

M-78

CICT

Instituto Superior Minero-Metalúrgico

Facultad de Metalurgia Electromecánica

Título: ESTUDIO DE LA BENEFICIABILIDAD DE LOS MINERALES  
DE HIERRO POR EL PROCESO DE SEPARACION  
MAGNETICA.

Diplomantes: BERTHA MEDINA SILOT

RAMON MOLINA VIERA

Tutor: Ing. GUILLERMO CORTHY

MOA. 1982

**TRABAJO DE  
DIPLOMA**

**Instituto Superior Minero-Metalúrgico  
Facultad de Metalurgia Electro-Mecánica**

**Hoja  
No. \_\_\_\_\_**

" Estudio de la beneficiabilidad de los  
minerales de hierro por el proceso de  
Separación Magnética. "

**TRABAJO DE  
DIPLOMA**

**Instituto Superior Minero-Metalúrgico  
Facultad de Metalurgia Electro-Mecánica**

**Hoja  
No. \_\_\_\_\_**

TRABAJO DE DIPLOMA

TITULO: "Estudio de la beneficiabilidad  
de los minerales de hierro por  
el proceso de Separación Magné-  
tica".

DIPLOMANTE: Bertha E. Medina Silot.  
Razón Molina Viera.

PROF. GUIA: Ing: Guillermo Carthy Correa

INDICE

Agradecimiento

Dedicatoria

Resumen del Trabajo

## CAPITULO I INTRODUCCION

Pág

1.1	Objetivo del Trabajo	1
1.2	Introducción	1
1.3	Descripción Geológica del Yacimiento.	2
1.4	Reservas Geológicas y Composición Cualitativa del mineral	4

CAPITULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL BENEFICIO  
MAGNÉTICO

2.1	Introducción	6
2.2	Fundamentos Teóricos	6
2.3	Propiedades Magnéticas de los Minerales	7

CAPITULO III TRABAJO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS DE  
LOS RESULTADOS

3.1	Antecedentes	9
3.2	Determinación del Grado de Liberación del -- Componente Útil del Estéril	12
3.3	Cálculo de los Parámetros del Grado de Li- beración	15

	Pág.
3.4 Desarrollo de las Corridas Experimentales y Resultados Obtenidos	20
3.5 Cálculo de los Esquemas de Beneficio	22
CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
4.1 Conclusiones	27
4.2 Recomendaciones	28
Anexos	29
Bibliografía	37

AGRADECIMIENTO:

Agradecemos la ayuda prestada por todas aquellas personas del Instituto Superior Minero Metalúrgico que nos permitieron realizar el presente trabajo de diploma y muy especialmente a nuestro -- consultante candidato a Dr. en Ciencias Ing: José Falcón Hernández.

DEDICATORIA

Dedicamos nuestro trabajo a la Revolución la que nos ha brindado todas las posibilidades de estudiar y superarnos.

Además queremos dedicar este trabajo a nuestros padres y familiares que con su esfuerzo y dedicación han contribuido a nuestra educación integral y nos han inculcado el amor a la Patria y fidelidad a los principios revolucionarios.

En especial a todos los mártires de la Patria, los que dieron su vida para que nosotros podamos tener todo -- con lo que hoy contamos.

Revolucionariamente

Bertha E. Medina Siles  
Ramón Molina Viera.

**TRABAJO DE  
DIPLOMA**

**Instituto Superior Minero-Metalúrgico  
Facultad de Metalurgia Eléctro-Mecánica**

**Hoja  
No. \_\_\_\_\_**

RESUMEN DEL TRABAJO

Este trabajo consistió en la determinación del grado de liberación del componente útil del estéril, para esto nos apoyamos en un método brindado en el curso de post-grado del beneficio de los minerales de hierro, donde se pudo ver que el mineral útil se libera con mayor facilidad que el mineral útil y dentro de éste la clase más gruesa.

Para realizar los corridos experimentales tomamos una muestra inicial de 500 gr de mineral con 9500 gr de peso de las bolas, una vez molida estas muestras se sometió a un proceso de tamizado donde fueron separadas 3 clases de tamaño. Cada clase tenía un peso de 140 gr de mineral que fueron a su vez divididas en tres partes de 40 gr de peso cada una, los 20 gr restantes fueron sometidos a un análisis químico para determinar el contenido de hierro en el alimentado.

Cada clase fue sometida a 3 intensidades del campo magnético diferentes que son:

H<sub>1</sub> = 650.2 oersted  
H<sub>2</sub> = 1000.08 " "  
H<sub>3</sub> = 1500 " "

donde se obtuvieron los concentrados con su correspondiente cola. Este mismo proceso se realizó también para diferente tiempo de molienda que son:

t<sub>1</sub> = 15 minutos  
t<sub>2</sub> = 20 " "  
t<sub>3</sub> = 25 " "



A continuación realizamos los análisis químicos para determinar el contenido de hierro en los concentrados y en los alimentados y luego se eligieron los esquemas a calcular, para esto nos basamos en la práctica del beneficio mundial, la literatura y los datos teóricos obtenidos.

Por último realizamos las curvas de beneficiabilidad con el objetivo de determinar a partir de un dato los índices de beneficio que le corresponden.

CAPITULO I : INTRODUCCION

1.1 Objetivo del trabajo:

El objetivo del presente trabajo fue el de realizar un estudio de la beneficiabilidad de los minerales de hierro por el método de separación magnética y conocer las características de estos minerales, considerando además la liberación de los granos de diferentes clases de tamaño y su comportamiento durante la separación magnética de diferentes campos y en base a los resultados obtenidos proponer posibles esquemas de beneficios considerando técnicamente los índices del beneficio.

1.2 Introducción

Desde el año 1961 en nuestro país se han realizado diferentes trabajos de exploración geológica e investigación científica cuyo objetivo es crear la base de materia prima necesaria para el suministro de un combinado siderúrgico que tendrá una capacidad de 1,2 millones de toneladas de hierro fundido al año.

Las fuentes de materias primas de hierro se concentra fundamentalmente en las colas lateríticas - níquelíferas de la planta " René Ramos Latour " ( materia prima básica ), así como la utilización de menas magnéticas de los diferentes yacimientos como el yacimiento Santiago, Sesta, Mina Chiguá y por último la adición de menas de una zona superficial del yacimiento laterítico con alto contenido de hierro y bajo porcentaje de níquel.

Producto de las investigaciones se llegó a la conclusión que la variante más racional de la base mineral más efectiva para el suministro de materias primas a una planta siderúrgica es la utilización de los concentrados obtenidos del procesamiento de las colas de la planta de Micaco con una adición de concentrados de menas magnéticas para disminuir el contenido de níquel y aumentar la relación-

de sílice con respecto a la alúmina, todo esto con el objetivo de elevar la composición cualitativa de la materia prima mineral.

### 1.3 Descripción Geológica del Yacimiento:

La región de todo el yacimiento Santiago está ubicada en la parte oriental del anticlinorium Sierra Maestra en su flanco norte, coincidiendo en la faja meridional de la cordillera de la Gran Piedra. Esta megasestructura se extiende desde el extremo occidental de la Sierra Maestra hasta el extremo occidental de la cuenca de Guantánamo; los buzamientos se hacen más abruptos hacia las zonas meridionales. El buzamiento de las capas es hacia el norte en la cuenca de Santiago de Cuba y hacia el noreste en la cordillera de la Gran Piedra.

El flanco sur del anticlinorium está cortado a pico y desplazado por una falla de desgarre y con carácter regional: la falla de Bartlett que se clasifica como de rumbo izquierdo.

La región de los yacimientos Santiago está constituida por:

- a) Rocas vulcanógenas y vulcanógeno - sedimentarias de la formación El Cobre, relacionadas con la edad del pleoceno superior - eoceno medio.
- b) Rocas intensivas del macizo granitoide Daiquirí representados por dioritas cuarcíferas preferentemente.
- c) Rocas terrígenas - carbonatadas de la formación La Cruz con rango estratigráfico que abarca el mioceno superior y posible plioceno, así como una franja de caliza costera algo calcificada con edad plioceno - cuaternario.

Una de las áreas más estudiadas en el período de 1961 al 1964 es Mina Chiquita lo que constituye un depósito de mineral principal y pertenece al tipo de contacto metasomático (de skarn), el mineral metálico principal del skarn es la magnetita.

Los minerales se encuentran en forma de magnetita maciza y diseminadas.

La porfirita andesítica con intercalaciones calizas y normalizadas en su parte superior juegan un importante papel en la constitución geológica del área la Chiquita.

Las dioritas cuarzosas se encuentran en el extremo sur y en la zona de contacto de éstas con las porfiritas andesíticas yacen los skarn epidoto-granatíferos con magnetita y pirita.

La zona de la fractura determina la tectónica disyuntiva. La fractura es premineral, su superficie aflora en la parte oriental de la cantera y buza hacia el noroeste. Se observa también un dique de porfirita y de plagioclasas que corta la superficie de fractura.

El depósito mineral explorado en el área la Chiquita tiene una gran constitución complicada. Según su forma se acerca en forma de lente alargado hacia el sureste, según su extensión el cuerpo tiene una longitud de 240 m, según su buzamiento tiene una longitud de 230 m y su espesor es de 4 - 60 m.

Según su composición mineralógica los minerales de hierro de esta área son de magnetita, del tipo continuo y diseminados en su mayor porcentaje.

En el área se observan dos generaciones de magnetita, una principal que es metasomática y la otra más reciente es debido a la recristalización de la hematita. Esta se encuentra en paragénesis con la pirita y la calcopirita formando además estructuras reticulares durante su desarrollo en la magnetita.

La pirita generalmente se encuentra en forma de granos aislados y al asociarse con la calcopirita se desarrolla en forma de emulsión fina en la magnetita.

El contenido de hierro en el mineral según los resultados del cálculo de la reserva es mayor que el contenido de -

azufre y que el contenido de fósforo. En mina Chiquita se encuentran los siguientes minerales: hierro, azufre, fósforo, plomo, zinc, cobre, cobalto, níquel y germanio.

#### 1.4 Reservas Geológicas y Composición Cualitativa del -- Mineral.

Según su composición mineralógica los minerales de hierro de esta área son de magnetita, del tipo continuo y diseminadas en gran cantidad. La magnetita en las secciones pulidas constituye desde un 25 % hasta un 85 % formando agregados granulares de un tamaño de 0,05 mm hasta 1 mm .

La hematita se encuentra en cantidad de 1 a 20 % y como promedio de 7 %; ésta se encuentra en paragénesis con la pirita y la calcopirita y también se desarrolla en la magnetita formando estructuras reticulares. La pirita se desarrolla en forma de granos aislados constituyendo hasta un 5 % del mineral. Las dimensiones de los granos de pirita son de 0.01 a 4 mm. La calcopirita se asocia con la pirita y toda se desarrolla en forma de emulsión fina en la magnetita. El tamaño de los granos de calcopirita es de milésimas de milímetros hasta 0.3 mm.

El contenido de hierro del mineral según los resultados del cálculo de las reservas constituye el 57.4 %, el contenido de azufre 0.35 % y el contenido de fósforo es de un 0.020 %. El contenido de magnetita en el mineral como resultado de los análisis químicos de los minerales es igual a 48.78 % y el contenido de hematita es de un 6.58%, el contenido de plomo y zinc en los minerales se encuentran en forma de trazas, el contenido de cobre en las mismas cantidades, el contenido de cobalto desde trazas hasta 0.22 %, el contenido de níquel en trazas y el cromo no fue encontrado en los minerales

En los datos de los análisis espectrales en los minerales fue revelada una cantidad elevada de germanio desde 0.003 hasta 0.02 %.

En el yacimiento Santiago las menas se encuentran tanto - macizas como diseminadas. El mineral útil principal del - skarn es la magnetita, la hematita tiene un carácter secundario. Los minerales no metálicos están representados por - granate, piroxeno, epidoto, cuarzo, clorita, hornblenda y calcita.

Las reservas totales de menas magnetíticas del yacimiento - Santiago se evalúan en 19.1 millones de toneladas en cate - goría C<sub>1</sub> y 21.1 millones de toneladas en categoría C<sub>2</sub> con - un contenido promedio de hierro de 38.4 % y 0.35 % de azu - fre. De estas reservas al área la Chiquita corresponde -- 4.3 millones de toneladas.

El mineral menífero principal lo constituye la magnetita - en el orden de importancia le sigue la hematita secundaria (martita) que se desarrolla en la zona de oxidación. El - contenido promedio del hierro en las menas es de 44.06 %, - el de azufre 0.06 % y el de fósforo 0.043 %.

En los pozos de perforación entre las profundidades de 24 a 125 m el contenido de magnetita es de 39.61 % y el de la hematita de 1.99 %, mientras que en las trincheras el con - tenido de magnetita disminuye hasta 19.09 % y el contenido de hematita aumenta considerablemente hasta 15.37 %.

A una profundidad intermedia de 10 m (en el túnel) el con - tenido de magnetita es de 35.16 % y el contenido de hemati - ta es de 10.84 %. El contenido de azufre en los minerales - varía desde trazas hasta 0.18 %, su contenido promedio con - tituye 0.04 %.

Otros elementos nocivos como el plomo y el zinc práctica - - mente no se encuentran. El contenido del cobre no sobrepasa un 0.10 %, el cobalto varía su contenido desde trazas - hasta 0.09 % y el fósforo varía desde trazas hasta 0.25 %.

**CAPITULO II : FUNDAMENTOS TEORICOS DEL BENEFICIO MAGNETICO**

**2.1 Introducción:**

En nuestro país con el apoyo del PCC y del Gobierno Revolucionario las perspectivas de empleo del beneficio se amplía cada vez más, una muestra de ello lo constituye la planta siderúrgica (en proyecto de construcción) la que se abastecerá de materia prima de los concentrados del procesamiento realizado a las colas de la planta de Nicaro fundamentalmente.

Producto de esto toman mayor auge los trabajos investigativos con respecto al beneficio de los minerales de hierro. - El montaje de la futura planta siderúrgica tiene gran importancia en nuestro país trayendo con sígo un aumento notable en la industrialización en aquellas zonas donde esta será construída.

El desarrollo de esta industria aportará una enorme cantidad de divisa para la economía del país a la vez que será una muestra del desarrollo científico-técnico alcanzados -- en el período de nuestra Revolución Socialista.

**2.2 Fundamentos teóricos:**

Los procesos magnéticos se fundamentan en dependencia de -- las propiedades magnéticas, resultando la susceptibilidad como la propiedad fundamental; esos procesos se realizan en un separador magnético pudiendo separar los granos de alta-susceptibilidad como la magnetita y de baja susceptibilidad -- como el cuarzo.

Para la separación magnética los minerales que se benefician son los óxidos de hierro fundamentalmente. En estos procesos la trayectoria de las partículas magnéticas estarán determinadas por la correlación existentes entre las fuerzas mecánicas y la fuerza magnética actuante sobre las partículas en

el campo magnético del separador.

Para que esta separación se efectúe la fuerza magnética tiene que ser mayor que la suma de las fuerzas mecánicas que actúan sobre las partículas; como fuerza mecánica podemos mencionar el peso de las partículas, la fuerza hidrosférica del agua en caso que la separación se realice por vía húmeda, la densidad de las partículas, el tamaño, etc. La desigualdad de estas fuerzas es la que nos permite la separación de las partículas de la siguiente forma: cuando la fuerza magnética es mayor que las fuerzas mecánicas las partículas minerales que se separan van al concentrado, si las fuerzas mecánicas son mayores que la fuerza magnética entonces las partículas van a la cola. Comociendo que la fuerza magnética viene dada por la susceptibilidad magnética ( $\chi$ ) y la intensidad del campo ( $H$ ) o sea:

$$F_m = \chi H \text{ grad } H$$

Por la expresión se deduce que ambos parámetros  $\chi$  y  $H$  son proporcionales a la fuerza magnética por lo que al aumentar la susceptibilidad magnética hay mayor fuerza magnética y al aumentar  $H \text{ grad } H$  hay también mayor fuerza magnética.

### 2.3 Propiedades magnéticas de los minerales.

Desde el punto de vista de sus propiedades magnéticas las sustancias se clasifican en:

- 1.- Diamagnéticas : que son los minerales que se magnetizan negativamente contra la dirección de la intensidad del campo magnético y tienden a disminuirlos. Para estos minerales la intensidad de magnetización y la susceptibilidad magnética son menores que cero.
- 2.- Paramagnéticas: que son los minerales que se magnetizan positivamente y por tanto aumentan la intensidad del campo al orientarse paralelas a la intensidad de éste. Para estos minerales la intensidad de magnetización y la susceptibilidad magnética son mayores que cero.



Todos los minerales se pueden clasificar de acuerdo a la fuerza magnética necesaria para separarlos, para ello se toma como base  $H$  y  $X$  y se clasifican en:

- 1.- Minerales fuertemente magnéticos o ferromagnéticos: son los que se separan en campos de baja intensidad, con una intensidad del campo hasta de 1500 oersted y  $X$  mayor de  $3 \times 10^{-3}$   $\text{cm}^3/\text{seg}$ .
- 2.- Minerales debilmente magnéticos: se separan en campos de alta intensidad con una  $H$  igual a 4000 hasta 17000 oersted y  $X$  varía en orden de  $5 \times 10^{-4}$  hasta  $1.2 \times 10^{-7}$   $\text{cm}^3/\text{seg}$ .
- 3.- Minerales no magnéticos comprenden aquellos que no se pueden separar en los separadores conocidos y tienen una susceptibilidad magnética menor de  $1.2 \times 10^{-7}$   $\text{cm}^3/\text{seg}$ .

Los minerales fuertemente magnéticos se encuentran influenciados por una serie de factores que varían en ciertas condiciones como son: la intensidad del campo, tamaño de las partículas, forma y temperatura.

La magnetita no presenta la susceptibilidad en cualquier campo magnético. La magnetita natural cuando  $H = 800$  oersted  $X = 0.18$   $\text{cm}^3/\text{seg}$ . pero cuando  $H = 700 - 800$  oersted  $X = 0.06 - 0.07$   $\text{cm}^3/\text{seg}$ .

Las propiedades magnéticas de la magnetita molida en determinado grado dependen del volumen, concentración y peso en caso que se encuentren mezclados con otros minerales no magnéticos.

**CAPITULO III : TRABAJO EXPERIMENTAL Y ANALISIS DE LOS  
RESULTADOS.**

**3.1 Antecedentes:**

El área de Mina Chiquita ha sido objeto de exploraciones geológicas desde los primeros tiempos algunas de las cuales fueron realizadas paralelamente con el proceso de explotación.

Entre 1915 a 1916, geólogos norteamericanos realizaron una investigación, más tarde fueron realizados trabajos geofísicos y geológicos por un grupo de geólogos mexicanos; de ningunos de estos trabajos se tienen resultados precisos - por falta de claridad en los mismos.

Más tarde en 1950 el geólogo V. Pfiffer confeccionó una serie de planos geológicos de las distintas áreas del yacimiento.

La extracción de hierro de éste yacimiento generalmente se realizó por el método de cielo abierto y sólo en ocasiones por el método subterráneo. La explotación de este yacimiento se remonta a épocas lejanas y fueron explotadas primeramente por compañías españolas y más tardes por compañías hispano-americanas. Esos trabajos fueron realizados hasta el año 1947 en menor escala.

La confección de los informes geo-0-104 y goe-0-104A tuvieron como base los levantamientos aero-magnéticos y de perforación realizados por geólogos y geofísicos en el año 1961.

Debido a la grandes perspectivas del estudio de los minerales de hierro y el apoyo que éste ha tenido por parte del Gobierno Revolucionario, centros investigativos, instituciones científicas como instituto se han dado a la tarea del desarrollo de esta rama .

En 1953 - 1954 el área de mina Chiquita fué reconocida, entre otras como una de las más perspectivas debido al resultado de los trabajos de búsqueda y exploración geológica efectuada por geólogos soviéticos. Como resultado de estas investigaciones se evaluaron las reservas en categorías C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub>.

De los trabajos realizados el más reciente fue concluído en el curso anterior por dos alumnas del I.S.M.M.

El desarrollo de su trabajo consiste en la toma de diferentes muestras en mina Chiquita representativas del lugar donde éstas fueron tomadas, analizadas posteriormente a escala de laboratorio, obteniendo un contenido de hierro aproximado al dado en el informe técnico.

Posteriormente se realizó un análisis estadístico de los resultados obtenidos en los análisis químicos con el objetivo de determinar el orden de disposición de los datos experimentales obtenidos en los ensayos de los análisis químicos y determinar la desviación típica del trabajo analítico. Producto de este análisis se llegó a la conclusión de que dichos análisis químicos son altamente confiables.

Para realizar las corridas experimentales se homogenizó todo el material extraído de la mina, el cual fué sometido a un proceso de beneficio con trituración y molienda. Al homogenizar nuevamente todo el material obtenido se obtuvieron fracciones de diferentes granulometrías mediante el tamizaje del material para la separación magnética por vía húmeda y vía seca con la utilización de un analizador magnético.

Los concentrados y las colas de las diferentes fracciones fueron secadas y sometidas a un análisis con un imán permanente para determinar la cantidad de partículas magnéticas en el concentrado, en la cola y en la fracción, determinandose de esta forma el contenido de hierro en el

concentrado, en la cola y en la fracción.

Los resultados obtenidos permitieron llegar a la curva de beneficiabilidad y a la curva de dependencia del contenido de hierro en función de la intensidad de corriente a la cual se separa la fracción.

Como conclusión de su trabajo se determinó que la separación magnética de las diferentes fracciones no es efectiva para intensidades de corriente pequeñas.

Para la fracción de - 0.074 mm ocurre una formación intensiva de flóculos lo que se demostró más claramente en la separación por vía húmeda empeorando la calidad del concentrado, se demostró también que en la separación por vía húmeda influye la resistencia del medio, disminuyendo la velocidad de separación de las partículas no magnéticas durante el proceso.

En el análisis realizado con el magneto permanente para el análisis de los contenidos de hierro en el concentrado, en la cola y en el alimentado se obtuvieron los siguientes resultados:

Vía seca :  $\beta = 69.62 \%$  ;  $\theta = 9.07 \%$  ;  $\alpha = 14.57 \%$

Vía húmeda:  $\beta = 66.46 \%$  ;  $\theta = 2.45 \%$  ;  $\alpha = 14.46 \%$

Del estudio del presente trabajo notamos como deficiencia que no se realizaron los análisis químicos de los resultados obtenidos en los experimentos ya que éste es más confiable y exacto, mientras que el análisis con el magneto-permanente es sólo orientativo pero no demostrativo; tampoco se hace referencia a como se efectúa la medición del campo magnético en el separador, además no se tomaron la misma cantidad de muestra para la separación por vía húmeda y seca lo cual trae como resultado que estos análisis sean menos ilustrativos, también el análisis fue hecho para cada fracción y no para la muestra global y por último

no tiene en cuenta la molibilidad del mineral.

### 3.2 Determinación del grado de liberación del componente útil del estéril.

Para comenzar a determinar el grado de liberación del componente útil del estéril debemos tener en cuenta el contenido de la clase de 74 MK cuando se muele para obtener un diámetro de la partícula de 0.5 mm.

Después de homogenizar el mineral obtenido de la molienda se tomaron cuatro muestras de 10 gramos cada una y fueron sometidas a un análisis con el magneto permanente (imán), obteniéndose un concentrado y una cola en cada una de las cuatro muestras, las cuales fueron pesadas arrojándose el siguiente resultado:

Tabla No. 1

<u>No. de la muestra</u>	<u>Peso en gramos del concentrado</u>	<u>cola</u>
I	6.9	3.1
II	6.7	3.3
III	6.9	3.1
IV	6.9	3.1

Cada uno de los concentrados de las cuatro muestras anteriores fueron sometidas a una análisis en el separador magnético obteniéndose también un concentrado con su correspondiente cola, a los concentrados se les hizo un análisis de tamíz por vía húmeda para obtener las clases de que estaba compuesto dichos concentrados, cada clase por separado fue pesada y secada en la estufa a una temperatura requerida.

El peso de cada una de las partes de los concentrados viene recogido en la siguiente tabla:

Tabla No. 2.

No. del Concentrado	Peso en gramos de cada una de las clases, MK			
	+ 841	-841 + 590	-590+297	-297+250
I	2.2	0.2	1.6	0.2
II	1.2	0.2	1.4	0.3
III	1	0.2	1.2	0.6
IV	0.7	0.2	0.7	0.5

El peso de cada una de las colas así como de las clases --  
- 250 MK que no fue utilizada en el conteo viene dado en --  
la siguiente tabla:

Tabla No. 3

No. de la Cola	Peso gr.	No. del con centrado	Peso de la clase - 250 MK
I	0.01	I	3.19
II	0.01	II	3.79
III	0.01	III	4.09
IV	0.01	IV	4.89

El siguiente paso correspondió al conteo en el microscó--  
pio de las diferentes clases en cada uno de los concentra  
dos obtenidos en el análisis realizado en el separador --  
magnético, cuyos resultados obtenidos del conteo vienen --  
recogido en la tabla No. 4 que nos ilustra la cantidad de  
granos libres en cada una de las clases de los diferentes  
concentrados.

Tabla No. 4

No. del concentrado	No. de granos libres en c/u de las clases			
	<u>+841</u>	<u>-841+590</u>	<u>-590+297</u>	<u>-297+250</u>
I	28	412	6292	2060
II	16	315	3144	3781
III	28	335	3077	7208
IV	21	331	3924	6928

La siguiente tabla nos da el número de partículas entrecrecidas en cada una de las clases de los diferentes concentrados.

Tabla No. 5

No. del concentrado	No. de granos entrecrecidos en c/u de las clases			
	<u>+841</u>	<u>-841+590</u>	<u>-590+297</u>	<u>-297+250</u>
I	3	50	651	514
II	3	47	564	605
III	11	55	1203	976
IV	3	66	768	1296

Las tablas siguientes nos dan el peso de los granos libres y entrecrecidos en cada uno de los concentrados.

Tabla No. 6

No. del Concentrado	Peso de los granos libres en c/u de las clases, Gr.			
	<u>+841</u>	<u>-841+590</u>	<u>-590+297</u>	<u>-297+250</u>
I	2.1	0.1	1.4	0.1
II	1.1	0.1	1.3	0.2
III	0.7	0.1	1.1	0.5
IV	0.1	0.1	0.6	0.3

Tabla No. 7

No. del concentrado	Peso de los granos de c/u de las clases gr			
	+ 841	-841+590	-590+297	-297+250
I	0.1	0.1	0.2	0.1
II	0.1	0.1	0.1	0.1
III	0.3	0.1	0.1	0.1
IV	0.6	0.1	0.1	0.2

3.3 Cálculo de los parámetros del grado de liberación :

Este cálculo tiene como objetivo determinar el grado de li  
beración del componente útil del estéril, para ello utili  
zamos la metodología dada en un curso de posgrado.

El desarrollo de esta metodología es el siguiente:

1.- Determinación del contenido de la fase mineral:

$$A = \frac{\text{Fe total}}{0.72}$$

Donde:

A :Es la cantidad de la fase mineral.

Fe total: contenido de hierro de la muestra analizada se--  
gún los análisis químicos.

0.72 : es el contenido de hierro de la magnetita dado en dé  
cimas .

2.- Determinación del contenido de la fase no mineral.

$$B = 1 - A$$

Donde:

B : contenido de la fase no mineral!



3.- Determinación del peso específico de la mezcla.

$$G_{cm} = \frac{100}{\frac{A}{G_A} + \frac{B}{G_B}}$$

Donde:

$G_A$  = Peso específico de la fase mineral, se puede tomar como 5.1 .

$G_B$  = Peso específico de la fase estéril, se puede tomar como 2.7

4.- Para pasar de contenido volumétrico de partículas minerales al contenido en peso se utiliza la siguiente fórmula:

$$n = \frac{\theta_n + G_A}{G_{cm}} , gr$$

Donde:

$\theta_n$  : es por ciento que representa el número de granos liberados del total de granos de la clase.

5.- El peso, medio de la salida de las partículas minerales para la muestra en su conjunto se determina por:

$$N = \frac{\sum B \cdot n}{100}$$

Donde:

$N$  : peso medio de salida de las partículas minerales

$\sum B \cdot n$  : sumatoria del producto de la salida de la clase de la mezcla en cada clase por el contenido en peso de las partículas en cada clase.

6.- Conociendo el contenido de hierro de la mezcla mineral y su salida puede determinarse el contenido de la fase mineral recuperada.

$$A = C_A \cdot B$$

Donde:

A : contenido de la fase mineral recuperada

$C_A$ : salida de la clase

B : este contenido se toma igual al contenido de hierro de la muestra analizada según los análisis químicos.

7.- El contenido de la fase no mineral de la muestra será:

$$B = 1 - A$$

Donde:

B = contenido de la fase no mineral de la muestra, partiendo del contenido de la fase mineral recuperada.

8.- El contenido de los granos libres en la muestra será:

$$n = C_A \cdot N$$

9.- El contenido de los granos entrecrecidos será:

$$m = C_A - n$$

10.- Determinación del contenido en peso de partículas no minerales.

$$t = 1 - C_A$$

11.- Determinación de la parte de la fase mineral en los entrecrecidos.

$$W = \frac{A - n}{m}$$

12.- El grado de liberación de la fase mineral para cada clase se determina por:

$$F_A = \frac{n}{A}$$

13.- El grado de liberación de la fase no mineral para cada clase se determina por:

$$F_B = \frac{t}{B}$$

Para la realización de estos cálculos se tomaron cuatro -- muestras las cuales fueron sometidas a los mismos análisis como se explicó al inicio de este trabajo, con el fin de -- obtener un promedio de los resultados finales y a su vez -- de esta manera poder brindar los resultados más exactos.

Los resultados de estos promedios están brindados en la tabla No. 8, además estos, promedios fueron sacados a partir del contenido de la fase mineral recuperada.

De la observación de dicha tabla podemos llegar a la conclusión que la fase no mineral es la que se libera con mayor facilidad y dentro de ésta la clase +841 MK debido a que de un 100 % de partículas no minerales se liberaron -- un 75.28 % de esta clase moliendo a 0.5 mm.

TABLA No. 8

Clases <i>n/m</i>	A	B	D	M	T	V	P <sub>A</sub>	P <sub>B</sub>
+ 341	0.2669	0.7111	0.0554	0.3972	0.5474	0.5848	0.1904	0.7628
-341+590	0.2715	0.7295	0.0554	0.3972	0.5474	0.5516	0.1973	0.7445
-590+297	0.2556	0.7344	0.0554	0.3972	0.5474	0.5378	0.2026	0.7386
-297+250	0.2832	0.7168	0.0554	0.3972	0.5474	0.5740	0.1911	0.7562

### 3.4 Desarrollo de las corridas experimentales y resultados obtenidos.

Para comenzar el desarrollo de las corridas experimentales tomamos una muestra de 500 gr de peso y la sometimos a un proceso de molienda en un molino de bolas con un peso de las bolas de 9500 gr, durante un tiempo determinado (15, 20 y 25 mtos).

La muestra molida fue homogenizada por el método cono-anillo y después sometida a un análisis de tamiz obteniéndose las clases A, B, C, D y E que corresponde a la siguiente fracciones:

$$A = 4.76 + 0.841 \text{ mm}$$

$$B = - 0.841 + 0.297 \text{ mm}$$

$$C = - 0.297 + 0.210 \text{ mm}$$

$$D = - 0.210 + 0.071 \text{ mm}$$

$$E = - 0.071 + 0 \text{ mm}$$

Se tomaron 140 gr de muestra inicial para cada fracción, la cual fue dividida en tres muestra de 40 gr cada una; a los 20 gr restantes les realizamos un análisis químico para determinar el contenido del hierro en la muestra inicial.

Cada una de las muestras con un peso de 40 gr fueron sometidas a un análisis en el separador magnético a diferentes intensidades del campo ( $H_1, H_2, H_3$ ) con el objetivo de determinar a qué fracción se separa mejor el mineral magnético del mineral no magnético y en cuál se obtiene un mayor contenido del mineral útil, esto último lo determinamos por los análisis químicos que realizamos.

Los resultados obtenidos tanto en vía seca como vía húmeda se encuentran reflejados en los anexos 1, ..., 7.

Auxiliándonos de los datos aparecidos en los anexos del 1 al 7 pudimos comprobar que en la separación magnética por vía seca para la clase A se obtuvieron resultados inferiores -- respecto a la vía húmeda en cuanto al contenido de hierro y recuperado considerando los tres tiempos de molienda en su conjunto y las diferentes intensidades del campo. Si consideramos esa clase sólo por el tiempo de molienda resultó ser más efectivo el de 25 minutos, esto se explica porque a mayor tiempo de retención en el molino habrá una molienda mayor del mineral por lo que los granos entrecrecidos serán liberados del componente útil en mayor cantidades. Considerando la intensidad del campo la más efectiva resultó ser la de  $H_3 = 1500$  oersted, esto se justifica porque esta intensidad del campo retiene con mayor facilidad y rapidez los granos magnéticos y entrecrecidos que se alimentan al separador.

Para la clase B se manifiesta también una efectividad mayor en la separación para  $H_3 = 1500$  oersted y los valores de la separación por vía seca están por debajo de los valores obtenidos en la separación por vía húmeda. Experimentalmente se puede apreciar que la separación magnética por vía húmeda es mejor en un tiempo de 20 y 25 minutos.

En la clase C se puede observar que en la separación por vía húmeda para 15 y 25 minutos de molienda y  $H_3 = 1500$  oersted hay buena separación, no así en la separación por vía seca donde se obtienen resultados buenos en un tiempo de 20 minutos de molienda y para el mismo valor del campo.

En la clase D el mejor tiempo de molienda resultó ser el de 20 minutos pues se obtiene una mayor recuperación; dentro de esta clase sigue siendo la vía húmeda y  $H_3$  los valores que ofrecen mejores resultados.

En la clase E por ser más fina que las demás no necesita una molienda de un tiempo mayor de 15 minutos, o sea, éste fue el mejor tiempo pues aquí se obtuvieron mejores resultados para la vía húmeda y el campo de  $H_3$ .

Por todo este análisis y por la observación al microscopio de algunas de esas clases se puede concluir que para las clases A y B el tiempo de molienda más efectivo resultó -- ser el de 25 minutos, pues hay una mayor liberación del eg téril, para la clase C el mejor tiempo fue el de 20 minu-- tos y para la clase E fue un tiempo de 15 minutos. En todas las clases se obtuvieron mejores resultados para la -- vía húmeda y con una intensidad del campo de  $H_3 = 1500$  oersted y dentro de las clases la que mejor se separa es la -- clase A, en ella hay una mayor liberación de los granos li bres estériles.

Para la construcción de las curvas de beneficiabilidad se tomaron los valores de recuperación, salida del concentrado, contenido de hierro en el concentrado y la intensidad del campo.

El tiempo de molienda influye de manera tal que a mayor -- tiempo de retención del material en el molino hay una ma-- yor liberación del componente útil del estéril mejorando -- la calidad del concentrado y obteniéndose mejores resulta-- dos en el contenido del componente útil y en la recuperae-- ción; pero debe tenerse en cuenta tamboéb que si el tiempo de molienda aumenta se corre el riesgo de que los granos -- libres del componente útil de la clase más fina se pulveri-- can y ocurra una formación de lamas lo que hace que se en-- torpezca el proceso y por tanto disminuya la recuperación.

### 3.5 Cálculos de los esquemas de beneficio.

Las variantes escogidas para el beneficio de estos minera-- les resultan las más ventajosas de acuerdo a la práctica -- mundial del beneficio, a la literatura y a los datos teóri-- cos obtenidos durante el cálculo de las mismas.

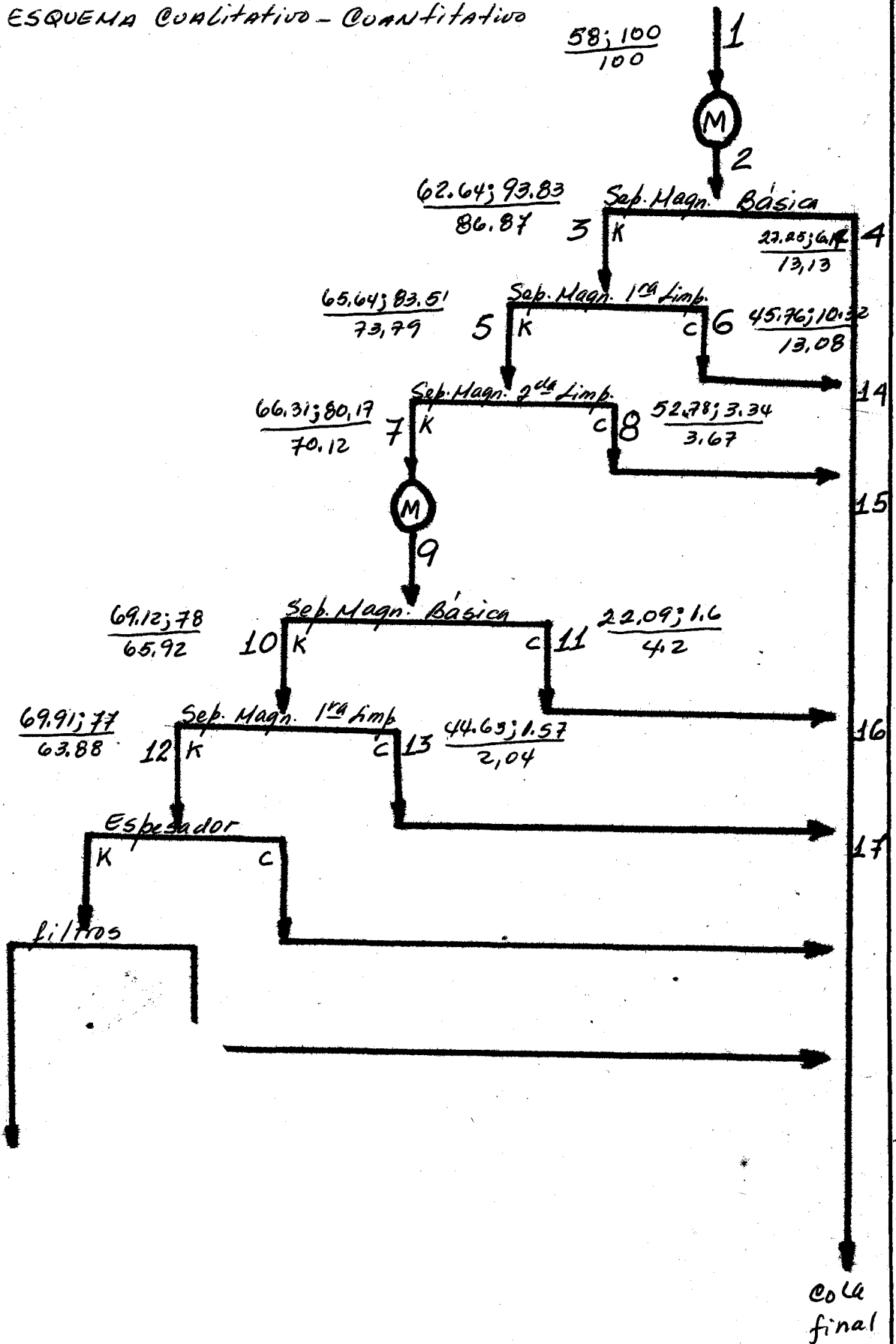
La variante No. 1 (Fig. 1) fue escogida en base al grado de liberación del estéril; en la primera etapa de molienda se obtiene un determinado % de la clase de 74 MK donde el mineral molido se somete a un proceso de separación magnética con eliminación del estéril y el producto obtenido compuesto mayormente por granos entrecrecidos con cuarzo es sometido a otro proceso de molienda con el objetivo de aumentar el contenido de la clase de 74 MK y en la separación magnética que la precede liberar el resto del estéril que queda aumentando así el contenido de hierro y la recuperación.

La variante No. 2 (Fig. 2) fue escogida en base a realizar el proceso de separación de forma más ventajosa, pues el mineral que viene de la trituración se criba y se somete la clase de  $- 4.75 + 0.841$  mm a una separación magnética seca para eliminar los granos libres del estéril, los granos libres del componente útil y los entrecrecidos conjuntamente con la clase menor  $- 0.841 + 0.297$  mm se envían a la molienda para luego someterlos a una separación magnética con la recirculación de las colas de las operaciones de limpieza.

En base a los índices del beneficio, a la complejidad de los esquemas y a los resultados teóricos obtenidos reflejados en la tabla No. 9 ambos esquemas se consideran ventajosos por lo que deben ser comprobados a nivel de laboratorio.



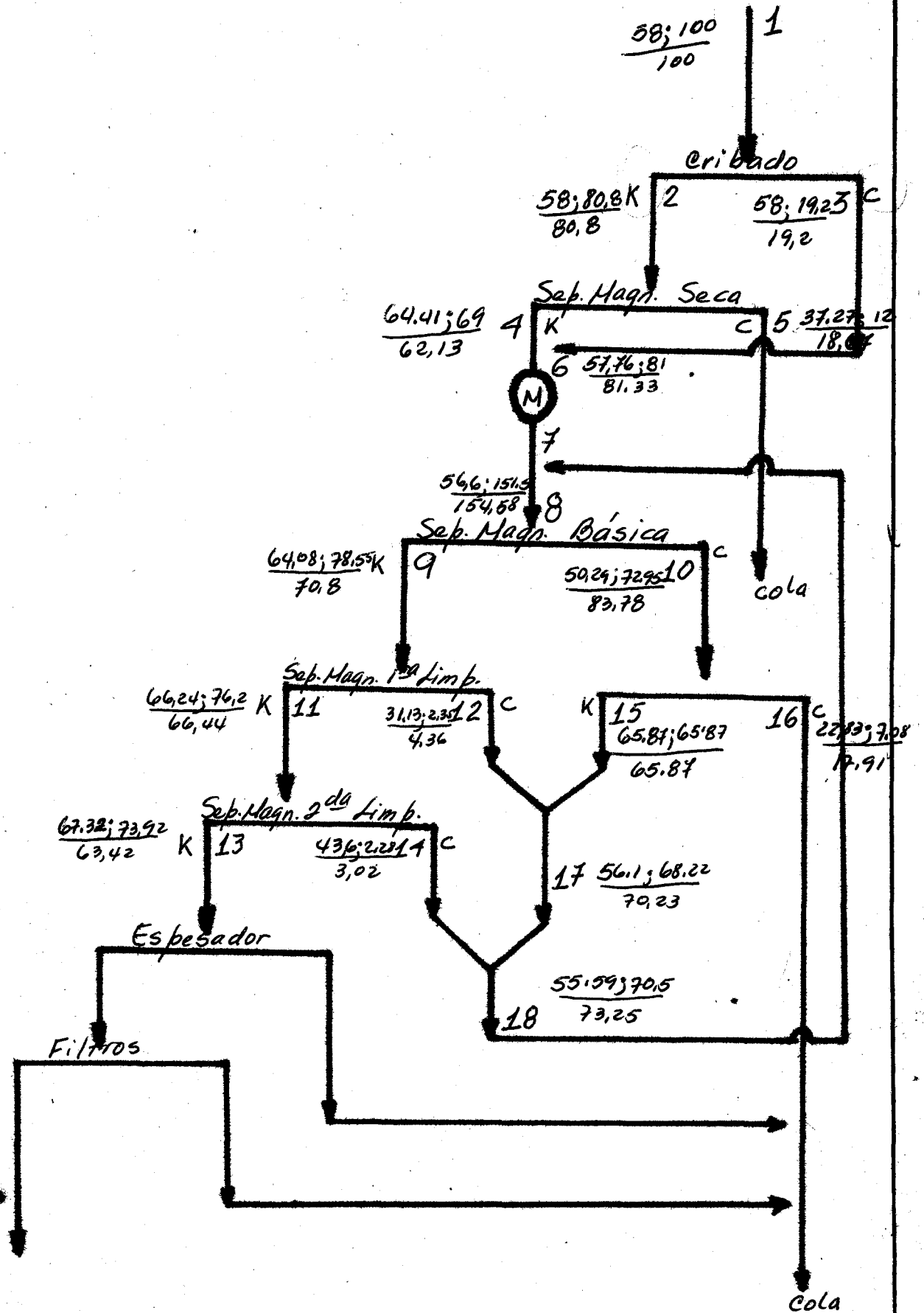
ESQUEMA CUALITATIVO - CUANTITATIVO



leyenda

$\frac{\beta; \epsilon}{\delta}$  Dato 1=2  
7=9

ESQUEMA CUALITATIVO - CUANTITATIVO



Leyenda

$\frac{B;E}{st}$  Datos = 7

TABLA No. 9 Datos comparativos de los esquemas de beneficio.

ESQUEMAS	Salida del concent., %	Contenido de Fe en el Con cent. %	Recuper. %	Valor de molienda M <sup>3</sup>		Pérdidas del mineral en las colas, tn/d.
				I Etapa	II Etapa	
I	63.98	69.91	77	48.95	66.20	455.54
II	63.42	67.32	73.92	47.40	-	443.59

**CAPITULO IV : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:-**

**4.1 Conclusiones**

- 1.- Para las clases mayores fundamentalmente pero en general para todas las clases el grado de liberación de la fase estéril es mayor que el grado de liberación del componente útil, esto viene dado porque al molerse el mineral durante un tiempo determinado la fase estéril se libera -- con mayor facilidad que el componente útil el cual se -- encuentra entrecreados.
- 2.- Al retener por un tiempo mayor el mineral en el molino -- hay un mayor rompimiento de los granos útiles entrecrecidos y por lo tanto hay una mayor liberación de éste de -- la fase estéril. Para las clases finas el tiempo debe -- ser menor ya que puede ocurrir un rompimiento de los granos libres útiles empeorando el proceso, disminuyendo -- la recuperación y por tanto la calidad del concentrado.
- \* 3.- Para una separación más efectiva de los granos magnéticos de los no magnéticos resulta mejor una intensidad del campo mayor, pues retiene con mayor facilidad a las partículas magnéticas.
- \* 4.- Atendiendo a los índices del beneficio como son la recuperación, volumen de molienda, % en peso del concentrado, contenido de hierro en el componente útil, complejidad -- del esquema y las pérdidas totales del mineral en las colas entendemos que los esquemas escogidos son los adecuados para el beneficio de estos minerales.

\*5.- El contenido de hierro obtenido durante la realización de los análisis químicos es muy alto debido a que no es representativo del yacimiento.

#### 4.2 Recomendaciones

- 1.- Que para la realización de nuevos trabajos se utilicen muestras de mineral representativas del yacimiento ya que las muestras utilizadas por nosotros presentan un contenido de hierro que no se corresponde con los datos por informe geológicos.
- 2.- Que se realicen a nivel de laboratorio pruebas con las variantes escogidas ya que éstas fueron calculadas con datos teóricos y auxiliándonos del diagrama de Digré.
- 3.- Que se realicen análisis químicos para determinar el contenido de azufre y fósforo en este mineral.
- 4.- Que durante la primera etapa de molienda donde se liberan los granos entrecrecidos de los granos libres de cuarzo se utilice un tiempo de molienda mayor que para la segunda etapa de molienda.
- 5.- Que en otros trabajos investigativos se realice la medición del campo magnético en el separador.
- 6.- Que se estudie la posibilidad de la obtención de un mayor contenido de hierro de estos minerales por otros métodos de beneficio como son la flotación o procesos gravitacionales, etc.

A continuación en los anexos del 1 al 7 presentamos los datos del contenido, % en peso acumulativo, y recuperado del concentrado y el % en peso, % en peso acumulativo y recuperado de las colas .

**TRABAJO DE  
DIPLOMA**

**Instituto Superior Minero-Metalúrgico  
Facultad de Metalurgia Eléctro-Mecánica**

**Hoja  
No. 30**

FRACCION	COMCENTRADO										VIA SECA COLA			
	Peso gr	$\beta\%$	$\delta\%$	$\delta\%$	$\beta\delta\%$	$\beta\delta\%$	$\delta\%$	$\beta\delta\%$	Peso gr	$\delta\%$	$\delta\%$	$\delta\%$		
K-H1-15	0	0	0	0	0	0	0	0	40	61.54	61.54	100		
A-H2-15	25	60.46	45.45	27.47	27.47	27.47	44.82	15	23.08	34.62	55.18			
A-H3-15	30	62	54.55	33.81	61.28	100	100	10	15.38	100	0			
TOTAL	55	61.28						65						
B-H1-15	10	63.59	12.05	7.46	7.46	11.61	11.61	30	44.78	44.78	88.39			
B-H2-15	38	64.47	45.78	29.51	36.97	57.54	57.54	2	2.99	47.47	42.46			
B-H3-15	35	64.67	42.17	27.27	64.24	100	100	35	52.24	100	0			
TOTAL	83	64.24						67						
C-H1-15	15	63.5	17.24	10.94	10.94	17.06	17.06	25	75.76	75.76	92.94			
C-H2-15	34	64.1	29.08	24.92	35.86	55.92	55.92	6	18.18	93.94	44.08			
C-H3-15	38	64.8	43.68	28.26	64.12	100	100	2	6.06	100	0			
TOTAL	87	64.12						33						
D-H1-15	25	64.24	25.77	16.55	16.55	25.41	25.41	15	65.22	65.22	74.59			
D-H2-15	26	65.82	37.11	24.42	40.97	62.92	62.92	4	17.39	82.61	37.08			
D-H3-15	36	65.07	37.11	24.14	65.11	100	100	4	17.39	100	0			
TOTAL	87	65.11						23						
E-H1-15	35	65.23	33.33	21.74	21.74	33.31	33.31	5	33.33	33.33	66.69			
E-H2-15	35	65.97	33.33	21.82	43.56	66.74	66.74	5	33.33	66.66	33.26			
E-H3-15	35	65.13	33.33	21.7	65.26	100	100	5	33.33	100	0			
TOTAL	105	65.26						15						

ANEXO : I

**TRABAJO DE  
DIPLOMA**

**Instituto Superior Minero-Metalúrgico  
Facultad de Metalurgia Eléctro-Mecánica**

**Hoja  
No. 51**

FRACCION	COMENTARIO				VIA SECA			
	Peso gr.	p. %	p. %	p. %	Peso gr.	p. %	p. %	p. %
A-H1-20	0	0	0	0	740.7	70.67	70.67	100
A-H2-20	25	63.35	39.43	24.98	39.42	26.5	97.17	60.58
A-H3-20	38.4	63.37	60.87	38.38	1.6	2.83	100	0
TOTAL	63.4	63.36			56.6			
B-H1-20	0	0	0	0	40	83.33	83.33	100
B-H2-20	35	64.55	48.61	31.37	5	10.42	93.77	51.69
B-H3-20	37	65.31	51.39	33.56	3	6.25	100	0
TOTAL	72	64.92			48			
C-H1-20	30	65.52	28.9	18.93	10	61.73	61.73	71.02
C-H2-20	35	64.72	33.72	21.62	5	30.86	92.59	8.98
C-H3-20	38.8	65.73	37.36	24.56	1.2	7.41	100	0
TOTAL	103.8	65.31			16.2			
D-H1-20	35	65.46	32.71	21.41	5	36.46	36.46	67.12
D-H2-20	35	64.62	32.71	21.13	5	36.46	76.92	34.67
D-H3-20	37	65.29	34.52	22.57	3	23.08	100	0
TOTAL	107	65.11			13			
E-H1-20	35	64.09	32.41	20.77	5	41.67	41.67	67.81
E-H2-20	35	64.3	32.41	20.63	5	41.67	83.34	35.52
E-H3-20	38	65.11	31.19	22.91	2	16.67	100	0
TOTAL	108	64.51			12			

ANEXO : II



**TRABAJO DE  
DIPLOMA**

**Instituto Superior Minero-Metalúrgico  
Facultad de Metalurgia Eléctro-Mecánica**

**Hoja  
No. 32**

ANEXO: III

VIA SECA

FRACCION	CONCENTRACION				COLA			
	Peso gr	$\beta$ %	$\alpha$ %	$\beta\alpha$ %	Peso gr	$\beta$ %	$\alpha$ %	$\beta\alpha$ %
A-H1-25	0	0	0	0	40	73.13	73.13	100
A-H2-25	30	64.38	43.61	28.10	10	19.53	97.65	56.25
A-H3-25	38.8	64.07	56.39	36.12	1.2	2.34	100	0
TOTAL	68.8	64.22			51.2			
B-H1-25	0	0	0	0	40	85.11	85.11	100
B-H2-25	35	63.74	47.94	30.55	5	10.63	95.73	52.3
B-H3-25	38	64.36	52.05	33.49	2	4.25	100	0
TOTAL	73	64.04			47			
C-H1-25	10	64.27	12.04	7.73	30	31.03	61.08	88.15
C-H2-25	35	65.91	42.16	27.52	5	13.51	94.59	45.53
C-H3-25	38	65.41	45.73	29.94	2	5.40	100	0
TOTAL	63	65.19			37			
D-H1-25	25	65.57	25.51	16.72	15	63.18	68.18	74.38
D-H2-25	35	65.41	35.71	23.35	5	22.72	90.09	38.6
D-H3-25	38	64.81	38.77	25.19	2	9.09	100	0
TOTAL	98	65.26			22			
E-H1-25	30	63.81	28.9	18.44	10	61.72	61.72	71.41
E-H2-25	35	64.46	33.71	21.69	5	30.86	92.58	37.73
E-H3-25	38.8	65.2	37.37	24.36	1.2	7.4	100	0
TOTAL	103.8	64.49			16.2			



**TRABAJO DE  
DIPLOMA**

**Instituto Superior Minero-Metalúrgico  
Facultad de Metalurgia Eléctro-Mecánica**

**Hoja  
No. 34**

FRACCION	CONCENTRADO				VIA HUMEDA			
	Peso Gr	β%	γ%	δ%	Peso Gr	β%	γ%	δ%
A-H1-20	36	64.96	32.73	21.26	32.87	4	40	67.13
A-H2-20	37	64.51	33.64	21.70	66.42	3	30	33.58
A-H3-20	37	64.57	33.64	21.72	100	3	30	0
TOTAL	110	64.68				10		
B-H1-20	35	65.53	31.53	20.97	31.43	5	55.56	63.57
B-H2-20	38	66.64	34.23	22.82	65.62	2	22.22	34.33
B-H3-20	38	67.04	34.23	22.94	100	2	22.22	0
TOTAL	111	66.73				9		
C-H1-20	33	65.29	30.56	19.95	30.28	7	53.33	69.72
C-H2-20	37	66.16	34.26	22.66	64.67	3	25	35.33
C-H3-20	38	66.22	35.19	23.28	100	2	16.67	0
TOTAL	108	65.89				12		
D-H1-20	37	65.60	34.26	22.47	35.09	3	25	64.98
D-H2-20	36	61.62	33.33	20.54	67.03	4	33.33	32.97
D-H3-20	35	65.30	32.41	21.16	100	5	41.67	0
TOTAL	108	64.17				12		
E-H1-20	35.1	63.20	33.40	21.10	32.29	4.9	32.89	67.71
E-H2-20	35.5	66.44	33.33	22.12	66.14	5	33.56	33.86
E-H3-20	35	66.41	33.33	22.13	100	5	33.56	0
TOTAL	105.1	65.35				14.9		

**TRABAJO DE  
DIPLOMA**

**Instituto Superior Minero-Metalúrgico  
Facultad de Metalurgia Eléctro-Mecánica**

**Hoja  
No. 35**

VIA HUMEDA

ANEXO : VI

FRACCION	CONCENTRADO						C O I A					
	Peso Gr	$\beta\%$	$\delta\%$	$\rho\delta\%$	$\rho\delta\%$	$\rho\delta\%$	Peso Gr	$\delta\%$	$\delta\%$	$\delta\%$	$\delta\%$	$\rho\%$
A-H <sub>1</sub> -25	39	66.40	34.21	34.21	22.71	22.71	1	16.67	16.67	16.67	55.98	
A-H <sub>2</sub> -25	38	66.81	33.33	67.54	22.28	44.99	2	33.33	50	50	32.56	
A-H <sub>3</sub> -25	37	66.94	32.47	100	21.72	66.71	3	50	100	100	0	
TOTAL	114	66.71					6					
B-H <sub>1</sub> -25	38	65.96	33.62	33.62	22.17	22.17	2	28.57	28.57	28.57	66.72	
B-H <sub>2</sub> -25	38	67.17	33.62	67.24	22.59	44.76	2	28.57	57.14	57.14	32.8	
B-H <sub>3</sub> -25	37	66.69	32.74	100	21.84	66.6	3	42.86	100	100	0	
TOTAL	113	66.6					7					
C-H <sub>1</sub> -25	37	67.48	33.03	33.03	22.28	22.28	3	37.50	37.50	37.50	66.56	
C-H <sub>2</sub> -25	39	66.27	34.82	67.85	23.10	45.38	1	12.50	50	50	31.89	
C-H <sub>3</sub> -25	36	66.11	32.14	100	21.24	66.62	4	50	100	100	0	
TOTAL	112	66.62					8					
D-H <sub>1</sub> -25	38	65.91	33.92	33.92	22.35	22.35	2	25	25	25	66.72	
D-H <sub>2</sub> -25	38	68.83	33.92	67.84	23.36	45.71	2	25	50	50	31.93	
D-H <sub>3</sub> -25	36	66.73	32.14	100	21.44	67.15	4	50	100	100	0	
TOTAL	112	67.15,					8					
E-H <sub>1</sub> -25	33	64.98	32.35	32.35	21.06	21.06	7	38.89	38.89	38.89	67.67	
E-H <sub>2</sub> -25	35	64.49	34.31	66.66	22.12	43.18	5	27.78	66.67	66.67	33.71	
E-H <sub>3</sub> -25	34	65.94	33.30	100	21.95	65.13	6	33.33	100	100	0	
TOTAL	102	65.13					18					

ANEXO : VII

Contenido de hierro en los alimentados de las distintas clases para los diferentes tiempos de molienda.

FRACCION	CONTENIDO, %	
	VIA SECA	VIA HUMEDA
A-15	57.43	60.85
A-20	61.59	60.05
A-25	63.00	59.12
B-15	61.00	59.21
B-20	62.39	61.44
B-25	62.58	61.90
C-15	60.79	61.68
C-20	62.61	61.65
C-25	61.68	62.54
D-15	61.93	58.68
D-20	62.17	61.44
D-25	62.20	62.11
E-15	61.96	61.40
E-20	62.67	60.53
E-25	61.84	59.83

BIBLIOGRAFIA

TITULO: Métodos modernos de beneficio por separación magnética de los minerales de metales ferrosos.

AUTOR: V. I. Karmazin

TITULO: Separación magnética del hierro en la zona --  
" Mina Chiquita " de Santiago de Cuba.

AUTORES: Mayra Salas  
Bella Argelia Frómata

- Notas de Clases
- Curso de Post-Grado del Beneficio de los Minerales de Hierro.

AUTOR: Ing: José Falcón

- Química Analítica Cuantitativa.