría industrial,

las reservas de los sectores La Grande y Chiquita.

El objetivo de este trabajo es definir la tecnología de preparación y beneficio premetalúrgico de la mena magnetítica del sector "Concordia", debido a que en estado natural no cumple los requisitos para su empleo siderúrgico por su elevado contenido de minerales formadores de escoria y una relativamente, baja ley de hierro.

Por las características de la mena se utilizó el beneficio magnético por vía seca y húmeda, estudiándose comparativamente dos esquemas de beneficio.

### CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA TECNOLÓGICA

En la muestra tecnológica No. 12 del sector "Concordia" se detectó la presencia de dos tipos de menas:

- . magnetítica
- . menas propias de skarn.

Por sus peculiaridades texturales, la mena magnetítica se puede dividir en dos tipos fundamentales:

- . menas masivas
- . menas diseminadas.

Las menas masivas componen la parte principal de la mena magnetítica, no así la mena diseminada, que se presenta en el contacto de los cuerpos masivos y las rocas propiamente de skarn. El aumento cuanti-

tativo de los componentes no metálicos, determina la transición de las menas masivas a las de skarn. La magnetita se encuentra en tamaño de grano que oscila entre 0,01-1,72 mm, preponderantemente entre 0,01-0,1 mm.

Entre los minerales acompañantes se encuentran: granates, epidota, clorita, plagioclasa, anfíboles, wollastonita, pirita, pirrotina, calcopirita, cobre nativo, covelina e hidróxidos de Fe.

La composición química de la muestra tecnológica se presenta en la tabla 1.

TABLA No.1 COMPOSICION QUIMICA DE LA MUESTRA TECNOLÓGICA

Elementos y óxidos	Contenido, %	Elementos y óxidos	Contenido, %
Fe total	40,22	CaO	1,21
FeO	17,37	MnO	0,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	38,11	NiO	0,00
SiO <sub>2</sub>	19,53	CoO	0,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,70	ZnO	0,00
S	0,11	Cu	0,05
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,01	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,04
Na <sub>2</sub> O	0,69	PbO	trazas
K <sub>2</sub> O	0,17	TiO <sub>2</sub>	0,26
MgO	2,54	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,50

\* Valor calculado

Por el contenido de hierro la mena de este sector se puede clasificar como una mena magnetítica de contenido medio [ 1 ]. Como elementos nocivos se encuentran en pequeñas cantidades el azufre y el fósforo.

### DETERMINACION DE LAS FRACCIONES MAGNÉTICAS DE LA MUESTRA

La mena cabeza molida (100 % menor 0,1 y 56 % menor 0,074 mm) se sometió a análisis de las fracciones magnéticas en un análisis electro-magnético tubular (tubo Davis) del tipo 25B-SE, variando la intensidad del campo entre 40-120 KA/m. Los resultados de este análisis se incluyen en la tabla 2.

Se observa que la fracción magnética 1 tiene un alto contenido de hierro (66,5 %) con un 89,24 de extracción de hierro.

Las operaciones posteriores de limpieza de las fracciones no magnéticas, a pesar del incremento de la intensidad del campo magnético, resultan ineficaces ya que el incremento de la recuperación del hierro es sólo de 1,42 % y el rendimiento del 3,1 %, mientras la ley en hierro disminuye a 2,53 %. Se corrobora que la mena está compuesta principalmente de magnetita masiva, y que no requiere altas intensidades del campo magnético para su separación.

### DESARROLLOS EXPERIMENTAL

Se estudiaron dos esquemas de beneficio; el primero considerando la separación magnética combinada (seca y húmeda) con granulometría 6-0 mm (esquema I) y el segundo con separación magnética de la mena molida (100 % fracción - 0,1 y 56 % - 0,074 mm).

TABLA No.2 ANALISIS DE LA MENA DE CABEZA CON SEPARACION DE PRODUCTOS VARIANDO LA INTENSIDAD DEL CAMPO MAGNETICO

Intensidad magnética, kA/m	Operación	Productos	Indices del beneficio, %		
			$\gamma$	$\beta$	$\epsilon$
40	Análisis magnético de la mena inicial	Frac. mag.1	54,54	66,51	89,24
		frac.nomag.1	45,46	9,62	10,76
		Mena inicial	100,00	40,65	100,00
56	Análisis magnético fracción no magn.1	Frac. mag. 2	1,18	25,65	0,74
		frac.nomag.2	44,28	9,20	10,02
		frac.nomag.1	45,46	9,62	10,76
88	Análisis magnético fracción no mag.2	Frac. mag. 3	0,90	17,33	0,39
		frac.nomag.3	43,38	9,03	9,63
		frac.nomag.2	44,28	9,20	10,02
120	Análisis magnético fracción no magn.3	Frac.mag. 4	0,98	12,09	0,29
		frac.nomag.4	42,20	8,96	9,34
		frac.nomag.3	43,38	9,03	9,63
Balance total		Frac.magn.	57,60	63,98	90,66
		Frac.nomagn	42,40	8,96	9,34
		mena inicial	100,00	40,65	100,00

Beneficio de la mena según el esquema I

Teniendo como base las características de la muestra tecnológica y el resultado de las pruebas preliminares de separación magnética seca, se estudió el esquema inicial de beneficio que se muestra en la figura 1. Las condiciones de operación y los índices de beneficio se incluyen en la tabla 3.

Del análisis de los datos de la tabla se observa que mediante la molienda del concentrado grueso ( $K_2$ ) y su posterior separación magnética con intensidad del campo de 64 KA/m se obtiene un concentrado de alta ley en hierro con satisfactorios índices del beneficio.

La molienda de los productos medios permite incrementar el aprovechamiento de la mena, obteniéndose un concentrado de 67,47 % Fe y una extracción el 10,52 %. Los índices del beneficio para el esquema completo son satisfactorios, la eficiencia del beneficio calculada según [ 2 ] es de 83,82 .

ESQUEMA I

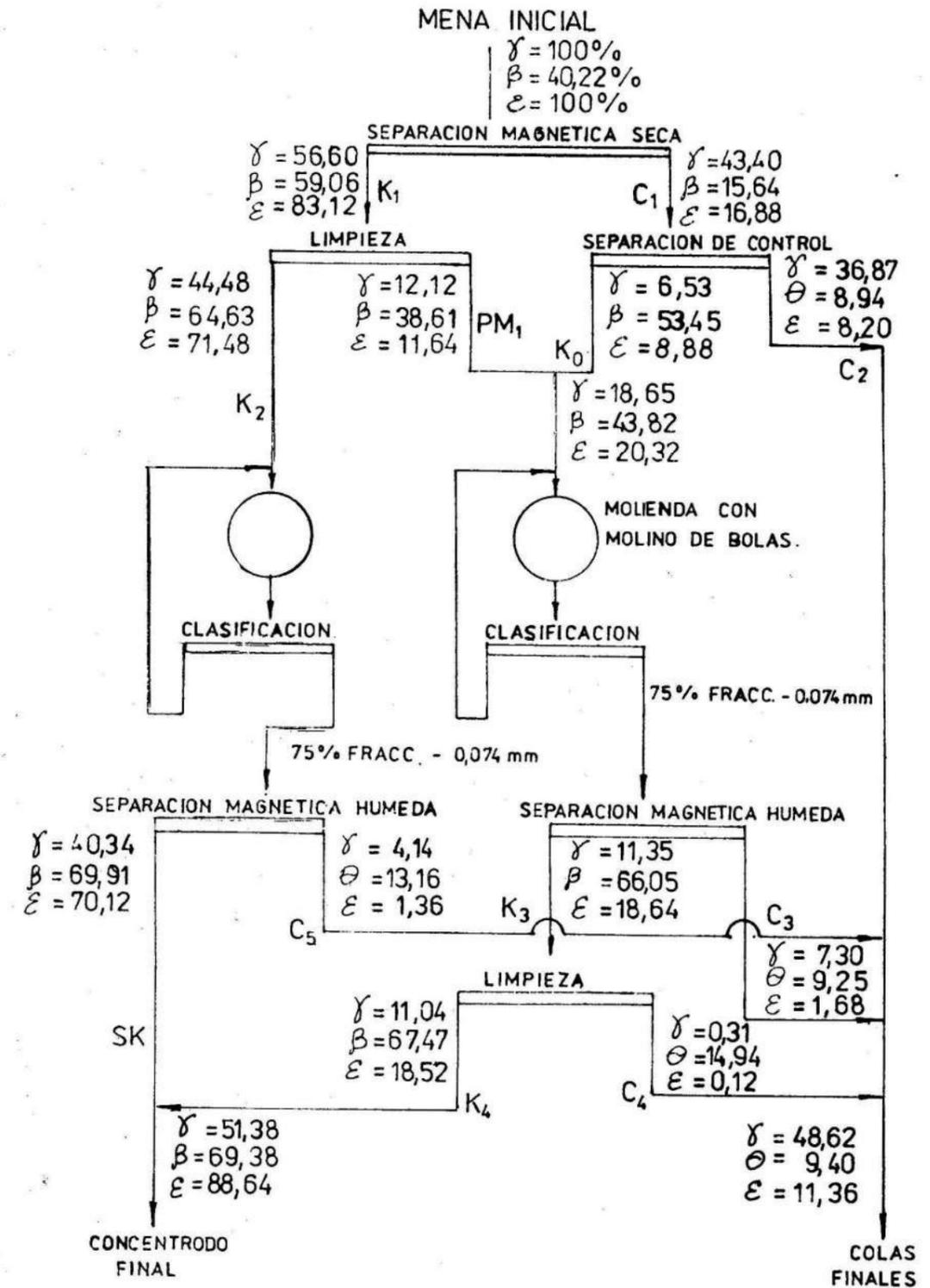


FIG.1 ESQUEMA DE BENEFICIO POR SEPARACION MAGNETICA COMBINADA.

**TABLA Nº.3 INDICES DE BENEFICIO DE LA MENA DEL SECTOR CONCORDIA DE ACUERDO AL ESQUEMA DE LA FIGURA 1**

Condiciones de operación	Productos	Indices de beneficio, %		
		γ	β	ε
Separación magnética seca, intensidad del campo 38 kA/m	K <sub>1</sub>	56,60	59,06	83,12
	C <sub>1</sub>	43,40	15,64	16,88
	cabeza	100,00	40,22	100,00
Limpieza del concentrado magnético K <sub>1</sub> en las mismas condiciones de operación	K <sub>2</sub>	44,48	64,63	71,48
	PM <sub>1</sub>	12,12	38,61	11,64
	K <sub>1</sub>	56,60	59,06	83,12
Separación magnética seca de la cola 1 en las mismas condiciones	K <sub>C</sub>	6,53	53,45	8,68
	C <sub>2</sub>	36,87	8,94	8,20
	C <sub>1</sub>	43,40	15,64	16,88
Separación magnética húmeda de los productos PM <sub>1</sub> y K <sub>C</sub> molidos a 75 % fr. - 0,074 mm, I = 76 kA/m	K <sub>3</sub>	11,35	66,05	18,64
	C <sub>3</sub>	7,30	9,25	1,68
	producto mixto	18,65	43,83	20,32
Limpieza del concentrado K <sub>3</sub> por vía húmeda, I = 64 kA/m	K <sub>4</sub>	11,04	67,47	18,52
	C <sub>4</sub>	0,31	14,94	0,12
	K <sub>3</sub>	11,35	66,91	18,64
Limpieza del concentrado K <sub>2</sub> con granulometría de 75 % fr.-0,074 mm I = 64 kA/m	SK	40,34	69,91	70,12
	C <sub>5</sub>	4,14	13,16	1,36
	K <sub>2</sub>	44,48	84,63	71,48
Indices tecnológicos totales	K	51,38	69,38	88,64
	C	48,62	9,40	11,36
	cabeza	100,00	40,22	100,00

\* La velocidad de rotación del tambor magnético seco es de 0,082 m/seg .

El contenido de sílice y alúmina disminuye a medida que se incrementa el contenido de hierro durante el proceso de beneficio.

Debemos señalar, que el módulo sílice/ alúmina ejerce una doble influencia durante la fusión de minerales de hierro en el alto horno .

Cuando la relación es menor que 0,5 su influencia es positiva, pero al aumentar hasta 1,5 es negativa , ya que la escoria que se produce durante la fusión es extremadamente viscosa. Sin embargo, para los valores superiores a 1,5 las escorias adquieren nuevamente las propiedades de fluidez necesarias para la operación normal del alto horno [ 3 ] .

En el concentrado obtenido el módulo sílice/alúmina es siempre superior a 1,5, por tanto éstos responden a los requerimientos modernos de operación del alto horno.

En los óxidos ácidos también se observa una tendencia a su disminución al incrementarse el contenido de hierro en el concentrado; igual comportamiento presentan el azufre y el fósforo.

El contenido de azufre en los minerales y concentrados empleados para la producción de sinter y pelets no debe exceder del 0,6 % , ya que durante los procesos de sinterización y de consolidación de los pelets el grado de eliminación del azufre alcanza el 60-90 % . Los límites del contenido de fósforo en los minerales, sinter y pelets son de 0,07 - 0,25 % . En el caso de producción de arrabios fosforosos para su posterior afino en hornos Tomás o Martín el contenido de fósforo en la carga mineral no debe ser superior al 1,15 % . Durante la producción de los habituales arrabios para ace-

ración se permite la presencia en la carga mineral del alto horno de no más de: 0,50-0,1 % As: 0,1-0,2 % Zn y de Cu hasta 0,2 % .

Sobre la base de lo anterior se puede aseverar que el concentrado no presenta valores altos de elementos nocivos y responde a los requerimientos de la industria siderúrgica.

*Beneficio de la mena magnética según el esquema II*

Con la mena inicial molida ( 100 % en fracción 0,1 y 56 % en fracción-0,074 mm) se preparó una pulpa con un contenido de sólidos del 20 % [ 5 ] en un recipiente con agitación mecánica durante 15-20 min .

La pulpa se alimentó a un separador electromagnético de tambor tipo 120B-SE, dándose dos pases (separación básica y una limpieza) de acuerdo con el esquema de la figura 2 .

Los índices de beneficio obtenidos se incluyen en la tabla 4.

**TABLA Nº.4 INDICES DEL BENEFICIO DE LA MENA DEL SECTOR CONCORDIA SEGUN EL ESQUEMA II**

Condiciones de operación	Productos	Indices de beneficio, %		
		γ	β	ε
Separación magnética húmeda con intensidad del campo de 76 kA/m	K <sub>1</sub>	56,37	65,03	90,20
	C <sub>1</sub>	43,63	9,14	9,80
	cabeza	100,00	40,64	100,00
Limpieza del concentrado K <sub>1</sub> con intensidad del campo de 64 kA/m	K <sub>2</sub>	55,74	65,64	90,03
	C <sub>2</sub>	0,63	11,07	0,17
	K <sub>1</sub>	56,37	65,03	90,20
Indices tecnológicos totales	concentrado	55,74	65,64	90,03
	colas	44,26	9,16	9,97
	cabeza	100,00	40,64	100,00

ESQUEMA II

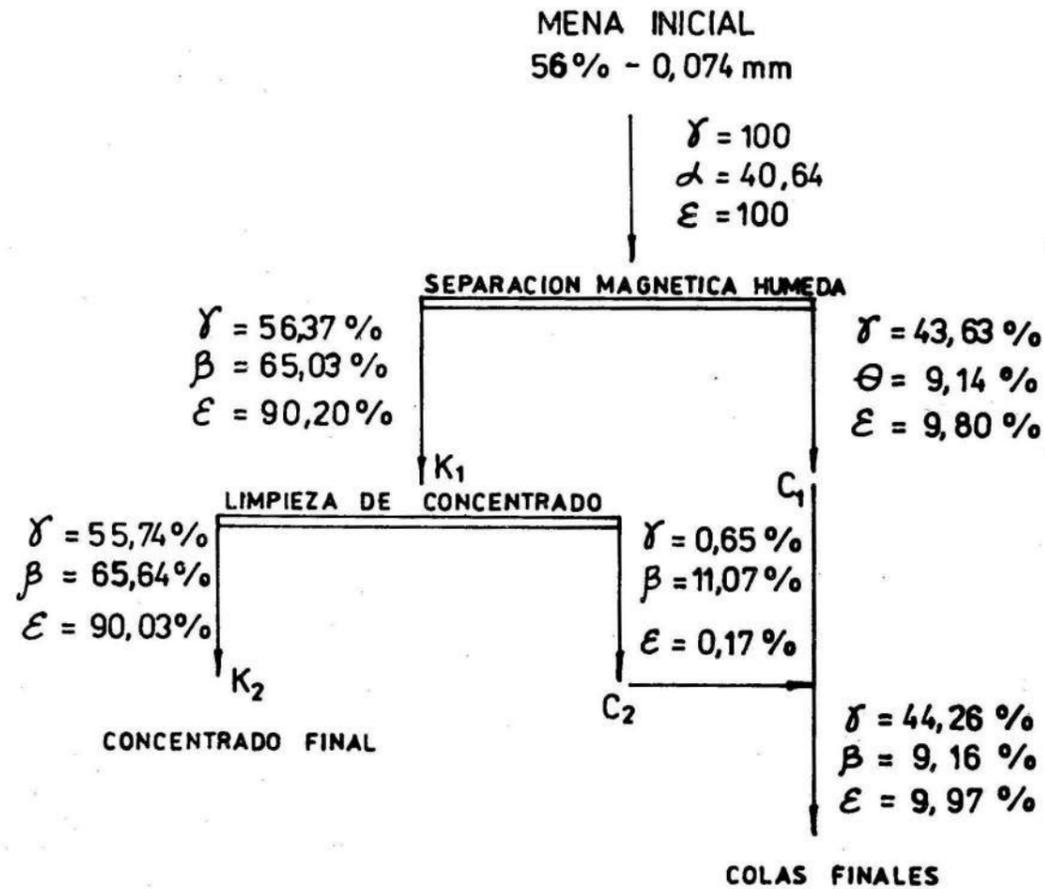


FIG. 2 ESQUEMA DE BENEFICIO POR SEPARACION MAGNETICA HUMEDA.

El análisis de los resultados de la tabla 4 demuestra, que con la operación de limpieza del concentrado, el enriquecimiento no es significativo. Así mismo la efectividad del beneficio en la separación magnética básica es de 77,15, mientras que al realizarse la limpieza asciende ligeramente hasta 78,20 para el esquema general.

Entre las características de los concentrados y colas obtenidas en ambos esquemas de beneficio se puede señalar:

El análisis mineralógico de los productos del beneficio demostró que el concentrado K<sub>2</sub> del esquema I se encuentra un 69 % de magnetita, de la cual el 38 % se encuentra en estado libre [ 6 ] .

El concentrado K<sub>3</sub> posee un mayor porcentaje de magnetita libre (72,0 %), lo que está dado por el grado de molienda, ya que se liberan, los granos de magnetita incluida en otros minerales como epidota, clorita, etc.

Las colas C<sub>1</sub> y C<sub>3</sub> se componen fundamentalmente de los minerales típicos de skarn y fragmentos de roca.

El concentrado K<sub>2</sub> del esquema II presenta un 68 % de magnetita, de la cual el 41 % se encuentra como magnetita libre; en la composición de las colas predominan los fragmentos de minerales típicos de skarn con algunas inclusiones de magnetita muy fina.

Las composiciones química y granulométrica de los concentrados obtenidos se presentan en la tabla 5.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Haciendo un análisis comparativo de los índices de beneficio de ambos esquemas tendremos:

Esquema	$\gamma$	$\beta$	$\epsilon$	$\eta$
I	51,38	69,38	88,64	83,82
II	55,74	65,64	90,03	78,20

Se observa que la eficiencia obtenida para el esquema I es superior en 5,6 % a la obtenida por el esquema II, el contenido de hierro es superior en 3,74 %, aspecto éste de gran importancia en los procesos siderúrgicos. La fineza de este concentrado (75 % en fracción - 0,074 mm), lo hace más recomendable para la producción de pellets, que para la producción de sinter metalúrgico para su carga al alto horno.

La variante de obtención de este superconcentrado de hierro puede ser más atractiva, en caso de destinarse este material a la producción de pellets, a través de la reducción directa y su posterior carga a hornos eléctricos de arco. Los concentrados destinados a la producción de pellets deben contener 85-95 % de fracción- 50 mkm, por tanto existe la posibilidad de realizar una molienda más fina, lo que permitiría liberar un mayor porcentaje de magnetita libre y por consiguiente disminuir los contenidos de ganga a niveles mínimos [ 7 ]. En este caso, incluso se puede estudiar la posibilidad de empleo en la pulvimetalurgia.

TABLA No.5 COMPOSICIONES QUIMICA Y GRANULOMETRICA DE LOS CONCENTRADOS OBTENIDOS EN LOS DIFERENTES ESQUEMAS DE BENEFICIO

Denominación	Esquema I			Esquema II	Esquema III
	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	SK <sub>f</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>f</sub>
<b>Composición química, %</b>					
Fe <sub>total</sub>	64,63	66,05	69,38	65,64	64,92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	62,77	64,22	67,66	63,78	63,17
FeO	26,54	27,06	28,30	26,93	26,61
SiO <sub>2</sub>	4,37	3,52	2,18	3,74	4,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,14	1,25	0,86	1,40	1,16
S	0,035	0,056	0,02	0,047	0,039
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,52	0,34	0,24	0,46	0,48
MnO	0,28	0,29	0,04	0,30	0,28
CaO	3,28	2,22	0,38	2,30	3,06
MgO	0,90	0,80	0,13	0,81	0,88
CaO	0,030	0,042	0,004	0,034	0,032
NiO	0,025	0,033	0,003	0,028	0,027
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,006	0,014	0,001	0,006	0,008
TiO <sub>2</sub>	0,025	0,032	0,004	0,042	0,026
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,001	0,001	-	0,001	0,001
Na <sub>2</sub> O	0,016	0,034	0,005	0,039	0,020
K <sub>2</sub> O	0,020	0,025	0,004	0,020	0,021
ZnO	0,023	0,051	0,009	0,054	0,029
PbO	0,006	0,006	0,001	0,007	0,006
Total	99,987	99,994	99,841	99,998	100,049
<b>Composición granulométrica, % en peso</b>					
- 6 + 3 mm	21,11	-	-	-	16,80
- 3 + 1 mm	33,14	-	-	-	26,38
- 1 + 0,5 mm	11,47	-	-	0,30	9,13
- 0,5 + 0,25 mm	10,57	0,30	0,02	0,90	8,47
- 0,25 + 0,063 mm	15,53	29,33	21,81	42,40	18,35
- 0,063 mm	8,18	70,37	78,17	56,40	20,87

Para la producción de sinter metalúrgico es más racional no procesar el concentrado obtenido de la separación magnética seca en granulometría 6-0 mm y que tiene un contenido relativamente alto de hierro (64,63 %).

Como se observa en las figuras 1 y 2, no es completamente racional la operación de limpieza del concentrado obtenido de la separación magnética húmeda de los productos intermedios PM<sub>1</sub> y K<sub>c</sub>, ya que los valores determinados para la eficiencia del beneficio de ambos esquemas, excluyendo esta etapa, difieren solamente en 1,05 y 0,32 %, respectivamente. Lo anterior se corrobora con los resultados de los análisis de la fracción magnética realizados al mineral de cabeza.

En el estudio técnico económico para la construcción de la Planta Siderúrgica Integrada [ 8 ] se prevé la producción de 1 400 MT anuales de arrabio líquido, a partir del sinter metalúrgico de las colas de Nicaro y los minerales magnéticos; por tanto con vistas a garantizar la producción de sinter con la calidad requerida se recomienda excluir del esquema I la obtención del superconcentrado SK, por considerarse la granulometría muy fina para este tipo de aglomerado.

Sobre la base de lo anterior se obtiene el esquema de beneficio que se incluye en la Figura 3.

Realizando un análisis comparativo de este esquema con el esquema de la figura II tendremos:

Esquema

	γ	β	ε	η
II	56,37	65,03	90,20	77,2
III	55,83	64,90	90,12	77,1

Se demuestra que los resultados obtenidos en ambos esquemas son similares, teniéndose que efectuar en el caso del esquema II una molienda más fina del mineral de cabeza, lo que representa una desventaja desde el punto de vista económico. Además, se debe destacar que el 43,63 % del concentrado del esquema III se encuentra en granulometría superior de 1 mm, mientras que el 96,8 % del concentrado del esquema II posee una granulometría inferior de 0,25 mm.

La carga de minerales o concentrados de hierro muy finos al proceso de sinterización disminuyen la permeabilidad a los gases y la productividad específica [ 9 ].

Considerando estos factores se propone al esquema de beneficio de la figura 3 como el más conveniente para la producción de sinter metalúrgico para su carga al alto horno y el esquema de la figura 1 para la producción de pelets metalizados por la vía de la reducción directa para su carga a hornos de arco eléctrico, ya sea como sustituto parcial de la chatarra o como carga metálica fundamental. Estos pelets metalizados también podrían emplearse en los hornos Martín o en convertidores de oxígeno.

ESQUEMA III

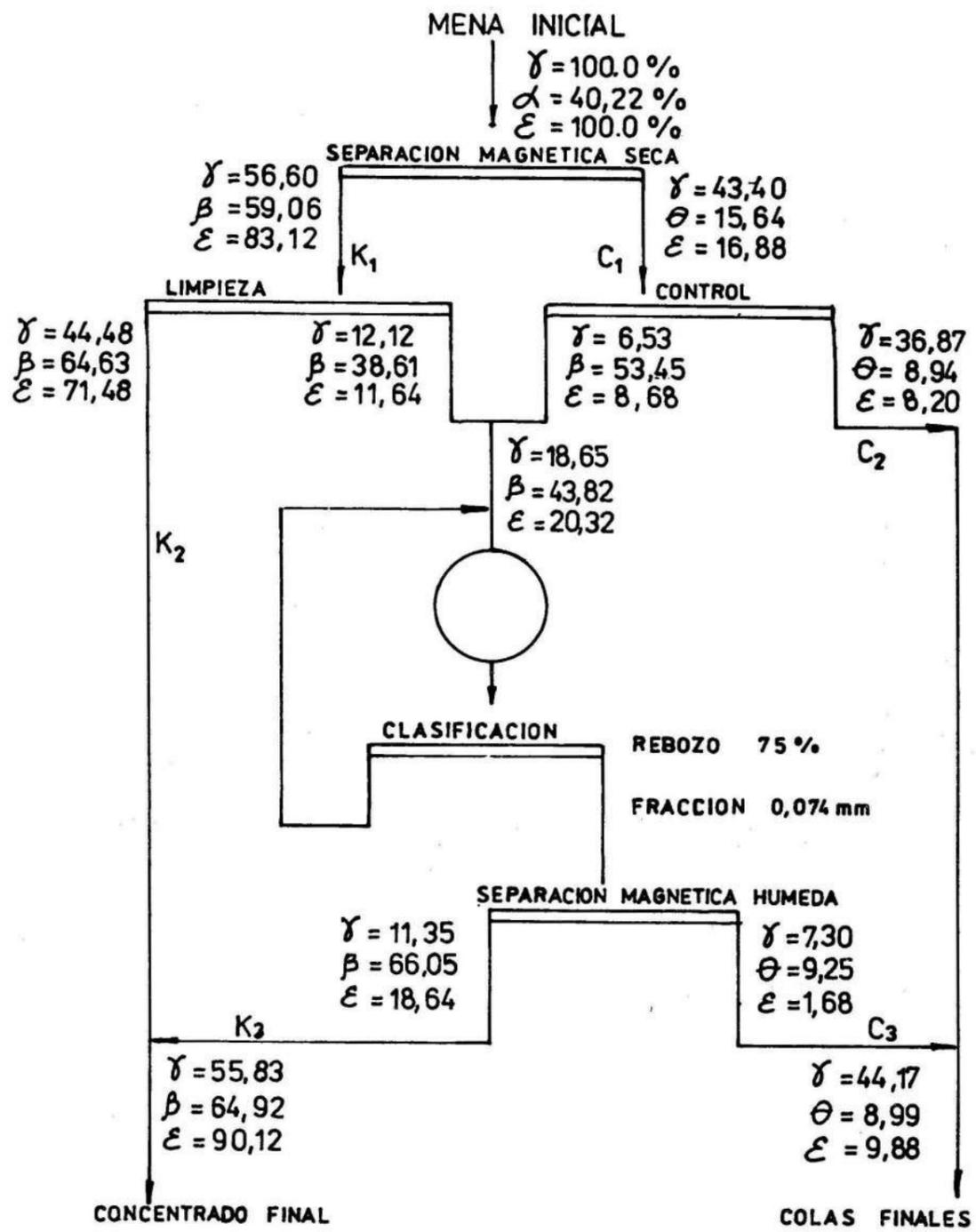


FIG. 3 ESQUEMAS DE BENEFICIO MAGNETICO PROPUESTO PARA LA MENA DEL SECTOR CONCORDIA.

ANALISIS DE LOS POSIBLES ESQUEMAS DE ELABORACION DE ACERO

En lo concerniente a la industria siderúrgica, recordemos que en la actualidad existen dos esquemas fundamentales:

El esquema más extendido consiste en reducir el mineral o aglomerados de hierro, conjuntamente con la fusión del metal en un alto horno, siendo las condiciones físico-químicas muy reductoras, se efectúa una "hiper reducción", (reducción de la totalidad del hierro, carburación y reducción de un cierto número de otros óxidos), lo que conduce a oxidar el metal líquido (arrabio) así producido, en la segunda operación que se realiza en el taller de aceración, generalmente al oxígeno.

Otro método consiste simplemente en refundir las chatarras en horno eléctrico o en otro agregado de fusión análogo; este método no sería comparable al precedente, ya que en lugar de partir de minerales, aquí se parte de un producto de recuperación constituido por la chatarra, pero se puede aproximar al caso anterior efectuando la primera operación de prerreducción de los minerales, buscando la eliminación de la mayor parte del oxígeno del mineral a condición de que el mineral o el concentrado correspondiente sea bastante rico en hierro y contenga poca ganga, se obtiene así una chatarra sintética.

En la figura 4 se examina el diagrama de conjunto para una planta siderúrgica integrada por la vía convencional, la cual consume relativa-

mente poca energía eléctrica y es más bien excedentaria en gas. En la figura 5 se incluye el esquema de una planta siderúrgica basada en la reducción directa (proceso MIDREX), la cual es un importante consumidor de gas natural (o más exactamente de gas reductor obtenido de la reformación del gas natural) y la energía eléctrica.

Para la confección de ambos diagramas se calcularon los consumos de materiales y energéticos sobre la base de los concentrados de Concordia obtenidos por los esquemas de beneficio de las figuras 1 y 3 respectivamente. En el esquema por la vía convencional se considera el empleo de un 80 % de la carga al alto horno con concentrado de Nicaro y un 20 % de concentrado de Concordia.

Los datos concernientes a los costos específicos de inversión para ambos esquemas se estimaron sobre la base de los trabajos 10-13.

En la tabla 6 se incluye la estructura del costo de la tonelada de acero líquido calculada de acuerdo con las variantes analizadas.

Del análisis de la tabla 6, se ve claramente que:

La siderurgia convencional, con sus grandes unidades compite ventajosamente para volúmenes de producción superiores de 2,0 millones de toneladas anuales; aunque en nuestro caso (1,2 MMT) los costos de inversión son algo superiores para la variante convencional 340 MMP contra 290 MMP en la variante de reducción

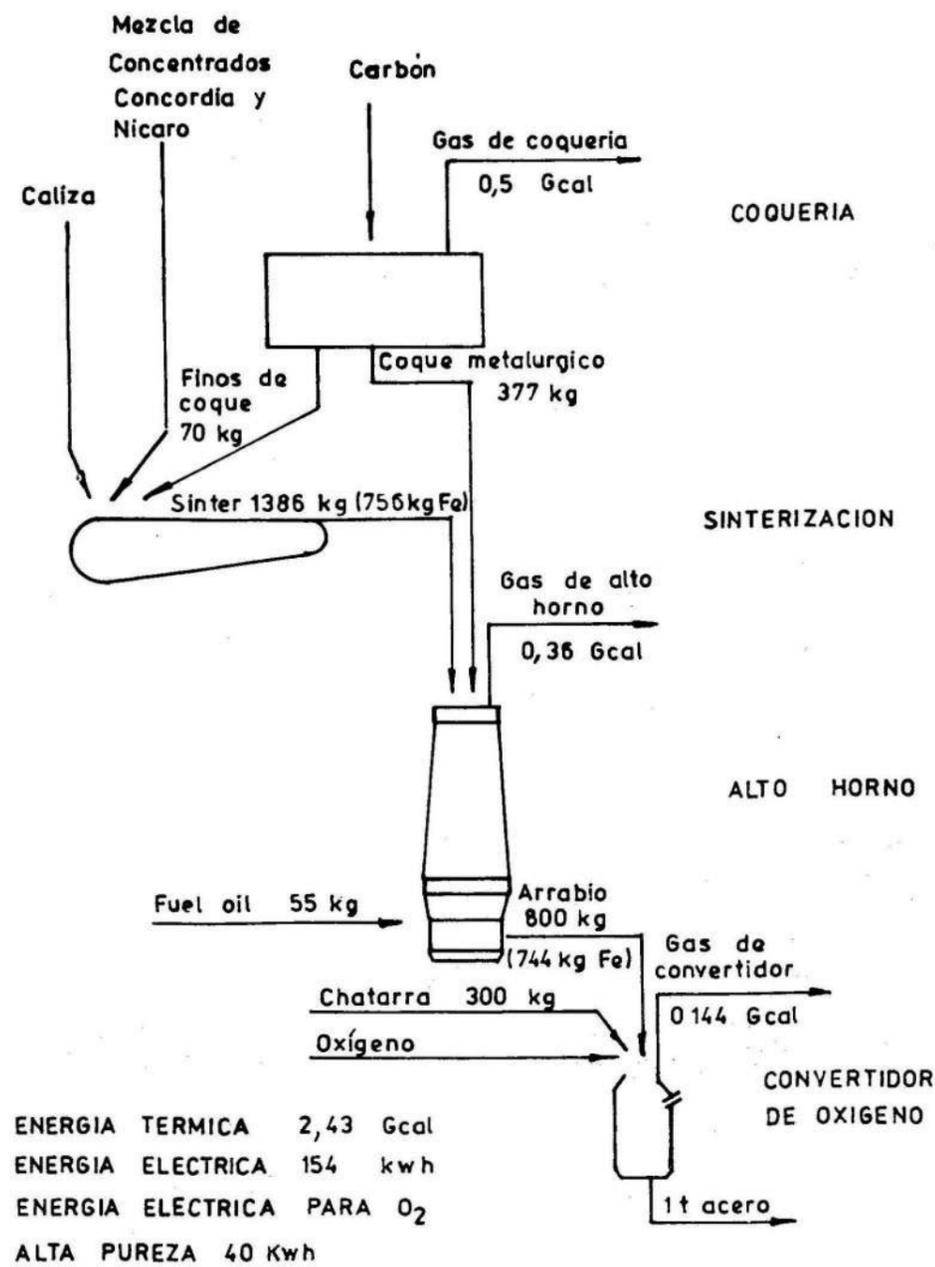


Fig. 4. Esquema de elaboración convencional del acero empleando 80% de concentrado de Nicaro y 20% concentrado Concordia

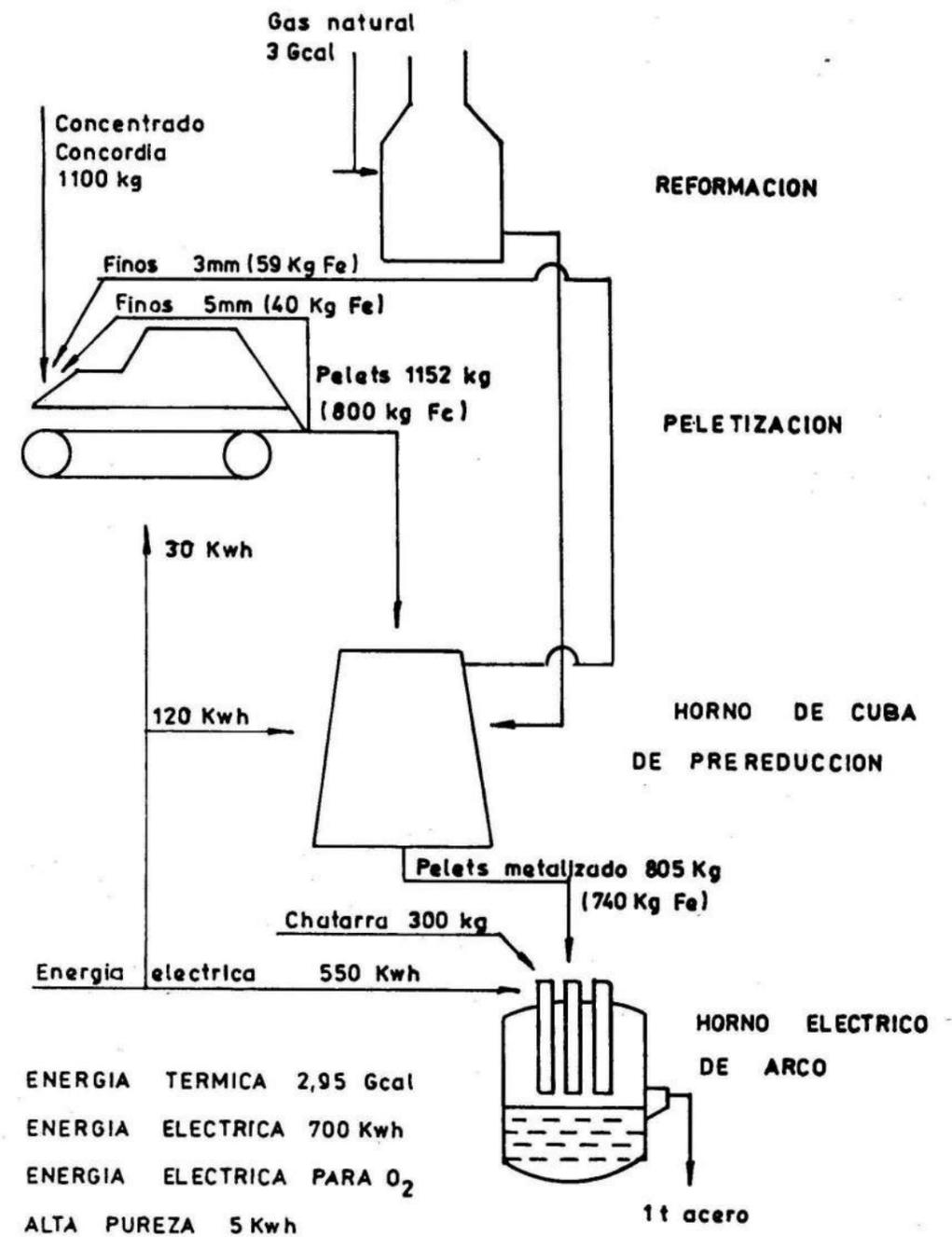


Fig. 5. Esquema de elaboración del acero por pre-reducción y fusión en horno de arco a partir de concentrado Concordia.

TABLA No.6 ESTRUCTURA DEL COSTO DE LA TONELADA DE ACERO LIQUIDO  
(EN PESOS POR TONELADA METRICA)

Concepto	Alto horno oxiconvertidor	reducci6n directa horno el6ctrico
<b>1. Materiales b6sicos y complementarios</b>		
744 kg Fe cont. en el arrabio (a 9,25 cent/unidad Fe)	6,85	-
740 kg Fe cont. en el hierro esponja (25 cent/un. Fe)		18,50
300 kg chatarra (80 p/t)	24,00	24,00
Aditivos	6,25	6,25
Sub total	37,10	48,15
<b>2. Energ1a</b>		
377 kg coque (86,65 p/t)	32,67	-
70 kg de finos de coque (52 p/t)	3,64	-
2,95 Gcal de gas natural (6 pesos/Gcal)	-	17,70
55 kg fuel oil (178 p/t)	9,79	-
705 Kwh (6,5 cent/Kwh)	-	45,83
194 Kwh (6,5 cent/Kwh)	12,61	-
Sub total	58,71	63,53
<b>3. Salarios</b>		
En base de 1 hora/t acero (a 1,00 pesos/h)	1,00	1,00
<b>4. Reparaciones y mantenimiento</b>		
En base del 5 % inversiones	16,25	14,50
<b>5. Amortizaciones y cargos financieros</b>		
En base del 15 % inversiones	48,75	43,50
Total	161,81	170,68

directa-horno el6ctrico (sin incluir la colada continua).

La v1a prereduci6n-acer1a el6ctrica est1 doblemente afectada por el elevado costo de la preparaci6n de la materia prima (peletizaci6n) por una parte, y por las unidades relativamente peque1as, de prereduci6n.

El mineral de hierro, tiene una importancia relativa, ya que se precisan aproximadamente las mismas cantidades de hierro contenido en el mineral, en ambos esquemas. Sin embargo, considerando las diferentes calidades exigidas por estos dos tipos de esquemas tecnol6gicos, pare-

ce probable que el costo de la carga ferrifera sea en general m1s elevado cuando se emplea la prereduci6n.

Los consumos energ6ticos (el6ctricidad y gases reductores) son muy importantes en el proceso de fusi6n en horno el6ctrico de minerales prereducidos; en el esquema convencional el fundamental aportador de energ1a es el deficitario coque metal6rgico. Sin embargo la factibilidad econ6mica en ambos casos est1 dada por la posibilidad de obtener energ1a barata en las condiciones espec1ficas de nuestro pa1s.

#### CONCLUSIONES

Se demuestra la posibilidad de beneficiar la mena magnet1tica del sector Concordia por sencillos m6todos de separaci6n magn6tica seca y h1meda, obteni6ndose satisfactorios indices del beneficio.

Los concentrados de hierro obtenidos por sus caracter1sticas qu1micas y f1sicas responden a los requerimientos modernos de la producci6n

de aglomerados (s1nter y/o pelets) y su posterior fusi6n en agregados metal6rgicos.

La determinaci6n de la v1a m1s ventajosa para la producci6n de acero requiere de un detallado an1lisis de factibilidad t6cnico-econ6mica, as1 como de la disponibilidad del tipo de agente reductor que ser1 empleado.

1. V.A. GLASKOSKY.: Principios geológico-mineralógico y su valoración tecnológica en los yacimientos de hierro, 1954.
2. Yu.I. AZBEL y Otros.: Manual de beneficio de minerales, Moscú, "Niedra", 1982 Pag. 11-12, ruso.
3. V.I. KARMAZIN: Beneficio de minerales ferrosos. Moscú, "Niedra", 1983, Pag. 141 ruso.
4. TAGGART, A.F. Handbook of mineral dressing. E.K., 1964, Cap. 2, Pag. 134.
5. SUWARDJO W, GANDARILLA E.: Beneficio de minerales ferrosos cubanos, Boletín CIME, 1983.
6. T. RODRIGUEZ, L. GARCIA y Otros: Investigación sobre la tecnología de beneficio de la mena magnetítica del sector Concordia. Informe Técnico N.º.6, CIPIMM febrero 1985.
7. O.S. BOGDANOV y Otros: Manual de beneficio de minerales. Plantas de beneficio. Moscú, "Niedra", 1984, Pag. 147-151 ruso.
8. Fundamentación técnico-económica de la construcción de la planta Siderúrgica Integrada. Lengiprometz, Leningrado, 1976.
9. E.F. VEGMAN: Breve manual del fundidor de alto horno. Moscú, "Metalurgia", 1981, Pag. 81-89. ruso.
10. KLAUS HERBERT: Direct reduction by comparison with the classical method of steel production. MPT Metallurgical Plant and Technology, 1979, 1, vol. 2, Pag. 34-42.
11. Rev. Perfiles Tecnológicos de la industria siderúrgica. Serie "Desarrollo y transferencia de tecnología", ONUDI, N.º. 11.
12. J. ASTIER: Perspectivas ofrecidas por la energía nuclear en siderurgia. Rev. Latinoamericana de Siderurgia, N.º. 184 agosto, 1985.
13. ROBERT S. BARNES: Energía nuclear y la industria siderúrgica. Siderúrgica Latinoamericana, N.º. 203, marzo 1977.

CDU: 669.243:622.788

## ELABORACION DE LOS MINERALES OXIDADOS DE NIQUEL POR EL ESQUEMA CARBONATO-AMONIACAL

Ing. José Castellanos Suárez. Ing. Casto R. Castillo. Ing. Idalberto García.  
Centro de Investigaciones para la Industria Minero Metalúrgica.

RESUMEN

ABSTRACT

Se ofrece un estudio científico-técnico sobre la reducción de los minerales oxidados de níquel, que permite establecer la factibilidad del procesamiento del mismo, mediante una tecnología más perfeccionada que la Caron. Se contempla el fundamento teórico de la reducción concluyéndose que el mineral aglomerado no afecta la extracción de los metales, pero permite alcanzar una reducción más uniforme de la masa mineral evitando la sobrerreducción. La posibilidad de procesar el mineral aglomerado posibilita el empleo de equipos de alta productividad y eficiencia, por lo que se logran índices técnico-económicos más altos.

A technical-scientific study on nickel oxidized ores reduction is described which has enabled the feasibility of its processing to be established using a technology more improved than Caron's. The theoretical principle of reduction is also examined, concluding that agglomerated ore does not affect metal extraction it raising, but enables a more homogeneous reduction of ore mass avoiding overreduction. The possibility of processing agglomerated ore provides the use of equipment with high productivity and efficiency thus obtaining higher economic and-technical indexes.