



T
622.7
MOR

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

“Caracterización Tecnológica y Mineralógica de
la Mena de Hierro del Yacimiento Capao Xavier”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de

INGENIERA DE MINAS

Presentada por:

Ana Mercedes Morales Carrera

Guayaquil • Ecuador

1999

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

**“CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA Y MINERALÓGICA DE LA
MENA DE HIERRO DEL YACIMIENTO CAPÃO XAVIER”**

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERA DE MINAS

Presentada por:

ANA MERCEDES MORALES CARRERA

GUAYAQUIL – ECUADOR

1999

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a todo el personal del Centro de Investigaciones-Miguelão de la empresa Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR, al personal de la Universidad Federal de Ouro Preto (UFOP), de la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG) y de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), que me brindaron su ayuda y colaboración para la realización del este trabajo.

A la Ing. Rita Virginia da Silva, orientadora por parte de la MBR

Al Dr. Júlio César Méndes, orientador por parte de la UFOP.

Al Dr. Paúl Carrión Mero, orientador por parte de la ESPOL.

Al Geol. Leandro Quadros Amorin, Jefe del Proyecto Capão Xavier.

Al Ing. César Mendoza, por el estudio de la caracterización mineralógica.

A la Ing. Luana Duarte por el estudio por Microscopía Electrónica de Barrido.

A todo el personal del Centro de Investigaciones – Miguelão de la MBR.

A mis padres, hermanos y a todos los buenos amigos que siempre estuvieron prestos a colaborar y apoyarme en el desarrollo de esta tesis.

DEDICATORIA



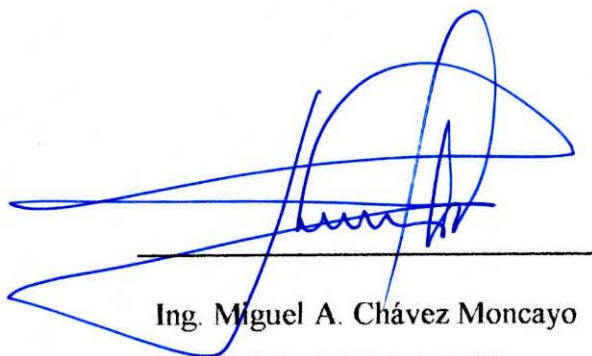
A DIOS

MI MADRE

MI FAMILIA

MIS AMIGOS

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



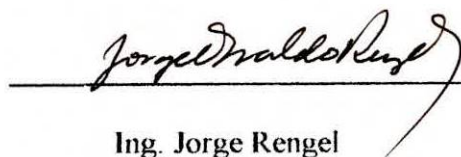
Ing. Miguel A. Chávez Moncayo
DECANO DE LA FICT



Dr. Paúl Carrión Mero
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Jorge Velasco
VOCAL



Ing. Jorge Rengel
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



Ana Mercedes Morales Carrera



RESUMEN

Capão Xavier es un yacimiento que forma parte de los planes de largo plazo de la Empresa Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR, su explotación será iniciada a partir del año 2000, por tanto es necesario un estudio previo de las características de la mena que posee este yacimiento.

A partir del año 1982, se abrieron tres galerías de sondaje para realizar estudios complementarios de la mena de Capão Xavier de los resultados obtenidos se sabe que existen ciertas áreas específicas con altos tenores de alúmina (Al_2O_3) y manganeso (Mn), que son considerados como contaminantes dentro de las especificaciones de calidad de la empresa.

La caracterización tecnológica y mineralógica de la mena de este yacimiento se realizó, con el objetivo principal de conocer sus características generales, los minerales asociados y los que tienen estos altos tenores; con los resultados obtenidos se podrá visualizar las posibles metodologías para su tratamiento

Para la ejecución de todo este trabajo se utilizaron dos muestras, consideradas como las más representativas de estas áreas, una con alto tenor en alúmina y otra con alto tenor de manganeso, provenientes de la galería de exploración número 3.

La caracterización tecnológica comprende: análisis granulométrico, análisis químico, deslamado, líquido denso y pruebas metalúrgicas. La caracterización mineralógica comprende: análisis mineralógico por microscopía óptica de luz reflejada, por difracción de rayos X y por microscopía electrónica de barrido.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	II
ÍNDICE GENERAL	III
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE TABLAS	V
INTRODUCCIÓN	1
 I. GEOLOGÍA	 3
1.1. Geología Regional	3
1.1.1. Basamento Cristalino	3
1.1.2. Supergrupo Rio das Velhas	3
1.1.3. Supergrupo Minas	6
1.1.4. Intrusivos del Post-Minas	7
1.1.5. Grupo Itacolomí	7
1.2. Formación Cauê	9
1.3. Geología Local	12
1.3.1. Geología del Yacimiento Capão Xavier	12
 II. MENA DE HIERRO	 15
2.1. Clasificación Genética	15
2.2. Tipo de Rocas y Grado de Mineralización del Yacimiento	17
2.3. Descripción del Cuerpo de la Mena	19
2.4. Productos de Mena de Hierro	20

III. METODOLOGIA	21
3.1. Selección y Obtención de las Muestras	21
3.2. Caracterización Tecnológica	30
3.2.1. Análisis Granulométrico y Químico	32
3.2.2. Deslamado	35
3.2.3. Líquido Denso	37
3.2.4. Pruebas Metalúrgicas	38
3.3. Caracterización Mineralógica	39
3.3.1. Microscopía Óptica	39
3.3.2. Difracción de Rayos X	40
3.3.3. Microscopía Electrónica de Barrido	42
IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS	43
4.1. Muestra con CPX-01 – Alúmina Alta	43
4.2. Muestra con CPX-02 – Manganeso Alto	50
V. CONCLUSIONES.....	62
VI. POSIBLES APLICACIONES DE LAS METODOLOGÍAS EMPLEADAS EN LA CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA Y MINERALÓGICA DE LA MENA DE HIERRO EN EL YACIMIENTO DE HIERRO DE PASCUALES – ECUADOR	64
APÉNDICES	65
BIBLIOGRAFÍA	119

ABREVIATURAS

Al_2O_3	Alúmina
BIF	Formaciones Ferríferas Bandeadas
cm	Centímetros
ej	Ejemplo
Fe	Hierro
gr	Gramos
ICP	Espectrometría de emisión a plasma
kg	Kilogramos
km^2	Kilómetro Cuadrado
LO	Lump Ore (mineral de tamaño grueso)
l	Litro
m	Metro
ml	Mililitro
mm	Milímetros
Mn	Manganeso
P	Fósforo
PFF	Pellet Fines Feed (mineral de tamaño fino)
PPC	Pérdida por calcinación
ROM	Mena extraída directamente de la mina
S	Azufre
SF	Sinter Feed (mineral de tamaño medio)
SiO_2	Sílice



SIMBOLOGÍA

ϕ	=	diámetro
$^{\circ}\text{C}$	=	grados centígrados
#	=	mesh
"	=	pulgadas

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla I – Resultados de la prueba piloto realizada con las muestras recolectadas de la galería 3	25
Tabla II – Análisis químico de las pilas muestreadas de la galería 3	28
Tabla III – Características generales de las muestras del ROM CPX	31
Tabla IV.1 – Análisis químico por fracción granulométrica del ROM de la muestra CPX-01	44
Tabla IV.2 – Análisis químico por fracción de los productos del ROM – Muestra CPX-01	45
Tabla IV.3 – Análisis químico de la fracción PFF + Lamas – Muestra CPX-01	46
Tabla IV.4 – Análisis químico de los productos de deslamado – Muestra CPX-01	48
Tabla IV.5 – Líquido Denso – Muestra CPX-01	49
Tabla V.1 – Análisis químico por fracción granulométrica del ROM de la muestra CPX-02	51
Tabla V.2 – Análisis químico por fracción de los productos del ROM – Muestra CPX-02	52
Tabla V.3 – Análisis químico de la fracción PFF + Lamas – Muestra CPX-02	53
Tabla V.4 – Análisis químico de los productos de deslamado – Muestra CPX-02	54
Tabla V.5 – Líquido Denso – Muestra CPX-02	56
Tabla VI.1 – Evaluación del LO de la muestra CPX-02 (12/94)	57
Tabla VI.2 – Evaluación del LO de la muestra CPX-02 (06/99)	58
Tabla VII – Análisis Mineralógico por Microscopía Óptica de Luz Reflejada (UFOP) por fracción granulométrica	60
Tabla VIII – Análisis Mineralógico por Difractometría de Rayos X (UFMG). Fracción de Lamas	61

INTRODUCCION

La Escuela Superior Politécnica del Litoral - ESPOL y la Universidad Federal de Ouro Preto - UFOP, son universidades que forman parte del Convenio ALFA. Entre sus planes de intercambio estudiantil, la UFOP consiguió una pasantía por un tiempo de seis meses en una prestigiosa empresa brasileña, Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR, en la que desarrolle mi tesis de graduación bajo la orientación del Dr. Paúl Carrión Mero por la ESPOL, del Dr. Júlio César Méndes por la UFOP y de la Ing. Rita Virgínia da Silva por parte de la MBR.

La Empresa Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR es la segunda mayor productora de mena de hierro en Brasil y se ubica en cuarto lugar como mayor exportadora de hierro en el mundo. Cuenta con una reserva de 5,6 billones de toneladas de hierro de alto tenor, de los cuales, 1,5 billones constituyen hematita compacta ($\text{Fe} \geq 64\%$) y 4,1 billones constituyen itabirito rico ($64\% \geq \text{Fe} \geq 45\%$). Toda esta reserva está distribuida en las cinco minas que posee actualmente en explotación, con un porcentaje de producción respectivo de:

Aguas Claras	-	16,6%
Mutuca	-	27,8%
Pico	-	43,8%
Tamanduá	-	8,5%
Capitão do Mato	-	3,3%

Entre sus proyectos de largo plazo, la MBR tiene previsto para el año 2000, iniciar la explotación de un nuevo yacimiento, Capão Xavier, el que junto con las minas Pico, Tamanduá y Capitão do Mato van a representar las mayores reservas en explotación de la empresa. Las Minas Aguas Claras y Mutuca se encuentran ahora en fase de cierre de la mina.

Antes de comenzar la explotación de un yacimiento, es preciso saber cuales son las características que posee la mena, es por esta razón que surgió la necesidad de realizar con la mena del Yacimiento Capão Xavier, una caracterización tecnológica, para conocer sus propiedades físicas, químicas y mineralógicas visualizando las metodologías a aplicarse en el proceso de beneficio y también una caracterización mineralógica, para conocer sus características, tanto cualitativas como cuantitativas.

Todos los trabajos desarrollados en este estudio se realizaron en los laboratorios del Centro de Pesquisas - Miguelão de la MBR, excepto algunos de carácter fundamental que fueron realizados en los laboratorios de la Universidad Federal de Ouro Preto (UFOP) y de la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG).

I. GEOLOGÍA⁽¹⁾

1.1. Geología Regional

El Cuadrilátero Ferrífero está localizado en la parte central del Estado de Minas Gerais, en la región sudeste de Brasil (Figura I). Ocupa una área de aproximadamente 7000 km². Está representado principalmente por cinco unidades estratigráficas: Basamento Cristalino, Supergrupo Rio das Velhas, Supergrupo Minas, Intrusivos del Post-Minas y Grupo Itacolomí (Figura II).

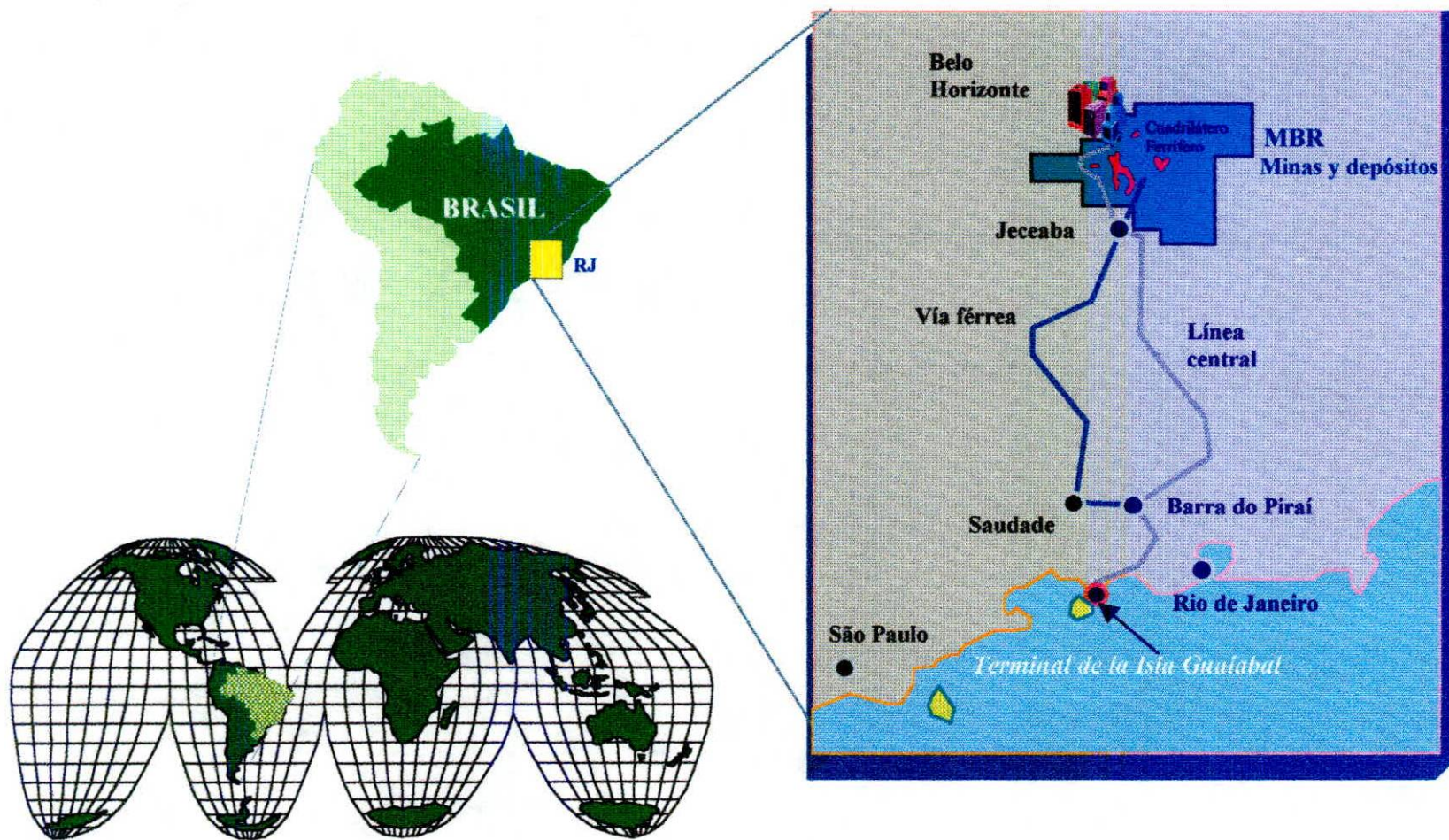
1.1.1. Basamento Cristalino

Tiene una antigüedad que va desde 3200 a 2900 millones de años. Comprende el Complejo Basal gneis/migmatita y dos formaciones del Plutonismo Arcaico Tardío. Estas rocas se presentan alrededor del Cuadrilátero Ferrífero y como un cuerpo interno, el Complejo Bação.

1.1.2. Supergrupo Rio das Velhas

Esta unidad tiene de 2780 a 2610 millones de años en antigüedad. Comprende una secuencia volcánico-sedimentaria compuesta

Figura I - Mapa General de Localización del Cuadrilátero Ferrífero



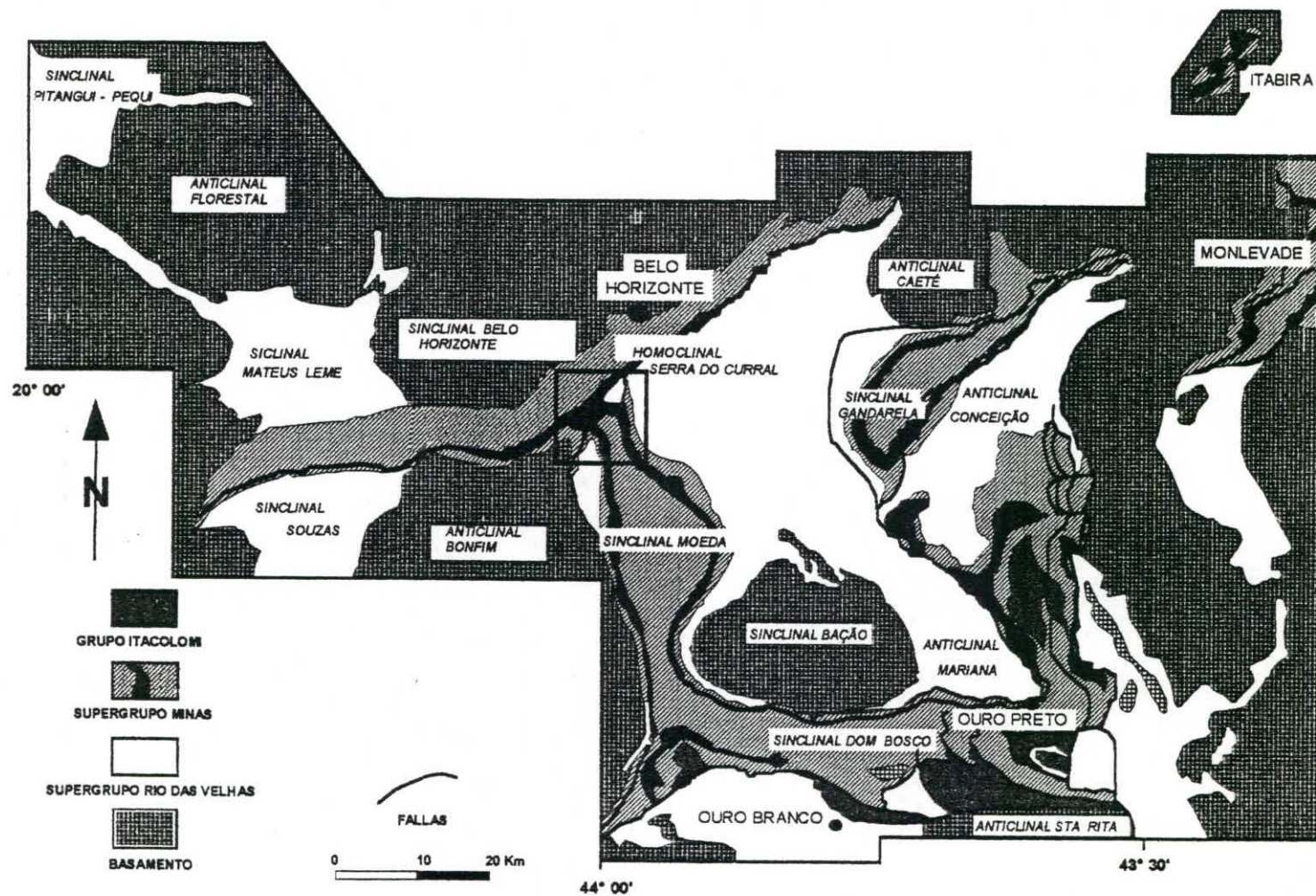


Figura II : Mapa Geológico Resumido del Cuadrilátero Ferrífero.

principalmente por greenstone (roca verde), basalto y komatita, lavas riolíticas e intercalaciones de unidades sedimentarias incluyendo formaciones bandeadas ferríferas (capas de hierro) llamadas BIF (Banded Iron Formations). Estas BIF carecen de importancia económica, excepto los horizontes cargados de hierro. Algunos de estos horizontes están asociados con mineralización de oro. El Supergrupo Rio das Velhas representa el clásico cinturón de greenstone del Arcaico.

1.1.3. Supergrupo Minas

Esta unidad consiste de una secuencia metasedimentaria con una antigüedad de 2600 a 2000 millones de años. Forma una importante cordillera que sobrepasa los 500 m de altura. La unidad basal del Supergrupo Minas esta constituida de conglomerado aluvial y arenisca, el Grupo Caraça, sobre el que esta superpuesta una extensa región de BIF que incluye toda la reserva de mena de hierro, llamada formación Cauê, esta formación descansa sobre una secuencia carbonatada, la Formación Gandarela. Esas dos formaciones forman la secuencia química sedimentaria llamada Grupo Itabira.

1.1.4. Intrusivos del Post-Minas

Con una antigüedad de 1700 millones de años. Las intrusiones cortantes del Supergrupo Minas incluyen principalmente diques máficos con una dirección Norte – Sur a NO – SE.

1.1.5. Grupo Itacolomí

Formada por dos facies, una constituida de cuarcita conglomerática con sericita, lentes de conglomerado e intercalaciones de filita, y la segunda facies compuesta de cuarcitas sericíticas, con estratos y lentes de conglomerado y filita.

El mapa geológico regional del Cuadrilátero Ferrífero define una estructura en forma de anticlinal y de sinclinal, donde el Basamento Arcaico se presenta en anticlinales rodeado por sinclinales dentro del Supergrupo Rio das Velhas y Supergrupo Minas. Existen extensos sinclinales y un extenso homoclinal, la Serra do Curral.

Las rocas del Supergrupo Rio das Velhas han sido fuertemente deformadas previamente a la deposición del Supergrupo Minas y en consecuencia a la situación del anticlinal. Por lo tanto, hay dos grupos de

estructuras marcantes del Post-Minas, las cuales aparentemente no representan una relación geométrica con los anticlinales. Un grupo con inclinación NE-SO, comprende los sinclinales Gandarela, Itabira y Monlevade. El segundo grupo incluye una sucesión de fallas como límite oeste, las cuales están mas desarrolladas al este del Cuadrilátero Ferrífero.

En segundo plano, plegamientos mesoscópicos están asociados a texturas tectónicas penetrantes (ej.: esquistosa, foliaciones miloníticas, delineamientos alargados) ocurre igualmente en toda la región. El delineamiento alargado y los plegamientos mesoscópicos tienen inclinación preferencial S80° E.

Los grados del metamorfismo progrado, separados por una fase de metamorfismo retrogrado han sido reconocidos en las rocas del Proterozoico. El metamorfismo varía desde un esquistos verde menor hasta facies mayores de anfíbolito, y hay un incremento general con dirección E.



1.2. Formación Cauê

La Formación Cauê es una facies oxidada compuesta por formaciones bandeadas (BIF), intercaladas finas y oscuras que pueden variar de pocos milímetros a pocos centímetros de espesor.

Dependiendo de la mineralogía, en el Cuadrilátero Ferrífero se pueden encontrar tres tipos principales de itabirito (roca compuesta por Fe oxidado y minerales de sílice):

- Itabirito estándar (común), esta compuesto de estratos alternados de cuarzo y hierro oxidado.
- Itabirito dolomítico que presenta estratos alternados de dolomita y hierro oxidado.
- Itabirito anfibólico compuesto de estratos alternados de cuarzo y hierro oxidado contiene también anfíboles como minerales secundarios.

El itabirito estándar es predominante en el Cuadrilátero Ferrífero. Los otros dos tipos ocurren como lentes dentro de la Formación Cauê, los

cuales forman cuerpos que varían de menos de 10 millones de toneladas hasta más de 500 millones de toneladas en reserva. El cuerpo de itabirito dolomítico ocurre comúnmente en la parte oeste del Cuadrilátero Ferrífero y el itabirito anfibólico comúnmente en el este.

De acuerdo con Dorr II (1964), el espesor máximo de la Formación Cauê se estima en 350 m, debido al comportamiento plástico de este tipo de rocas, el espesor se incrementado hasta 1500m en algunos lugares debido al tectonismo.

Capão Xavier aparece dentro de la Formación Cauê, entre dos importantes sistemas de fallas, una de ellas es la Falla de Mutuca. El yacimiento esta localizado en una zona de transición entre una estructura homoclinal hacia el norte y una estructura sinclinal al sur (Figura III).

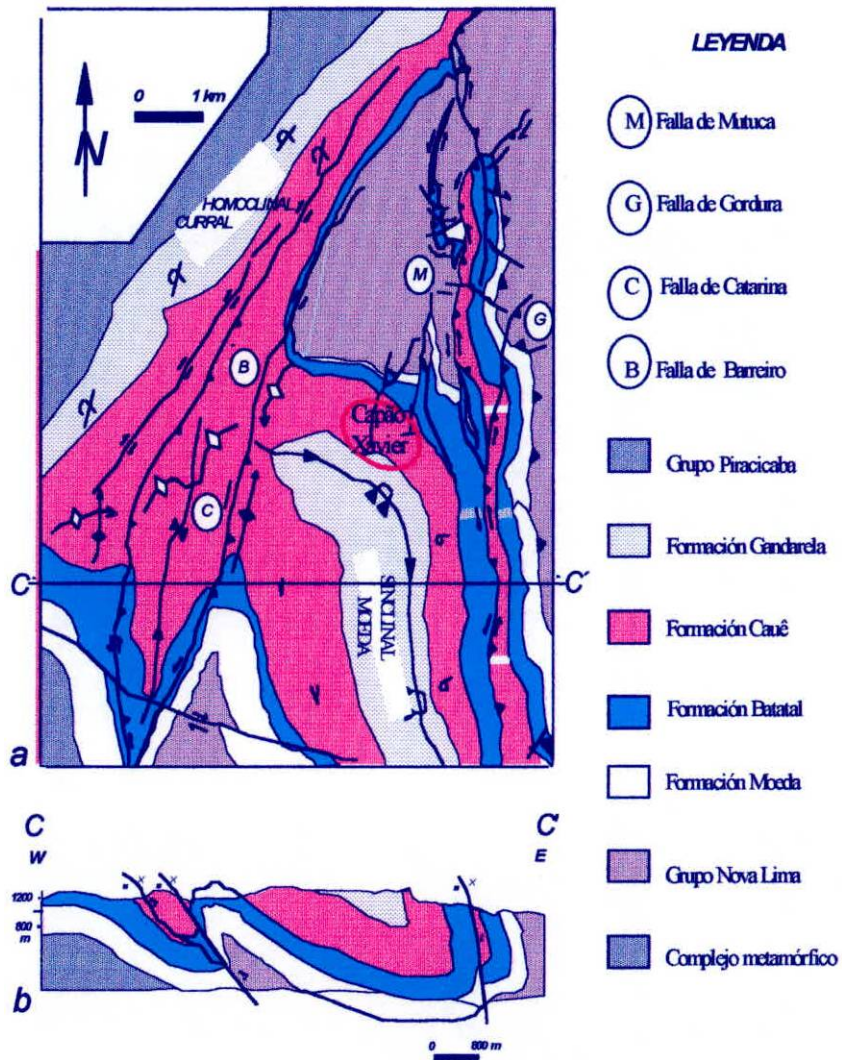


Figura III – A) Mapa Geológico, B) Sección Vertical, de Capão Xavier y áreas circundantes.

1.3. Geología Local

1.3.1. Geología del Yacimiento Capão Xavier

El yacimiento Capão Xavier está localizado en el municipio de Nova Lima, aproximadamente a 15 km al sureste de la ciudad de Belo Horizonte, en el estado de Minas Gerais, Brasil (Figura IV).

Fisiográficamente representa el extremo norte de la Serra da Moeda, cuya altura media es de 1400 m.

Estructuralmente, el yacimiento Capão Xavier esta localizado en la zona de unión del Sinclinal Moeda y la Serra do Curral. El Sinclinal Moeda es la mayor estructura del Cuadrilátero Ferrífero, siendo éste su limite al occidente. Este plano axial esta orientado de N-S buzando hacia el este. Al norte, el Sinclinal Moeda se une con la Serra do Curral formando una estructura compleja, cuya superficie axial tiende hacia el oeste, asumiendo después una dirección E-O.

En toda la región, la topografía presenta elevaciones constituidas por cuerpos remanentes de itabiritos compactos, valles con acumulación de suelo, laterita, piedras redondeadas y bauxita, además de grandes y

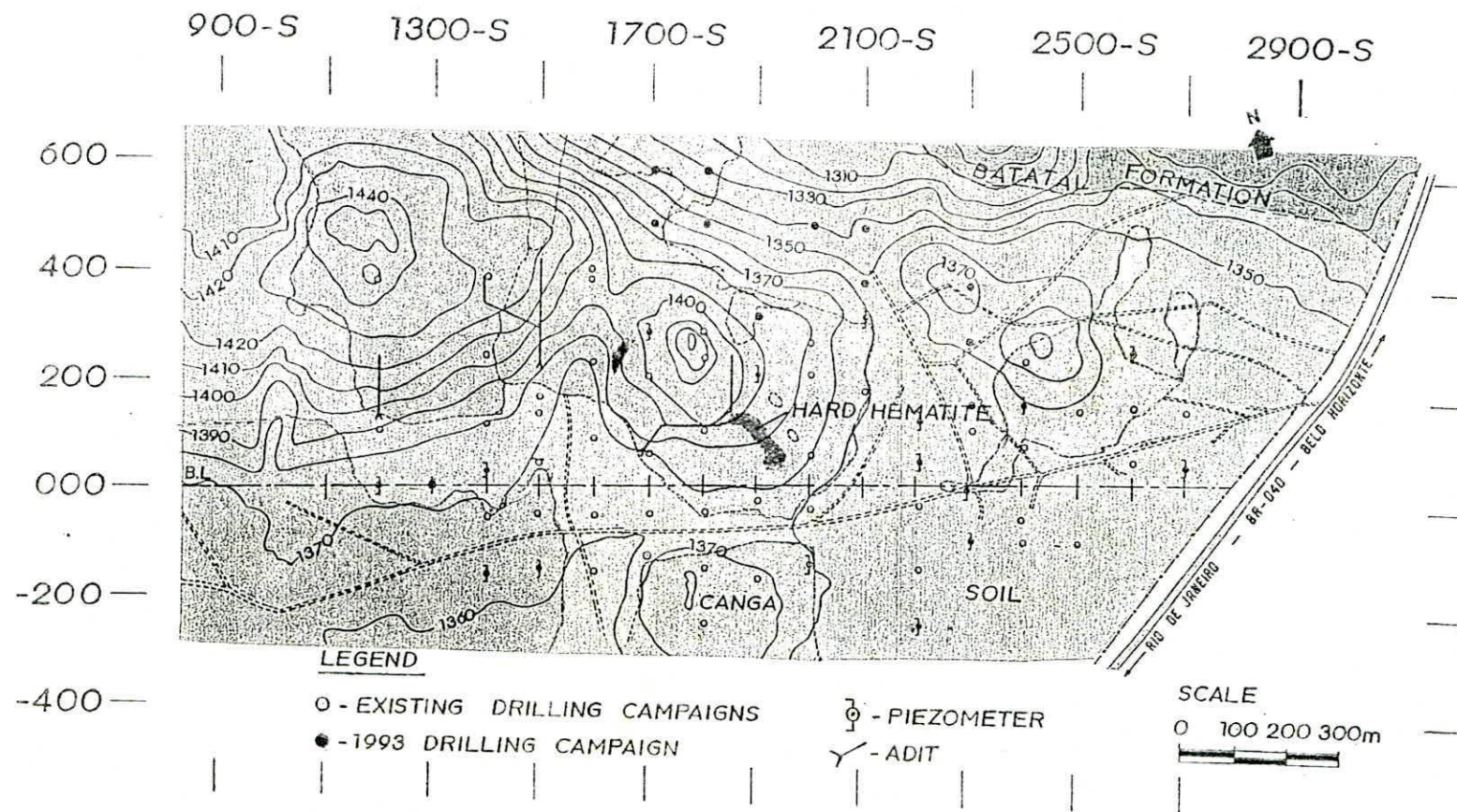


Figura IV – Mapa Geológico del Yacimiento Capão Xavier

moderadas planicies de canga (roca de Fe con alto contenido de impurezas) rodada.

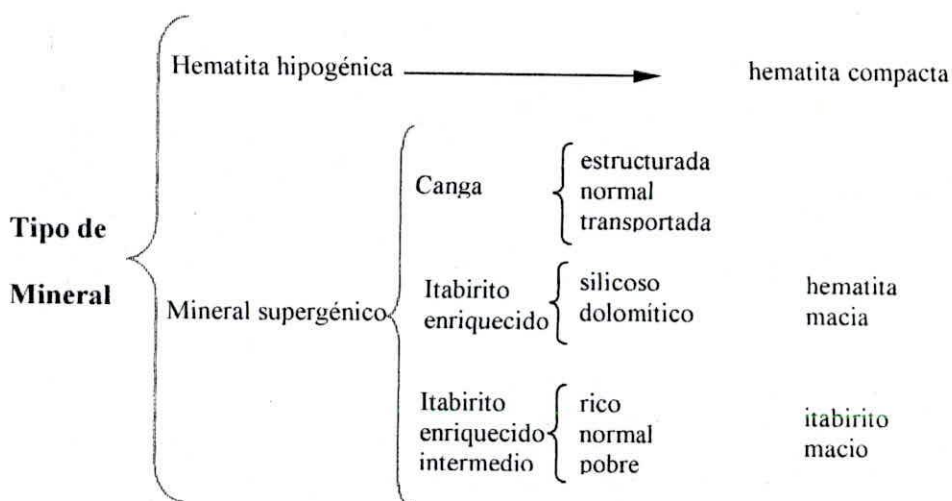
Entre los años 1960 y 1993, fueron realizadas varias campañas de exploración, en donde se perforaron un total de 92 barrenos, con una profundidad media de 150 m. Como resultado de esta exploración, se estima que las reservas de mena de hierro, ya sean de hematita o itabirito enriquecido, comprendidas en su mayor parte entre los niveles 1200 a 1370 m, varían de 5 a más de 10 millones de toneladas en reserva explotable.

II. MENA DE HIERRO ⁽¹⁾



2.1. Clasificación Genética

Todos minerales explotados hasta ahora en Brasil, son productos de una alteración natural del itabirito original, una clasificación muy general modificada de acuerdo con Dorr es la siguiente:



En Brasil, en lugar de los nombres “itabirito enriquecido” e “itabirito enriquecido intermedio”, los nombres “hematita macia” ($Fe \geq 64\%$) e “itabirito macio” ($Fe < 64\%$), respectivamente, son más comunes.

Los nombres hematita hipogénica, hematita compacta o mena metasomático, son usados para describir cuerpos de hematita compacta

muy rica ($\text{Fe} > 64\%$) y masiva, que fueron generados por procesos tectónicos y metamórficos. Estos cuerpos están rodeados por otros tipos de itabirito, y pueden variar de 5 a más de 50 millones de toneladas. Luego del beneficio, este tipo de mineral produce una alta proporción, más del 50%, de lump ore (mineral de granulometría gruesa), haciéndolo un material muy valioso.

La mayor parte de la reserva de mena de hierro del Cuadrilátero Ferrífero, fue enriquecida por procesos supergénicos, a la vez formó una corteza de canga la cual descansa sobre materiales friables (no alterados): hematita e itabirito.

La corteza de canga es resistente a la erosión y forma grandes estratos de BIF, superiores a los 500 m de espesor, sobre las regiones menos resistentes del basamento o greenstone. Esto crea las condiciones para que vertical y horizontalmente, las aguas de circulación lixivien la sílice y la dolomita del itabirito, quedando así solo la mena. La lixiviación es más intensa en el material residual. Este proceso puede generar algunos cuerpos de mena de hematita pura. Si el proceso no fuese eficiente, como generalmente ocurre, es generado itabirito friable. Como consecuencia del proceso descrito, hay una general y continua disminución del hierro y un

incremento en el contenido de sílice y en consecuencia del itabirito friable hasta el contacto con el itabirito alterado.

2.2. Tipo de rocas y grado de mineralización del yacimiento

Dependiendo de la intensidad de los procesos de lixiviación bajo condiciones climáticas tropicales asociadas en menor proporción a algunos mecanismos metasomáticos la mineralización, se incrementó una clasificación de los diferentes tipos de rocas ferríferas descritas a continuación. Dentro de esos tipos de rocas, principalmente la hematita es considerada como mena:

Hematita. Con un tenor alto en hierro ($\text{Fe} \geq 64\%$) se formó a partir de itabiritos por procesos supergénicos y metamórficos.

Itabirito. Es una roca de origen sedimentario marino que ha sufrido metamorfismo, bandeada, compuesta por hierro y minerales de sílice químicamente precipitados y cristalizados. Esta es una de las rocas predominantes del Cuadrilátero Ferrífero.

La MBR tiene su propia clasificación del itabirito de acuerdo con el contenido de hierro, como:

Itabirito rico: $45\% \leq \text{Fe} < 64\%$

Itabirito normal: $30\% \leq \text{Fe} < 45\%$

AIF (Formación Ferrífera Arcillosa). Esta representada por facies de arcilla de la Formación Ferrífera presentando un tenor de Fe de 60% y $\text{Al}_2\text{O}_3 > 4\%$. Se presenta intercalada con otros tipos de material de la formación ferrífera donde predominan los carbonatos. En general su espesor varía de fino a muy fino.

CIF (Formación Ferrífera Carbonatada). También llamado itabirito dolomítico, constituye la protomena del enriquecimiento supergénico de los depósitos de hematita del Cuadrilátero Ferrífero.

Canga. Es una roca ($\text{Fe} > 60\%$), compuesta por limonita, goethita y algunas veces por hematita. Se presenta en forma de una corteza o capa endurecida, cubriendo casi por completo la superficie del depósito. Puede contener una gran cantidad de pebbles o bloques de hematita cementada dando un aspecto rugoso (hematita de canga); con restos del material de la estructura original (canga estructurada), o en forma amorfa mezclada con laterita (suelo de canga). La canga en general, contiene un alto tenor de P ($\geq 0.12\%$) y Al_2O_3 ($\geq 4\%$).

2.3. Descripción del cuerpo de mineral

El yacimiento Capão Xavier esta constituido principalmente por un cuerpo de hematita, que comprende un área de 320000 m², con 400 m de espesor y una profundidad que varia de 100 a 260 m, tiene una orientación general que va de este a oeste, con inclinación subhorizontal en la parte norte e inclinación 70°S en la parte sur.

La hematita presente esta rodeada por itabiritos silíceos, los que están localizados sobre lentes de itabirito dolomítico, siendo este último la mena original de la mena friable supergénico característico del depósito. La hematita descansa sobre lentes de itabirito dolomítico de la Formación Cauê, cerrando el contacto geológico con las dolomitas de la Formación Gandarela.

En la parte norte, en donde los estratos son subhorizontales, el enriquecimiento supergénico tiene en media 150 m en espesor, sobrepasando los 260 m en el sur, como una consecuencia del elevado ángulo de inclinación ahí presente, contribuyendo en la percolación y lixiviación de los fluidos. Debido a su origen supergénico, el porcentaje "in situ" de lump ore estimado para el depósito es bajo.

Una capa de arcillas asociada con una limitada sinclinal terciaria cubre parte de las rocas del Proterozoico principalmente sobre la Formación Gandarela. Procesos supergénicos generaron la deposición de bauxita en la parte superior del horizonte de arcilla (este depósito ya fue explotado) y generaron también un depósito de hematita de alto tenor debido a la lixiviación del itabirito dolomítico. Finalmente, una corteza de canga y/o suelo cubrió casi por completo el área.

2.4. Productos de mineral de hierro



Las especificaciones químicas y físicas de las materias primas (granulados y aglomerados) para la siderurgia son rigurosas, siendo exigidos productos con elevado tenor de hierro ($\%Fe > 64\%$) y bajo tenor de impurezas principalmente de P, SiO_2 , Al_2O_3 , S y álcalis (K_2O y Na_2O).

La MBR mantiene sus propias normas de calidad en cuanto a los productos que ofrece al mercado. Se muestran a continuación los porcentajes máximos aceptables de los elementos y compuestos contenidos en los productos y que son considerados como contaminantes:

P: $\leq 0,05 \%$

Al_2O_3 : $\leq 1,00\%$

SiO_2 : $\leq 1,40\%$

Mn: $\leq 0,20\%$

III. METODOLOGÍA

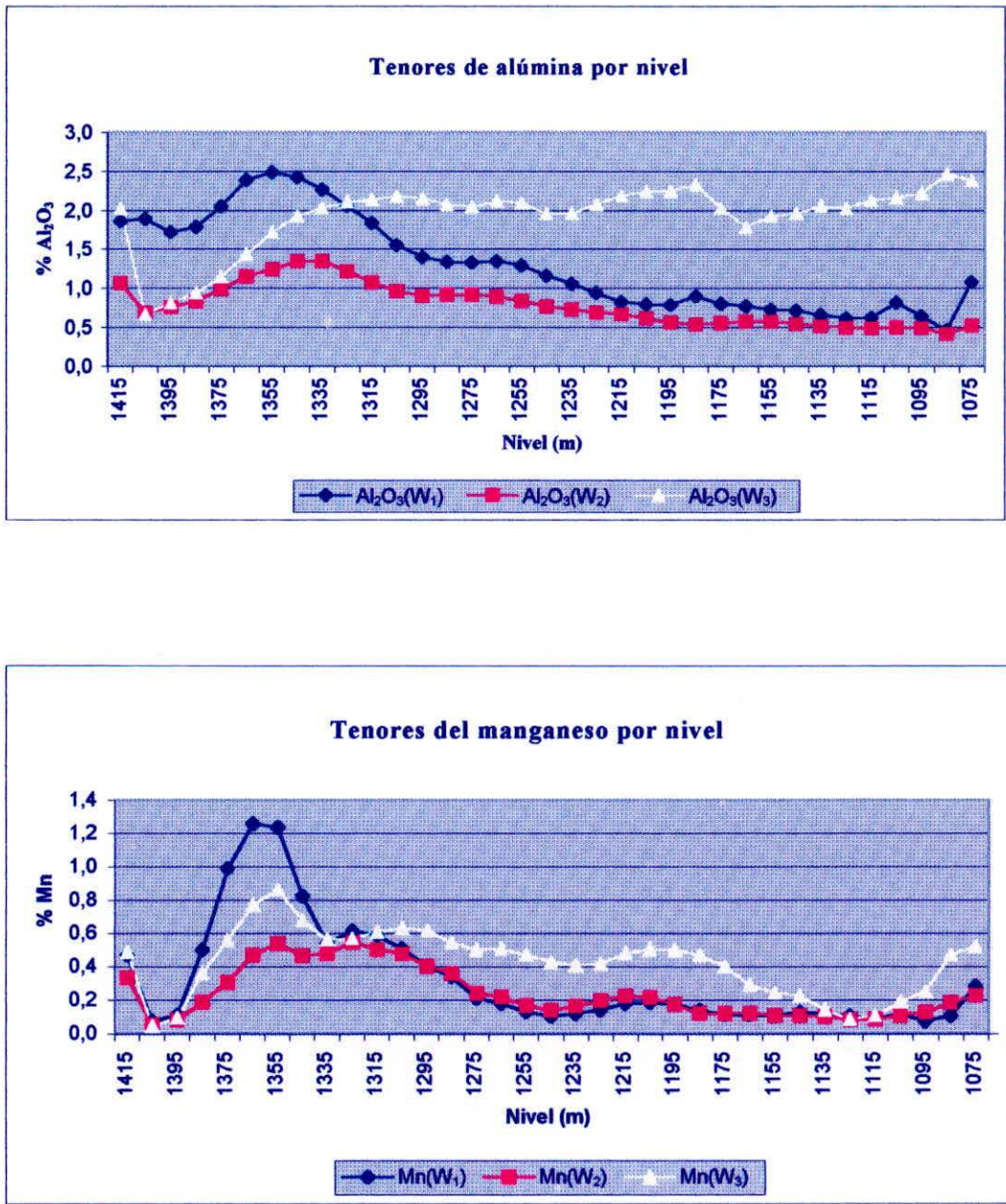
3.1. Selección y Obtención de las Muestras

La Figura V muestra la distribución por niveles de los tenores de Al_2O_3 y Mn en todo el Yacimiento Capão Xavier. Obsérvese que los niveles superiores (1335 a 1380) presentan los tenores más altos de alúmina y manganeso. En la Figura VI se pretende obtener una correlación por fracciones granulométricas entre estos tenores, pero como se puede observar, no existe ninguna relación entre los tenores de Al_2O_3 y Mn en el yacimiento.

La Figura VII, presenta la distribución de Al_2O_3 y Mn a lo largo de la galería 3. En la parte inicial de la galería, luego de un área de canga se ubica el área con alto tenor de Mn, y en la parte final de la galería, se muestra un área con alto tenor de Al_2O_3 en la fracción LO. Estas son las áreas de donde fueron tomadas las muestras para este trabajo.

La Tabla I, presenta los resultados por fracciones de productos, obtenidos de una prueba piloto que fue realizada (año 1994) con una mezcla de todas las muestras tomadas de la galería, se pueden observar los altos tenores de Al_2O_3 y Mn.

Figura V - Distribución por niveles de los tenores de Al_2O_3 y Mn en el yacimiento



$W_1 = -50 \text{ mm} + 6,3 \text{ mm}$; $W_2 = -6,3 \text{ mm} + 0,15 \text{ mm}$; $W_3 = -0,15 \text{ mm}$

Figura VI - Correlación Alumina-Manganeso por fracciones granulométricas en todo el yacimiento

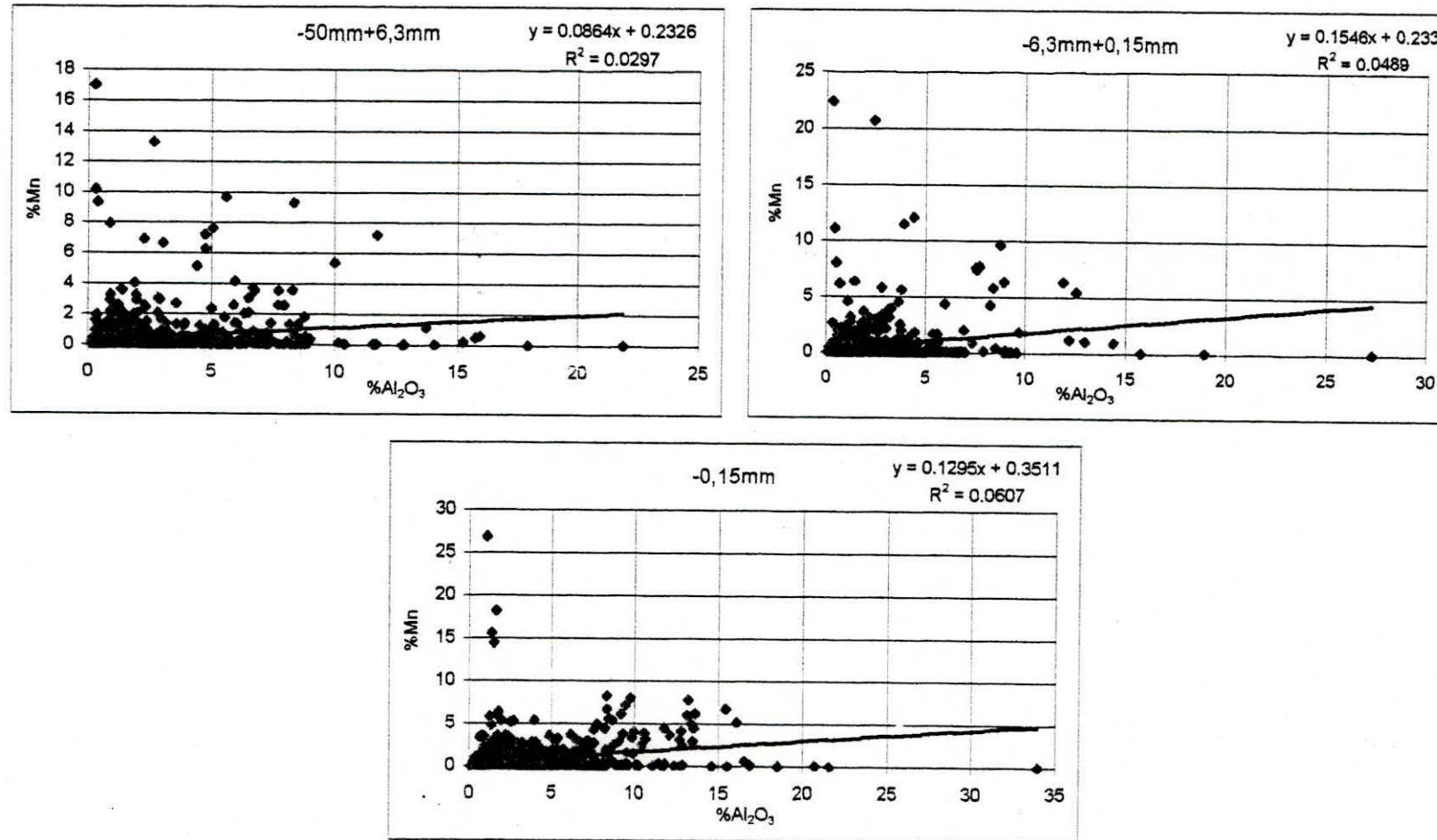


Figura VII - Distribución de Mn y Al_2O_3 a lo largo de la galería 3

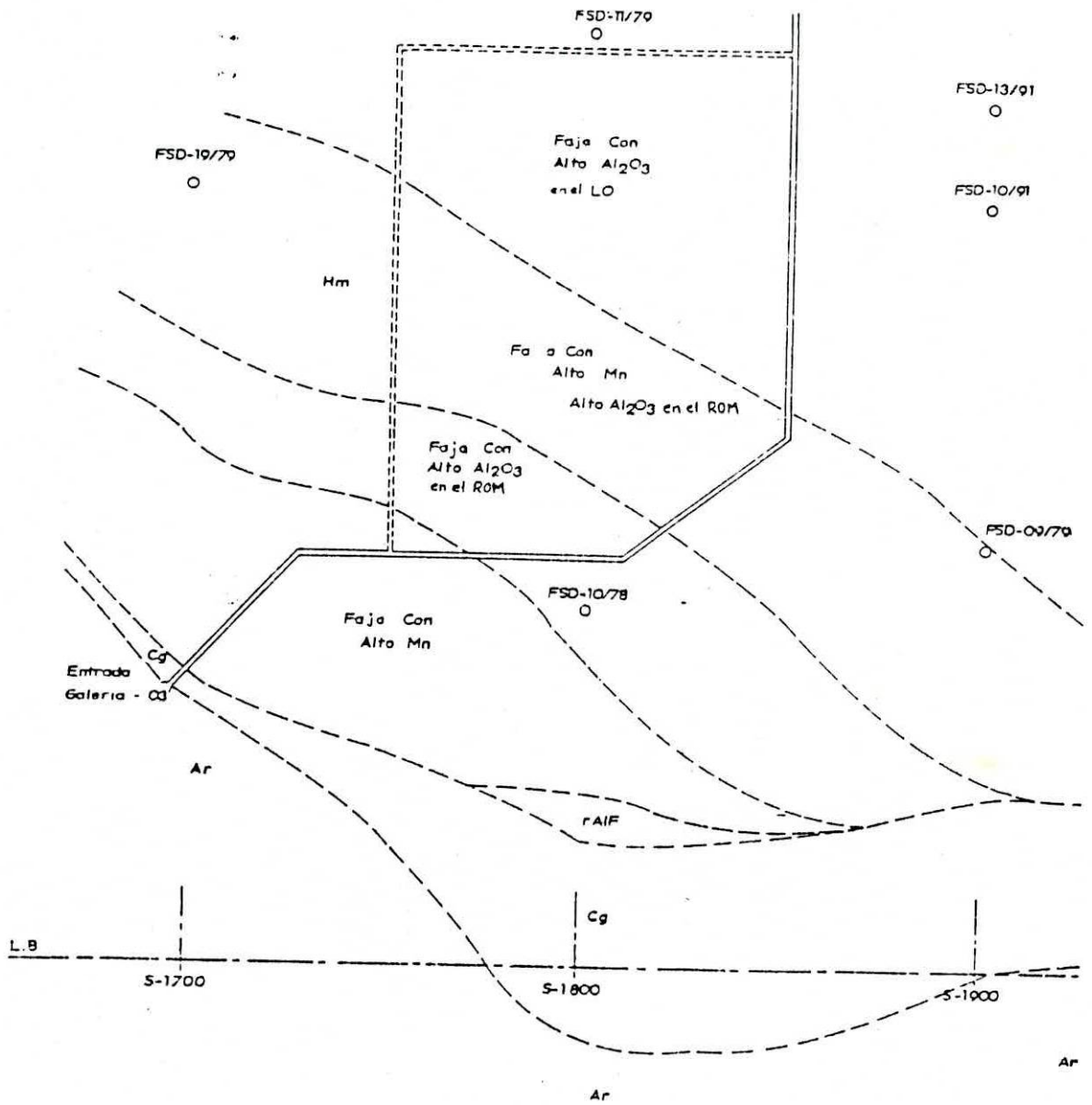


Tabla I – Resultados de la prueba piloto realizada con las muestras recolectadas de la galería 3 (Junio/94)

Cribas mm	%Retenido Simple	Tenores por Fracción (%)						Distribución de los Elementos %						Distrib. Acum. de los Elementos%						% Acumul.	Tenores Acumulados %					
		Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂		Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂
Cabeza Analizada		1.32	66.0	2.146	0.024	0.82	0.32																			
Cabeza Calculada	100.0	1.27	65.2	2.665	0.025	1.04	0.37																			
-37,5 +6,35 (LO + Hem)	29.3	1.41	64.6	3.562	0.022	0.85	0.21	32.5	29.0	39.2	26.1	23.9	16.6	32.5	29.0	39.2	26.1	23.9	16.6	29.30	1.41	64.6	3.562	0.022	0.85	0.21
-6,35 +0,15 (SF)	39.5	0.96	66.4	1.978	0.019	0.64	0.37	29.8	40.2	29.3	30.4	24.3	39.4	62.3	69.3	68.5	56.5	48.2	56.0	68.80	1.15	65.6	2.653	0.020	0.73	0.30
-0,15 Deslamado (PFF)	25.1	1.10	66.2	1.598	0.028	1.11	0.55	21.7	25.5	15.0	28.5	26.8	37.2	83.9	94.8	83.5	84.9	75.0	93.3	93.90	1.14	65.8	2.371	0.022	0.83	0.37
- 0,15 Lama	6.1	3.35	55.7	7.201	0.061	4.27	0.41	16.1	5.2	16.5	15.1	25.0	6.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.00	1.27	65.2	2.665	0.025	1.04	0.37
								100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0													

De entre las pilas de material extraído de la galería, 15 de ellas fueron muestreadas para este trabajo, la distribución de éstas pilas se puede ver en la Figura VIII.

Se recolectaron aproximadamente 100 kg por cada muestra, las mismas que fueron tratadas hasta obtener una alícuota representativa de 20 gr con un tamaño - 0,150 mm, con las alícuotas se realizó un análisis químico (cabeza), véase los resultados en la Tabla II.

Se puede ver en la Tabla II, que la muestra H contiene un alto tenor de alúmina (3,41%) y que la muestra 06 contiene un alto tenor de manganeso (12,97%). Considerando estas dos muestras como casos críticos e interesantes para estudiar, desde el punto de vista de la caracterización, se optó por seleccionarlas para realizar el presente trabajo.

En adelante, se denominará como muestra CPX-01 a la que contiene alto porcentaje de alúmina (Al_2O_3) y como muestra CPX-02 a la que contiene alto porcentaje de manganeso (Mn).

La Figura IX representa Flujograma general aplicado en el tratamiento de las muestras CPX-01 y CPX-02.

Figura VIII - Distribución de las pilas muestreadas

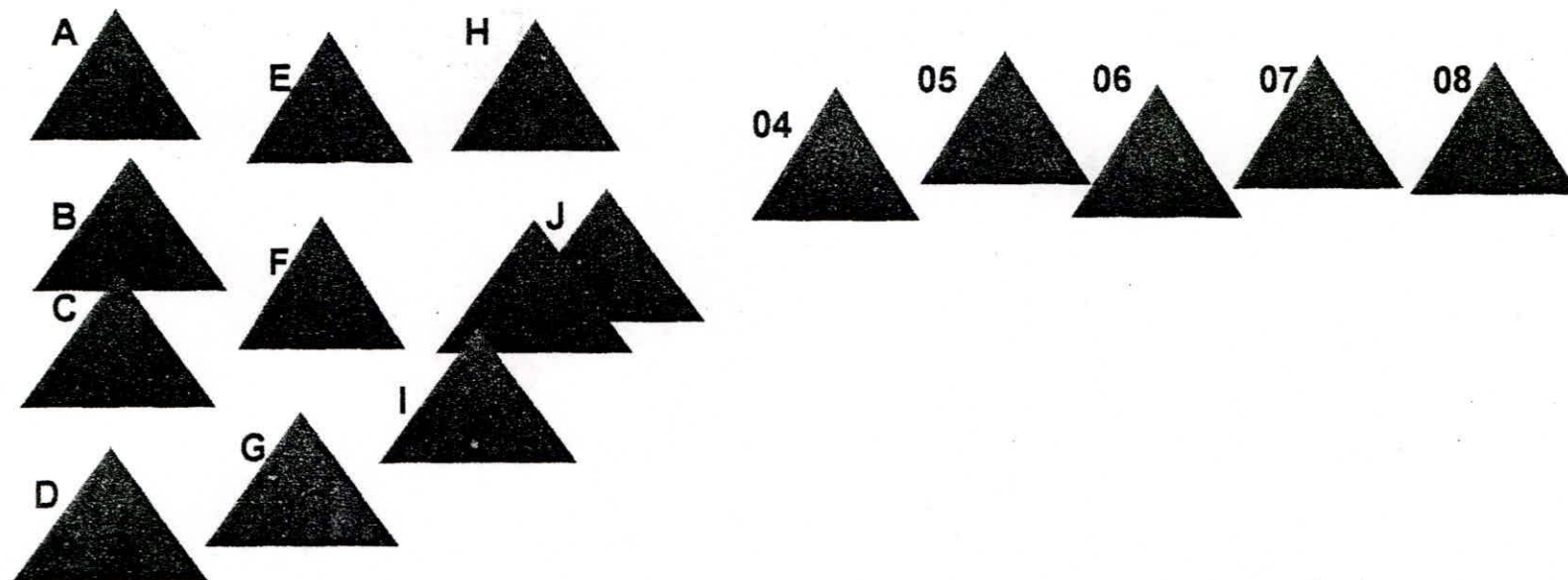


Tabla II – Análisis químico de las pilas muestreadas de la galería 3

MUESTRA	%Al ₂ O ₃	%Fe	%Mn	%P	%PPC	%SiO ₂
A	1.39	67.4	0.038	0.012	0.68	1.53
B	1.58	67.4	0.025	0.012	0.79	1.29
C	1.22	66.6	0.040	0.014	0.57	2.97
D	1.24	67.4	0.083	0.012	0.59	1.92
E	1.50	66.1	0.054	0.015	0.68	3.07
F	1.60	66.5	0.025	0.011	0.78	2.08
G	1.39	67.0	0.037	0.011	0.65	2.14
H	3.41	65.3	0.018	0.012	1.68	1.54
I	2.91	65.2	0.033	0.012	1.38	2.91
J	1.50	67.5	0.166	0.014	0.76	1.03
04	1.50	65.4	2.326	0.028	1.35	0.33
05	0.54	65.1	3.827	0.020	0.63	0.26
06	0.59	56.8	12.970	0.025	0.33	0.26
07	1.74	64.4	2.639	0.017	1.66	0.54
08	1.28	67.9	0.443	0.019	0.52	0.30

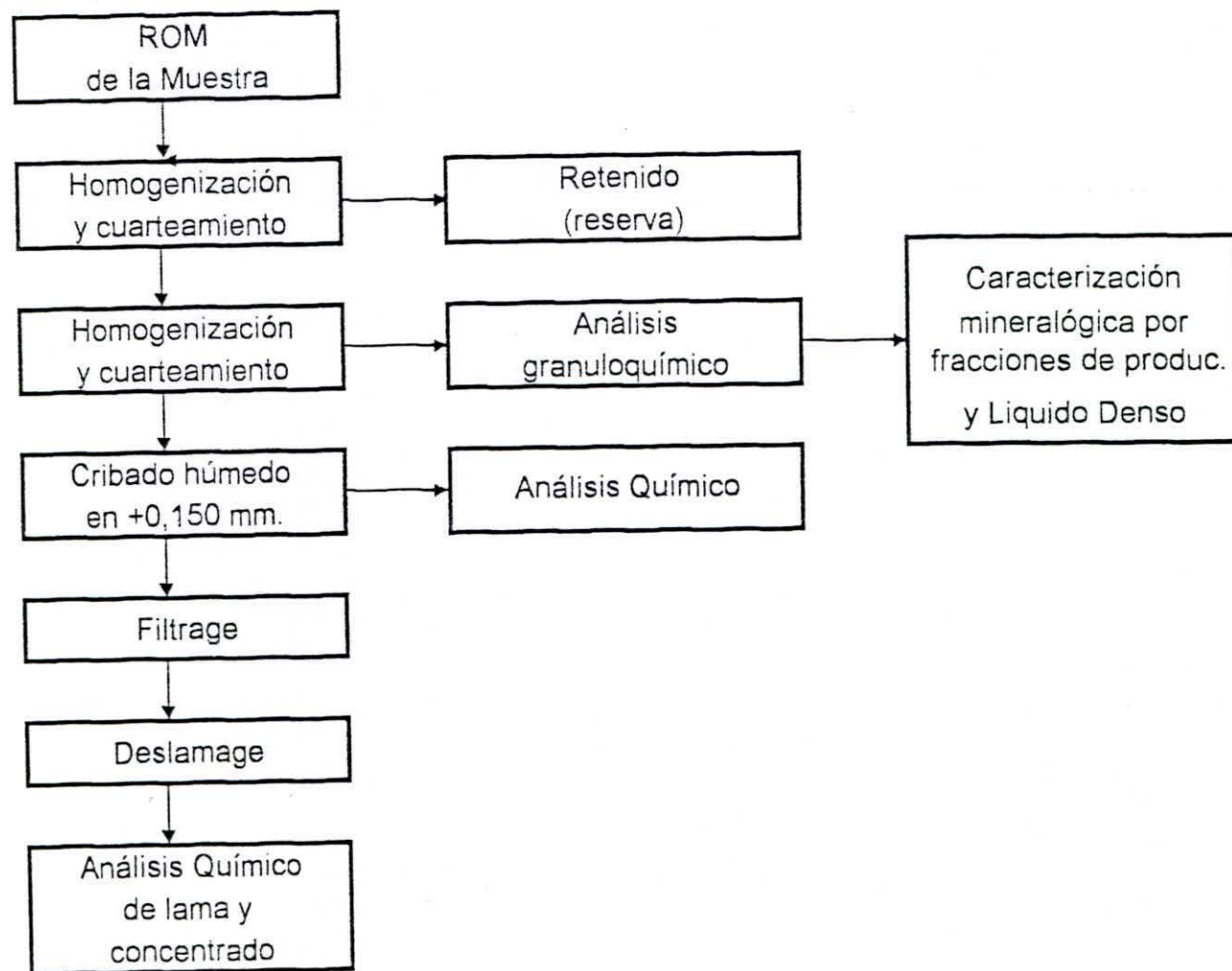


Figura IX - Flujograma general para el tratamiento de las muestras

3.2. Caracterización Tecnológica

La caracterización tecnológica de minerales estudia las propiedades físicas, químicas y mineralógicas frente a su empleo final o a su comportamiento en el proceso de beneficio. En este último caso, los estudios deben contemplar, además de los minerales valiosos, los minerales de ganga. Esta caracterización proporciona resultados de mucha importancia, entre estos se pueden citar: datos para el desarrollo de Flujogramas de beneficio, desempeño del mineral evaluado en el proceso de tratamiento, determinación de la calidad de los productos para su utilización, conocimiento de los diferentes tipos de mineral, y definición de las aplicaciones industriales mas indicadas para los productos obtenidos. Adicionalmente, la caracterización permite anticipar posibilidades de efectuar una planificación de la explotación más selectiva con relación a determinadas litologías.

Las metodologías empleadas para la caracterización tecnológica fueron: análisis granulométrico, análisis químico, deslamado, líquido denso y pruebas metalúrgicas.

Inicialmente se determinaron algunas características generales de las muestras (Tabla III).

Tabla III – Características generales de las muestras del ROM CPX

MUESTRA	% Humedad	% Retenido +31.5mm	Densidad aparente (t/m³)	Densidad real (g/cm³)
CPX - 01	7.60	2.15	1.99	4.92
CPX - 02	4.45	4.97	2.67	4.82

Obs.: Densidades aparentes y reales determinadas después de la trituración en -38,1mm.

3.2.1. Análisis Granulométrico y Químico

La Figura X presenta el flujograma aplicado en el análisis granulométrico y químico para cada muestra. Para el análisis químico de cabeza se tomó una alícuota representativa de toda la muestra, la cual fué sometida a trituración primaria en un triturador de mandíbulas, trituración secundaria en un triturador de conos, molienda primaria en un molino de rodillos, molienda secundaria en un molino de discos y pulverización, hasta obtener aproximadamente 20 gr en tamaño $-0,150$ mm.

Con otra alícuota se realizó el cribado y sub-cribado en húmedo en diferentes fracciones granulométricas. Para la elección de estas fracciones se consideró el análisis granuloquímico de cabeza de estudios anteriores realizado con el mineral del yacimiento Capão Xavier.

De acuerdo con los diferentes productos que la empresa MBR produce y considerando cortes granulométricos perfectos, lo que no ocurre realmente en la práctica industrial, estas fracciones son las siguientes:

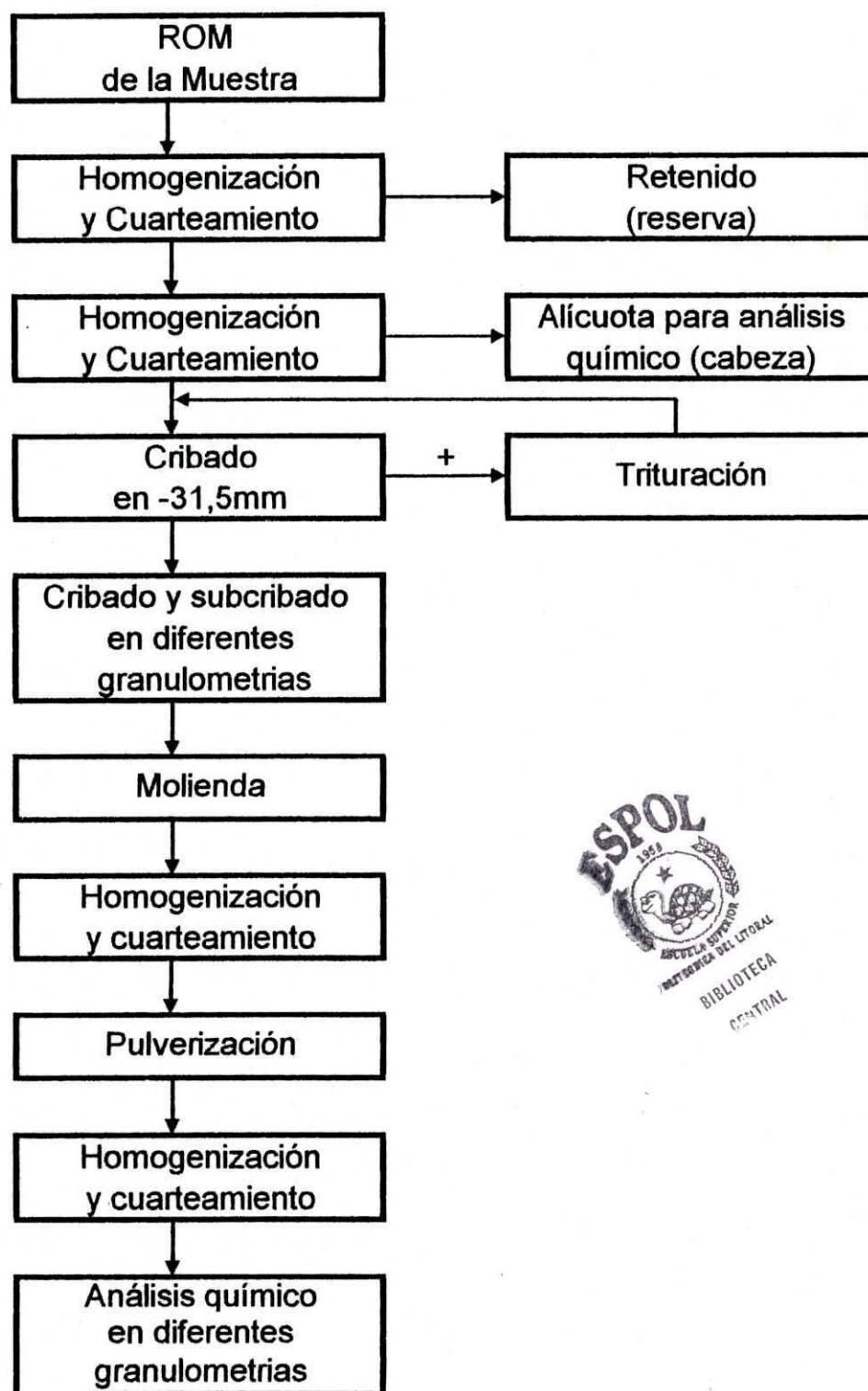


Figura X - Flujograma para análisis granulométrico y químico

Lump Ore + Hematitinha	$\left\{ \begin{array}{l} 31,50 \text{ mm} - 1 \frac{1}{4}'' \\ 25,00 \text{ mm} - 1'' \\ 19,00 \text{ mm} - \frac{3}{4}'' \\ 12,50 \text{ mm} - \frac{1}{2}'' \\ 6,35 \text{ mm} - \frac{1}{4}'' \end{array} \right.$
Pellet Feed Fine	$\left\{ \begin{array}{l} 2,36 \text{ mm} - 8 \# \\ 1,00 \text{ mm} - 16 \# \\ 0,30 \text{ mm} - 48 \# \\ 0,15 \text{ mm} - 100 \# \end{array} \right.$
Sinter Feed	$\left\{ \begin{array}{l} 0,106 \text{ mm} - 150 \# \\ 0,075 \text{ mm} - 200 \# \\ 0,045 \text{ mm} - 325 \# \\ 0,038 \text{ mm} - 400 \# \end{array} \right.$
Lamas (cyclosizer)	$\left\{ \begin{array}{l} 0,0299 \text{ mm} - 29,9 \mu\text{m} \\ 0,0217 \text{ mm} - 21,7 \mu\text{m} \\ 0,0164 \text{ mm} - 16,4 \mu\text{m} \\ 0,0113 \text{ mm} - 11,3 \mu\text{m} \\ -0,0113 \text{ mm} \end{array} \right.$

Para el cribado en húmedo de las muestras se utilizaron varias cribas cuadradas de la marca Manupen 500x500 mm, hasta una abertura de 0,038 mm y para el sub-cribado se utilizó un cyclosizer de la marca Warman en la granulometría menor a ese tamaño hasta - 0,0113 mm.

En las muestras resultantes de cada fracción granulométrica, se aplicó el mismo procedimiento, cada una por separado, hasta obtener alícuotas para análisis químico.

Los análisis químicos fueron realizados por vía húmeda en el Laboratorio Químico de la MBR, estos análisis fueron:

- Dicromatometría, para determinar el porcentaje de hierro total en la muestra.
- Espectrometría de emisión a plasma (ICP), para determinar los porcentajes de sílice, alúmina, manganeso, fósforo.
- Gravimetría: Pérdida por calcinación.

Véanse en el apéndice A los procedimientos para cada análisis químico.

3.2.2. Deslamado ⁽²⁾

Las lamas, según Somasundaran, es una mixtura de partículas ultrafinas (de tamaño entre 0,010 mm y 0,001 mm) y coloides (de tamaño menor

que 0,001 mm) siendo originadas naturalmente o generadas por las operaciones y procesos de conminución.

El deslamado fué realizado con el fin de disminuir o eliminar las lamas presentes en las muestras, y junto con ellas, los tenores de los elementos considerados como contaminantes.

El procedimiento padrón que la empresa MBR emplea para el deslamado es el siguiente:

1. Preparar las alícuotas para el deslamado.
2. Colocar la alícuota en una cuba de 2500 ml y adicionar agua destilada hasta obtener una pulpa de 40% de sólidos.
3. Agitar durante 3 min.
4. Interrumpir la agitación y dejar decantar por 5 min.
5. Sifonear la lama.
6. Repetir por dos veces más los números 2, 3 y 4
7. Decantar el deslamado y la lama, secar, pesar y enviar alícuotas para análisis químico.



3.2.3. Líquido Denso

Es un método de concentración gravimétrica basado en el principio de Arquímedes, que consiste en separar minerales en un medio pesado aprovechando la diferencia de densidad, los minerales pesados sedimentan y los livianos flotan. Esta prueba se realizó para determinar el grado de liberación de una especie mineral e investigar los posibles métodos para reducir o eliminar el tenor de los elementos considerados como contaminantes.

El líquido empleado en este método es Bromoformo, que tiene una densidad de $2,89 \text{ g/cm}^3$. Dependiendo de la granulometría de las muestras, las pruebas son realizadas en equipamientos diferentes, así:

- $+ 1/4'' (+6,35 \text{ mm})$, se utiliza un vaso de precipitación.
- $- 1/4'' + 65\# (-6,35 + 0,21 \text{ mm})$, se utiliza un embudo de vidrio.
- $-65\# + 400\# (-0,21 + 0,038 \text{ mm})$, se utiliza una centrifugadora.

Para este trabajo, las pruebas realizadas con la muestra CPX-01, fueron en las fracciones:

- $-2,36 + 1,00 \text{ mm}$ en vaso de precipitación.
- $-1,00 + 0,30 \text{ mm}$ en embudo de vidrio.

- -0,30 +0,150 mm en centrifugadora.

Para la muestra CPX-02, solo se realizó en la fracción -0,30 +0,150 mm en centrifugadora.

Véase en el Apéndice B los procedimientos para cada prueba de líquido denso.

3.2.4. Pruebas Metalúrgicas

Las pruebas metalúrgicas se realizaron con la fracción granulométrica correspondiente a LO (-50 mm a + 6,35 mm), que fueron obtenidas cribándose material adicional retirado de la pila 06 (CPX-02). Estas pruebas fueron:

- Determinación del índice de desgaste y abrasión.
- Determinación del índice de crepitación.
- Determinación del índice de reducción relativa.
- Determinación del índice de degradación luego de la reducción.

Véase en el Apéndice C los procedimientos para cada prueba metalúrgica.

3.3. Caracterización Mineralógica

Las técnicas aplicadas en la caracterización mineralógica permiten realizar el análisis cualitativo y/o cuantitativo de los minerales presentes, tanto de los de valor como de los de ganga, textura, estructura, tamaño de los cristales, asociaciones, grado de liberación, de alteración, de cohesión y de cristalización, composición química y tenores de los elementos.

Para la caracterización mineralógica de la mena de hierro, las metodologías empleadas fueron: microscopía óptica de luz reflejada y difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido.

3.3.1. Microscopía Óptica de Luz Reflejada

Además de ser una técnica de utilización simple y rápida, la microscopía óptica permite el análisis de grandes áreas. La resolución del microscopio óptico es determinada por la longitud de onda de la luz visible, que es relativamente alta. Por microscopía se puede observar gran parte de los cristales de un mineral, contorno, asociaciones y constituyentes microestructurales hasta 0,005 mm y permite realizar un análisis tanto cualitativo, como cuantitativo. Sobre el efecto de la luz polarizada, cada

grado de los minerales anisotrópicos aparece con un determinado color, para una determinada posición de la platina rotativa. La razón de este comportamiento se da porque las propiedades ópticas en estos minerales varían con las direcciones cristalográficas. La imagen del microscopio es bidimensional y su principal limitación es la pequeña profundidad del foco.

La caracterización por mineralogía óptica, se realizó para cada fracción de LO, SF y PFF, tomando una muestra representativa de cada una. Para un error menor del 3%, se debe procurar analizar un mínimo de 500 partículas de las muestras, para con ellas realizar una pastilla.

Esta pastilla es analizada en un microscopio óptico de luz reflejada de mayor intensidad, en donde se hace una descripción de los aspectos texturales y estructurales, así como también una cuantificación ponderal de los tenores de los elementos constituyentes. Las partículas más interesantes son fotografiadas.

Véase en el Apéndice D los resultados de este análisis mineralógico.

El análisis por microscopía óptica fue realizado en los laboratorios de la Fundación Gorceix de la Universidad Federal de Ouro Preto.

3.3.2. Difractometría de Rayos X

Para un análisis con mayor precisión de algunas texturas terrosas e identificación de partículas más finas, en este caso fueron las laminas, difíciles de analizar por microscopía óptica, se realizó difracción de rayos X. La difracción de rayos X por los cristales, es un proceso donde los rayos X son dispersados por los electrones de los átomos sin que ocurra cambio de la longitud de onda (dispersión coherente o de Bragg). Un grupo difractado es producido por la dispersión solo cuando algunas condiciones geométricas, expresadas por la Ley de Bragg, son cumplidas. La difracción resultante de un cristal, comprendiendo posiciones e intensidades de las líneas de difracción, es una propiedad física de la substancia, sirviendo no solo para identificarla sino también para el estudio de su estructura. La difracción de rayos X permite hacer un análisis cualitativo de poli o monocristales, no teniendo aplicación para materiales amorfos.

El análisis por difracción de rayos X fue realizado en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Federal de Minas Gerais.

3.3.3. Microscopía Electrónica de Barrido

Para el análisis por microscopía electrónica de barrido, se utiliza un microscopio de alta resolución acoplado con una microsonda, la cual permite el análisis químico puntual de partículas. Entre las principales ventajas de su utilización se pueden citar: alta resolución que permite hacer determinaciones químicas (cualitativa, semi-cuantitativa y cuantitativa) de partículas con diámetro de pocos micrones; el material es visualizado y analizado al mismo tiempo, lo que propicia correlacionar la morfología con la química de la muestra. Un análisis cuantitativo es realizado en base a la identificación de un grupo característico, por rayos X emitidos por determinados elementos de la muestra, a partir de su bombardeamiento por un grupo electrónico. La comparación de esa intensidad de la radiación con un padrón permite el análisis cuantitativo.

En este trabajo, el empleo de esta técnica permitió identificar las diferentes fases mineralógicas de los minerales de manganeso no identificables por las microscopía óptica de luz reflejada.

El análisis por microscopía electrónica de barrido fué realizado en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Federal de Minas Gerais.

IV. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Muestra CPX-01 – Alúmina Alta

Como verificación de la confiabilidad del análisis presentado en las diferentes tablas, se adoptó la comparación entre los tenores químicos de los elementos y compuestos de la muestra global o de cabeza. Con esto se verifica que en general, los resultados son confiables.

De acuerdo con los resultados presentados en las Tablas IV.1, IV.2, IV.3, se puede observar que a lo largo de las fracciones granulométricas, el tenor de la alúmina varía considerablemente, pero siempre en un porcentaje mayor al establecido como norma de calidad de la empresa, que debe ser como máximo 1,00%.

El porcentaje en masa de la muestra es bajo en la fracción de granulometría mayor (LO+Hm), pero aún así, más del 50% del tenor de la alúmina se concentra en esta fracción. Nótese que la fracción LO presenta un tenor del 10,74%.

En la fracción de los finos, la alúmina se concentra también en las granulometrías mas gruesas, 57% sobre el tamaño $-0,150\text{ mm}$ a $+45\text{ }\mu\text{m}$.

Tabla IV.1 – Análisis químico por fracción granulométrica del ROM de la muestra CPX-01

MUESTRA CPX-01			Tenores por Fracción (%)						Distribución de los Elementos (%)						Distribución Acum. de los Elem. (%)						Masa Acum.		Tenores Acumulados (%)					
mm	Masa	%ROM	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	g	%	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂
Cab. Analizada			2.64	66.1	0.020	0.012	1.48	1.48																				
Cab. Calculada	26303.8	100.0	2.81	65.8	0.018	0.012	1.60	1.46																				
+31,5	566.0	2.2	11.90	56.7	0.015	0.019	6.17	0.49	9.1	1.9	1.8	3.5	8.3	0.7	9.1	1.9	1.8	3.5	8.3	0.7	566.0	2.2	11.90	56.7	0.015	0.019	6.17	0.49
+25,0	376.0	1.4	12.50	56.1	0.014	0.016	6.40	0.49	6.4	1.2	1.1	2.0	5.7	0.5	15.5	3.1	2.8	5.5	14.0	1.2	942.0	3.6	12.14	56.5	0.015	0.018	6.26	0.49
+19,0	632.0	2.4	12.36	56.2	0.014	0.016	6.38	0.56	10.6	2.1	1.8	3.3	9.6	0.9	26.1	5.1	4.7	8.8	23.6	2.1	1574.0	6.0	12.23	56.4	0.014	0.017	6.31	0.52
+12,5	928.0	3.5	8.21	60.7	0.016	0.013	4.36	0.49	10.3	3.3	3.1	3.9	9.6	1.2	36.4	8.4	7.7	12.7	33.3	3.3	2502.0	9.5	10.74	58.0	0.015	0.016	5.59	0.51
+6,35	3464.0	13.2	4.11	65.3	0.014	0.011	2.26	0.50	19.3	13.1	10.0	12.4	18.6	4.5	55.7	21.5	17.7	25.2	51.9	7.8	5966.0	22.7	6.89	62.2	0.014	0.013	3.65	0.50
+2,36	3636.0	13.8	2.50	66.6	0.016	0.010	1.35	0.84	12.3	14.0	12.0	11.9	11.7	7.9	68.0	35.5	29.7	37.0	63.6	15.7	9602.0	36.5	5.23	63.9	0.015	0.012	2.78	0.63
+1,00	1780.0	6.8	2.14	64.9	0.016	0.011	1.20	3.82	5.2	6.7	5.9	6.4	5.1	17.7	73.2	42.1	35.6	43.4	68.7	33.4	11382.0	43.3	4.74	64.0	0.015	0.012	2.53	1.13
+0,30	1210.0	4.6	2.11	60.5	0.018	0.011	1.21	9.78	3.5	4.2	4.5	4.3	3.5	30.8	76.6	46.4	40.1	47.8	72.1	64.2	12592.0	47.9	4.49	63.7	0.015	0.012	2.41	1.96
+0,15	980.0	3.7	2.21	64.1	0.019	0.011	1.22	5.10	2.9	3.6	3.8	3.5	2.8	13.0	79.6	50.0	43.9	51.3	75.0	77.2	13572.0	51.6	4.33	63.7	0.016	0.012	2.32	2.19
+0,106	1396.0	5.3	1.72	67.2	0.016	0.010	0.97	1.33	3.3	5.4	4.6	4.6	3.2	4.8	82.8	55.4	48.5	55.8	78.2	82.0	14968.0	56.9	4.08	64.1	0.016	0.011	2.20	2.11
+0,075	1838.0	7.0	1.30	68.0	0.014	0.010	0.56	0.65	3.2	7.2	5.3	6.0	2.4	3.1	86.0	62.6	53.8	61.8	80.7	85.1	16806.0	63.9	3.78	64.5	0.016	0.011	2.02	1.95
+0,045	3764.0	14.3	1.01	68.3	0.014	0.010	0.56	0.65	5.2	14.9	10.9	12.3	5.0	6.4	91.2	77.5	64.7	74.1	85.7	91.5	20570.0	78.2	3.27	65.2	0.015	0.011	1.75	1.71
+0,038	812.0	3.1	0.91	68.1	0.019	0.010	0.61	0.66	1.0	3.2	3.2	2.7	1.2	1.4	92.2	80.7	67.9	76.8	86.9	92.9	21382.0	81.3	3.18	65.3	0.015	0.011	1.71	1.67
+0,0299	717.2	2.7	0.27	69.2	0.018	0.010	0.47	0.31	0.3	2.9	2.7	2.3	0.8	0.6	92.5	83.6	70.6	79.1	87.7	93.4	22099.2	84.0	3.09	65.4	0.015	0.011	1.67	1.63
+0,0217	1019.9	3.9	0.81	68.5	0.020	0.011	0.56	0.45	1.1	4.0	4.2	3.7	1.4	1.2	93.6	87.6	74.8	82.8	89.0	94.6	23119.1	87.9	2.99	65.6	0.016	0.011	1.62	1.57
+0,0164	1276.0	4.9	1.22	67.4	0.023	0.012	1.96	0.73	2.1	5.0	6.1	5.0	6.0	2.4	95.7	92.6	80.8	87.8	95.0	97.1	24395.1	92.7	2.90	65.7	0.016	0.011	1.64	1.53
+0,0113	1193.8	4.5	1.19	68.0	0.033	0.014	0.72	0.56	1.9	4.7	8.1	5.5	2.0	1.7	97.6	97.3	88.9	93.2	97.0	98.8	25588.9	97.3	2.82	65.8	0.017	0.011	1.59	1.49
-0,0113	714.9	2.7	2.46	66.1	0.075	0.029	1.75	0.65	2.4	2.7	11.1	6.8	3.0	1.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	26303.8	100.0	2.81	65.8	0.018	0.012	1.60	1.46
									100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0														

Tabla V.2 – Análisis químico por fracción de productos del ROM – Muestra CPX-02

MUESTRA CPX - 02			Tenores por Fracción (%)						Distribución de los Elementos (%)						Distribución Acum. de los Elem. (%)						Masa Acum.		Tenores Acumulados(%)					
mm	Masa	%ROM	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	g	%	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂
Cabeza Analizada			0.52	56.3	13.230	0.027	0.88	0.20																				
Cabeza Calculada	37648.9	100.0	0.53	55.0	14.279	0.074	1.05	0.23																				
- 37,5 + 12,5 (LO)	13574.0	36.1	0.31	55.4	14.207	0.022	0.68	0.21	21.2	36.3	35.9	10.6	23.4	33.0	21.2	36.3	35.9	10.6	23.4	33.0	13574.0	36.1	0.31	55.4	14.207	0.022	0.68	0.21
- 12,5 + 6,35 (Hm)	7778.0	20.7	0.38	56.2	13.450	0.021	0.46	0.19	14.9	21.1	19.5	5.8	9.0	17.1	36.1	57.4	55.3	16.4	32.5	50.1	21352.0	56.7	0.34	55.7	13.931	0.021	0.60	0.20
- 6,35 + 0,15 (SF)	12276.0	32.6	0.53	55.8	13.623	0.024	1.01	0.25	32.7	33.1	31.1	10.5	31.3	35.1	68.7	90.5	86.4	26.9	63.8	85.3	33628.0	89.3	0.41	55.7	13.819	0.022	0.75	0.22
- 0,15 + 21,7µm (PFF)	1620.7	4.3	1.00	55.5	12.493	1.156	2.04	0.40	8.1	4.3	3.8	67.1	8.4	7.5	76.9	94.8	90.2	94.0	72.1	92.8	35248.7	93.6	0.43	55.7	13.758	0.075	0.81	0.23
- 21,7µm (Lamas)	2400.2	6.4	1.91	44.4	21.933	0.070	4.59	0.26	23.1	5.2	9.8	6.0	27.9	7.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	37648.9	100.0	0.53	55.0	14.279	0.074	1.05	0.23
									100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0														

Tabla IV.3 – Análisis químico de la fracción PFF + Lamas – Muestra CPX-01

MUESTRA CPX - 01			Tenores por Fracción (%)						Distribución de los Elementos (%)						Distribución Acum. de los Elem. (%)						Masa Acum.		Tenores Acumulados (%)					
mm	Masa	%ROM	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	g	%	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂
Cab. Analizada			1.33	67.9	0.040	0.060	0.74	0.95																				
Cab. Calculada	12731.8	48.4	1.18	67.9	0.021	0.012	0.83	0.69																				
+0,106	1396.0	5.3	1.72	67.2	0.016	0.010	0.97	1.33	15.9	10.8	8.2	9.4	12.9	21.1	15.9	10.8	8.2	9.4	12.9	21.1	1396.0	5.3	1.72	67.2	0.016	0.010	0.97	1.33
+0,075	1838.0	7.0	1.30	68.0	0.014	0.010	0.56	0.65	15.8	14.4	9.5	12.3	9.8	13.6	31.8	25.3	17.7	21.7	22.7	34.8	3234.0	12.3	1.48	67.7	0.015	0.010	0.74	0.94
+0,045	3764.0	14.3	1.01	68.3	0.014	0.010	0.56	0.65	25.2	29.7	19.4	25.2	20.1	27.9	57.0	55.0	37.1	46.9	42.7	62.6	6998.0	26.6	1.23	68.0	0.014	0.010	0.64	0.79
+0,038	812.0	3.1	0.91	68.1	0.019	0.010	0.61	0.66	4.9	6.4	5.7	5.4	4.7	6.1	61.8	61.4	42.7	52.3	47.5	68.7	7810.0	29.7	1.19	68.0	0.015	0.010	0.64	0.77
+0,0299	717.2	2.7	0.27	69.2	0.018	0.010	0.47	0.31	1.3	5.7	4.7	4.8	3.2	2.5	63.1	67.1	47.5	57.1	50.7	71.3	8527.2	32.4	1.12	68.1	0.015	0.010	0.62	0.73
+0,0217	1019.9	3.9	0.81	68.5	0.020	0.011	0.56	0.45	5.5	8.1	7.5	7.5	5.4	5.2	68.6	75.2	55.0	64.7	56.1	76.5	9547.1	36.3	1.08	68.2	0.016	0.010	0.62	0.70
+0,0164	1276.0	4.9	1.22	67.4	0.023	0.012	1.96	0.73	10.3	9.9	10.8	10.3	23.8	10.6	78.9	85.2	65.8	74.9	79.9	87.1	10823.1	41.1	1.10	68.1	0.017	0.010	0.78	0.71
+0,0113	1193.8	4.5	1.19	68.0	0.033	0.014	0.72	0.56	9.4	9.4	14.5	11.2	8.2	7.6	88.3	94.5	80.3	86.1	88.1	94.7	12016.9	45.7	1.11	68.1	0.018	0.011	0.77	0.69
-0,0113	714.9	2.7	2.46	66.1	0.075	0.029	1.75	0.65	11.7	5.5	19.7	13.9	11.9	5.3	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	12731.8	48.4	1.18	67.9	0.021	0.012	0.83	0.69
									100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0														

En cuanto al deslamado, según los resultados en la Tabla IV.4, el porcentaje en masa de las lamas removidas es bajo (9,9%), pero fue suficiente como para disminuir el tenor de alúmina de 1,32% en la cabeza a 1,20% en el deslamado.

En términos de masa, la remoción por deslamado de los contaminantes fue baja (1,2%).

La Tabla IV.5, muestra que la sílice presenta alto grado de liberación (>95%) en la fracción +0,30 mm; por el contrario, la alúmina presenta baja liberación en todas las fracciones. En consecuencia, una concentración gravimétrica no debe ser aplicable en la remoción de la alúmina.

Las Tablas VII y VIII, presentan los resultados obtenidos de la caracterización mineralógica. Según el análisis por microscopía óptica de luz reflejada, la muestra CPX-01 esta constituida principalmente por hematita granular policristalina y por gibsitita. Esto también se puede observar del análisis de las lamas por difracción de rayos X.

El Apéndice D presenta a detalle los resultados del análisis mineralógico.

Tabla IV.4 – Análisis químico de los productos de deslamado – Muestra CPX-01

MUESTRA CPX-01 Cerramiento			Tenores por Fracción (%)						Distribución de los Elementos (%)						Distribución Acum. de los Elem. (%)						Masa Acum.		Tenores Acumulados (%)					
mm	Masa	%ROM	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	g	%	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂
Cab. Analizada			1.33	67.9	0.040	0.060	0.74	0.95																				
Cab. Calculada	2991.6	100.0	1.32	67.8	0.042	0.064	0.71	0.86																				
Deslamado	2955.4	98.8	1.20	68.0	0.037	0.063	0.63	0.83	90.1	99.0	86.2	96.7	87.1	95.0	90.1	99.0	86.2	96.7	87.1	95.0	2955.4	98.8	1.20	68.0	0.037	0.063	0.63	0.83
Lama	36.2	1.2	10.75	53.4	0.483	0.176	7.60	3.58	9.9	1.0	13.8	3.3	12.9	5.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	2991.6	100.0	1.32	67.8	0.042	0.064	0.71	0.86
									100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0														

Tabla IV.5 – Líquido Denso – Muestra CPX-01

MUESTRA CPX-01			Masa	Tenores (%)						Remoción del flutuado (%)					
Mesh	mm		%	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂
+16#	1.00	cab. analizada		2.14	64.9	0.016	0.010	1.20	3.82						
		cab. calculada	100.00	2.17	64.8	0.019	0.015	1.36	3.73	3.40	0.70	20.91	4.28	3.34	87.64
		afundado	95.98	2.18	67.0	0.016	0.015	1.37	0.48						
		flutuado	4.02	1.83	11.2	0.101	0.016	1.13	81.23						
+48#	0.30	cab. analizada		2.11	60.5	0.018	0.011	1.21	9.78						
		cab. calculada	100.00	2.30	60.7	0.026	0.012	1.22	9.74	16.54	0.99	41.32	14.83	9.67	95.78
		afundado	89.31	2.15	67.3	0.017	0.011	1.23	0.46						
		flutuado	10.69	3.56	5.6	0.100	0.016	1.10	87.24						
+100#	0.15	cab. analizada		2.21	64.1	0.019	0.011	1.22	5.10						
		cab. calculada	100.00	2.02	64.2	0.019	0.010	1.24	5.04	4.60	0.25	26.10	7.43	8.15	91.71
		afundado	94.92	2.03	67.5	0.015	0.010	1.20	0.44						
		flutuado	5.08	1.83	3.2	0.099	0.015	1.99	90.94						

4.2. Muestra CPX-02 – Manganeso Alto

Al comparar los tenores del análisis químico de cabeza analizada con los tenores de cabeza calculada, se puede decir que de manera general, los resultados obtenidos son confiables.

Como se puede ver en las Tablas V.1, V.2, V.3, el tenor del manganeso se mantiene muy alto en todas las fracciones granulométricas, muy superior al tenor máximo establecido dentro de las especificaciones de calidad que mantiene la empresa, que es del 0,2%.

Obsérvese que el porcentaje en masa acumulado de la muestra, acompaña en forma creciente a los tenores acumulados del manganeso en todas las fracciones granulométricas.

En la fracción de los finos (PFF + lamas), el tenor del manganeso también se mantiene alto en todas las granulometrías, pero aumenta notablemente en la fracción menor a 0,0113 mm hasta 24,2%.

Según los resultados del deslamado que son presentados en la Tabla V.4, se ve que el porcentaje en masa de las lamas removidas fue del 16,6%, y aunque su porcentaje de manganeso se mantiene alto, se consiguió reducir del 16% de

Tabla V.1 – Análisis químico por fracción granulométrica del ROM de la muestra CPX-02

MUESTRA CPX - 02			Tenores por Fracción (%)						Distribución de los Elementos (%)						Distribución Acum. de los Elem. (%)						Masa Acum.		Tenores Acumulados(%)					
mm	Masa	%ROM	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	g	%	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂
Cab. Analizada			0.52	56.3	13.230	0.027	0.88	0.20																				
Cab. Calculada	37648.9	100.0	0.53	55.0	14.279	0.074	1.05	0.23																				
+31,5	1870.0	5.0	0.33	57.0	11.960	0.024	1.36	0.23	3.1	5.1	4.2	1.6	6.4	5.0	3.1	5.1	4.2	1.6	6.4	5.0	1870.0	5.0	0.33	57.0	11.960	0.024	1.36	0.23
+25,0	3864.0	10.3	0.30	54.1	15.680	0.021	0.53	0.16	5.8	10.1	11.3	2.9	5.2	7.2	9.0	15.2	15.4	4.5	11.8	12.2	5734.0	15.2	0.31	55.0	14.467	0.022	0.80	0.18
+19,0	3544.0	9.4	0.31	55.6	14.280	0.021	0.58	0.24	5.5	9.5	9.4	2.7	5.2	9.9	14.5	24.8	24.8	7.2	16.8	22.0	9278.0	24.6	0.31	55.3	14.395	0.022	0.72	0.20
+12,5	4296.0	11.4	0.31	55.8	13.800	0.022	0.61	0.22	6.7	11.6	11.0	3.4	6.6	11.0	21.2	36.3	35.9	10.6	23.4	33.0	13574.0	36.1	0.31	55.4	14.207	0.022	0.68	0.21
+6,35	7778.0	20.7	0.38	56.2	13.450	0.021	0.46	0.19	14.9	21.1	19.5	5.8	9.0	17.1	36.1	57.4	55.3	16.4	32.5	50.1	21352.0	56.7	0.34	55.7	13.931	0.021	0.60	0.20
+2,36	5936.0	15.8	0.45	55.9	13.470	0.022	0.89	0.24	13.5	16.0	14.9	4.7	13.4	16.5	49.6	73.5	70.2	21.1	45.8	66.7	27288.0	72.5	0.36	55.8	13.831	0.022	0.66	0.21
+1,00	3068.0	8.1	0.52	55.6	14.100	0.026	0.94	0.22	8.0	8.2	8.0	2.9	7.3	7.8	57.6	81.7	78.3	23.9	53.1	74.5	30356.0	80.6	0.38	55.7	13.858	0.022	0.69	0.21
+0,30	2188.0	5.8	0.60	55.8	13.540	0.025	1.16	0.26	6.6	5.9	5.5	2.0	6.4	6.6	64.2	87.8	83.8	25.9	59.5	81.1	32544.0	86.4	0.39	55.7	13.837	0.022	0.72	0.21
+0,15	1084.0	2.9	0.83	55.5	13.280	0.027	1.55	0.33	4.5	2.9	2.7	1.0	4.2	4.2	68.7	90.5	86.4	26.9	63.8	85.3	33628.0	89.3	0.41	55.7	13.819	0.022	0.75	0.22
+0,106	394.0	1.0	0.99	55.5	12.840	0.029	1.93	0.36	2.0	1.1	0.9	0.4	1.9	1.6	70.7	91.6	87.4	27.3	65.7	86.9	34022.0	90.4	0.41	55.7	13.807	0.022	0.76	0.22
+0,075	308.0	0.8	1.03	55.8	12.130	0.033	2.04	0.42	1.6	0.8	0.7	0.4	1.6	1.5	72.3	92.4	88.1	27.7	67.3	88.4	34330.0	91.2	0.42	55.7	13.792	0.023	0.78	0.22
+0,045	398.0	1.1	1.26	54.1	13.110	0.041	2.65	0.43	2.5	1.0	1.0	0.6	2.7	2.0	74.8	93.4	89.0	28.3	69.9	90.4	34728.0	92.2	0.43	55.7	13.785	0.023	0.80	0.22
+0,038	138.0	0.4	1.26	54.2	13.220	0.041	2.71	0.53	0.9	0.4	0.3	0.2	0.9	0.8	75.7	93.8	89.4	28.5	70.9	91.2	34866.0	92.6	0.43	55.7	13.782	0.023	0.80	0.23
+0,0299	180.5	0.5	0.38	59.4	9.750	0.024	0.79	0.33	0.3	0.5	0.3	0.2	0.4	0.7	76.1	94.3	89.7	28.6	71.3	91.9	35046.5	93.1	0.43	55.7	13.762	0.023	0.80	0.23
+0,0217	202.2	0.5	0.80	55.4	13.110	0.033	1.73	0.37	0.8	0.5	0.5	0.5	0.9	0.9	76.9	94.8	90.2	94.0	72.1	92.8	35248.7	93.6	0.43	55.7	13.758	0.075	0.81	0.23
+0,0164	289.6	0.8	1.13	52.4	15.780	0.037	2.21	0.36	1.6	0.7	0.8	0.4	1.6	1.2	78.5	95.6	91.1	94.4	73.8	94.0	35538.3	94.4	0.44	55.7	13.774	0.074	0.82	0.23
+0,0113	493.2	1.3	0.90	50.7	18.110	0.033	1.77	0.26	2.2	1.2	1.7	0.6	2.2	1.5	80.8	96.8	92.7	95.0	76.0	95.5	36031.4	95.7	0.44	55.6	13.834	0.074	0.83	0.23
-0,0113	1617.5	4.3	2.36	41.1	24.200	0.087	5.88	0.24	19.2	3.2	7.3	5.0	24.0	4.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	37648.9	100.0	0.53	55.0	14.279	0.074	1.05	0.23
									100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0														

Tabla V.2 – Análisis químico por fracción de productos del ROM – Muestra CPX-02

MUESTRA CPX - 02			Tenores por Fracción (%)						Distribución de los Elementos (%)						Distribución Acum. de los Elem. (%)						Masa Acum.		Tenores Acumulados(%)					
mm	Masa	%ROM	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	g	%	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂
Cabeza Analizada			0.52	56.3	13.230	0.027	0.88	0.20																				
Cabeza Calculada	37648.9	100.0	0.53	55.0	14.279	0.074	1.05	0.23																				
- 37,5 + 12,5 (LO)	13574.0	36.1	0.31	55.4	14.207	0.022	0.68	0.21	21.2	36.3	35.9	10.6	23.4	33.0	21.2	36.3	35.9	10.6	23.4	33.0	13574.0	36.1	0.31	55.4	14.207	0.022	0.68	0.21
- 12,5 + 6,35 (Hm)	7778.0	20.7	0.38	56.2	13.450	0.021	0.46	0.19	14.9	21.1	19.5	5.8	9.0	17.1	36.1	57.4	55.3	16.4	32.5	50.1	21352.0	56.7	0.34	55.7	13.931	0.021	0.60	0.20
- 6,35 + 0,16 (SF)	12276.0	32.6	0.53	55.8	13.623	0.024	1.01	0.25	32.7	33.1	31.1	10.5	31.3	35.1	68.7	90.5	86.4	26.9	63.8	85.3	33628.0	89.3	0.41	55.7	13.819	0.022	0.75	0.22
- 0,16 + 21,7µm (PFF)	1620.7	4.3	1.00	55.5	12.493	1.156	2.04	0.40	8.1	4.3	3.8	67.1	8.4	7.5	76.9	94.8	90.2	94.0	72.1	92.8	35248.7	93.6	0.43	55.7	13.758	0.075	0.81	0.23
- 21,7µm (Lamas)	2400.2	6.4	1.91	44.4	21.933	0.070	4.59	0.26	23.1	5.2	9.8	6.0	27.9	7.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	37648.9	100.0	0.53	55.0	14.279	0.074	1.05	0.23
									100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0														

Tabla V.3 – Análisis químico de la fracción PFF + Lamas – Muestra CPX-02

MUESTRA CPX - 02			Tenores por Fracción (%)						Distribución de los Elementos (%)						Distribución Acum. de los Elem. (%)						Masa Acum.		Tenores Acumulados (%)					
mm	Masa	% ROM	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	g	%	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂
Cab. Analizada			1.54	49.1	17.050	0.051	3.70	0.31																				
Cab. Calculada	4020.9	10.7	1.54	48.9	18.128	0.508	3.56	0.32																				
+0,106	394.0	1.0	0.99	55.5	12.840	0.029	1.93	0.36	6.3	11.1	6.9	0.6	5.3	11.2	6.3	11.1	6.9	0.6	5.3	11.2	394.0	1.05	0.99	55.5	12.840	0.029	1.93	0.36
+0,075	308.0	0.8	1.03	55.8	12.130	0.033	2.04	0.42	5.1	8.7	5.1	0.5	4.4	10.2	11.4	19.9	12.1	1.1	9.7	21.3	702.0	1.86	1.01	55.6	12.528	0.031	1.98	0.39
+0,045	398.0	1.1	1.26	54.1	13.110	0.041	2.65	0.43	8.1	10.9	7.2	0.8	7.4	13.5	19.5	30.8	19.2	1.9	17.0	34.8	1100.0	2.92	1.10	55.1	12.739	0.034	2.22	0.40
+0,038	138.0	0.4	1.26	54.2	13.220	0.041	2.71	0.53	2.8	3.8	2.5	0.3	2.6	5.8	22.3	34.6	21.7	2.1	19.7	40.6	1238.0	3.29	1.12	55.0	12.793	0.035	2.28	0.42
+0,0299	180.5	0.5	0.38	59.4	9.750	0.024	0.79	0.33	1.1	5.5	2.4	0.2	1.0	4.7	23.4	40.1	24.1	2.3	20.7	45.3	1418.5	3.77	1.02	55.5	12.405	0.034	2.09	0.41
+0,0217	202.2	0.5	0.80	55.4	13.110	0.033	1.73	0.37	2.6	5.7	3.6	89.4	2.4	5.9	26.0	45.8	27.8	91.8	23.1	51.1	1620.7	4.30	1.00	55.5	12.493	1.156	2.04	0.40
+0,0164	289.6	0.8	1.13	52.4	15.780	0.037	2.21	0.36	5.3	7.7	6.3	0.5	4.5	8.2	31.3	53.5	34.0	92.3	27.6	59.4	1910.3	5.07	1.02	55.1	12.991	0.987	2.07	0.39
+0,0113	493.2	1.3	0.90	50.7	18.110	0.033	1.77	0.26	7.2	12.7	12.3	0.8	6.1	10.1	38.4	66.2	46.3	93.1	33.6	69.4	2403.4	6.38	0.99	54.2	14.042	0.791	2.01	0.37
-0,0113	1617.5	4.3	2.36	41.1	24.200	0.087	5.88	0.24	61.6	33.8	53.7	6.9	66.4	30.6	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	4020.9	10.68	1.54	48.9	18.128	0.508	3.56	0.32
									100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0														

Tabla V.4 – Análisis químico de los productos de deslamado – Muestra CPX-02

MUESTRA CPX-02 Cerramiento			Tenores por Fracción (%)						Distribución de los Elementos (%)						Distribución Acum. de los Elem. (%)						Masa Acum.		Teores Acumulados (%)					
mm	Masa	%ROM	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	g	%	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂
Cab. Analizada			1.54	49.1	17.050	0.051	3.70	0.31																				
Cab. Calculada	1492.6	100.0	1.56	49.6	16.024	0.052	3.95	0.30																				
Deslamado	1245.3	83.4	0.77	53.9	13.580	0.025	1.95	0.27	41.1	90.7	70.7	40.0	41.2	75.1	41.1	90.7	70.7	40.0	41.2	75.1	1245.3	83.4	0.77	53.9	13.580	0.025	1.95	0.27
Lama	247.3	16.6	5.56	27.9	28.330	0.189	14.03	0.45	58.9	9.3	29.3	60.0	58.8	24.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	1492.6	100.0	1.56	49.6	16.024	0.052	3.95	0.30
									100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0														

manganeso en la cabeza al 13,58% en el deslamado, es decir, que con este método, no se conseguiría resultados favorables en la reducción del manganeso. Pero al mismo tiempo, se puede notar que consiguió disminuir el porcentaje de los otros elementos, menos de la sílice.

Debido a que en las fracciones granulométricas mayores las partículas presentaban muy poco o ninguna liberación, se decidió realizar la prueba de líquido denso, solo con la fracción $-0,30 + 0,150$ mm.

La Tabla V.5, muestra que todos los elementos presentaron un grado de liberación muy bajo. En consecuencia, una concentración gravimétrica no sería aplicable.

En cuanto a los resultados de las pruebas metalúrgicas presentados en las Tablas VI.1, VI.2, "Los resultados apuntan una muestra de excelentes propiedades metalúrgicas para alto horno. Las pruebas muestran una mena de excelente reducción, acompañado de una baja degradación sobre reducción y baja crepitación. La prueba de Trumbler mostró una mena de baja degradación durante el manejo y transporte. Los resultados de la muestra de 1994 con tenor de Mn alto (3,6%), pasada en planta piloto en MIG, muestran resultados similares a los obtenidos en esta muestra".

Tabla V.5 – Líquido Denso – Muestra CPX-02

MUESTRA CPX-01			Masa	Tenores (%)						Remoción del flutuado (%)					
Mesh	mm		%	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂
+100#	0.15	cab. analizada		0.83	55.5	13.280	0.027	1.55	0.33						
		cab. calculada	100.00	0.79	55.9	13.061	0.024	1.34	0.32	24.95	0.20	3.46	9.45	20.36	26.89
		afundado	98.66	0.60	56.5	12.780	0.022	1.08	0.24						
		flutuado	1.34	14.69	8.3	33.730	0.169	20.33	6.50						

Tabla VI.1 – Evaluación del LO de la muestra CPX-02 (Diciembre/94) - Prueba Piloto (Tabla I)

Análisis químico

Al_2O_3	Fe	Mn	P	PPC	SiO_2	MgO
1.41	64.6	3.562	0.022	0.85	0.21	0.41

Ensayos Físico-Metalúrgicos

Prueba	Crepitación %	Desgaste y Abrasión		R.D.I. (%)	Reducción Directa (%)
		TI(%)	AI(%)		
	-4,76mm	+6,35mm	-0,50mm	-2,83mm	R.D.
Resultado	0.05	80.5	11	8.83	76.75
Referencia	<5	>80	<10	<20	>60

Tabla VI.2 – Evaluación del LO de la muestra CPX-02 (Junio/99)

Análisis químico

Al_2O_3	Fe	Mn	P	PPC	SiO_2	MgO
0.60	56.5	12.780	0.022	1.08	0.24	1.19

Ensayos Físico-Metalúrgicos

Prueba	Crepitación		Desgaste y abrasión		R.D.I.	Reducción Directa
	(%) -6,3 mm	(%) -4,76mm	TI(%) +4,75mm	AI(%) -0,50mm	(%) -2,83mm	(%) R.D.
Resultado	0.3	0.3	79.4	11.3	9.4	57.64
Referencia	<5	<5	>80	<10	<20	>60

De acuerdo con los resultados del análisis mineralógico, que se presentan en las Tablas VII y VIII, la muestra CPX-02 está compuesta principalmente por hematita granular policristalina, por magnetita y por algunos minerales de manganeso, los cuales en orden descendente de abundancia son: romanechita (psilomelana), jakobsita y pirolusita.

El análisis de las laminas por difracción de rayos X, muestra que los minerales predominantes son la magnetita y la todorokita.

Tabla VII – Análisis Mineralógico por Microscopia Óptica de Luz Reflejada (UFOP)
por fracción granulométrica

MUESTRA	Macrotipo	Fracción	Análisis Químico (%)						Mineralogía (%)							
			Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Hematita			Goethita	Minerales * de Mn	Magnetita	Quartzo	Otros
									Monocristalina	Especular Poli.	Granular Poli.					
CPX-01	HEMATITA	LO	6.89	62.2	0.014	0.013	3.65	0.50	-	0.5	93.0	-	-	-	1.6	6.3 **
		SF	2.32	64.9	0.017	0.011	1.28	3.51	0.2	0.8	95.4	0.1	-	-	3.3	0.2 **
		PFF	1.12	68.1	0.015	0.010	0.62	0.73	30.7	6.2	61.6	0.2	-	-	0.8	0.5 **
CPX-02	HEMATITA	LO	0.34	55.7	13.931	0.021	0.60	0.20	-	0.2	49.9	0.1	18.6	31.0	-	0.2 ***
		SF	0.53	55.8	13.623	0.024	1.01	0.25	0.3	0.4	57.7	0.1	5.0	36.4	-	0.1 ***
		PFF	1.02	55.5	12.405	0.034	2.09	0.41	3.4	2.1	32.5	0.8	12.8	48.1	0.1	0.1 ***

* Los minerales de manganeso en orden decreciente de abundancia son: Romanechita, Jacobbsita y Pirolusita

** Gibbsita

*** Gibbsita + carbonatos

Tabla VIII – Análisis Mineralógico por Difractometría de Rayos X (UFMG)
Fracción de Lamas

MUESTRA	Macrotipo	Análisis Químico (%)						Mineralogía (%)							
		Al ₂ O ₃	Fe	Mn	P	PPC	SiO ₂	Hematita	Magnetita	Goethita	Gibbsita	Jacobsita	Todorokita	Caulinita	Anatásio
CPX-01	HEMATITA	10.75	53.4	0.483	0.176	7.60	3.58	A	N	T	A	N	N	P	N
CPX-02	HEMATITA	5.56	27.9	28.330	0.189	14.03	0.45	A	P	T	N	A	P	N	T

A - Predominantemente abundantes
M - Medianamente abundantes
P - Poco abundantes
T - Trazos
N - No encontrados



V. CONCLUSIONES

En el tratamiento de estas dos muestras con altos tenores de alúmina y manganeso, CPX-01 y CPX-02 respectivamente, pertenecientes a la galería 3 de exploración del yacimiento Capão Xavier, se deben considerar las siguientes conclusiones:

- En la explotación de la mena, se debe realizar una extracción selectiva considerando principalmente las regiones de alto manganeso como estéril.
- En términos de calidad de productos, no es significativa la remoción de los contaminantes para las dos muestras, ni aún con la aplicación de las técnicas usuales de concentración.
- Obviamente, el grado de contaminación dependerá del orden de explotación (grado de dilución).
- En términos de la mineralogía, el principal mineral portador del aluminio es la gibbsita, y los principales portadores del manganeso en orden decreciente de abundancia son:

Romanechita:	$\text{BaMn}_9\text{O}_{16}(\text{OH})_4$
Jakobsita:	$(\text{Mn}^{+2}, \text{Fe}^{+2}, \text{Mg})(\text{Fe}^{+3}, \text{Mn}^{+3})_2\text{O}_4$
Pirolusita:	MnO_2
Todorokita:	$(\text{Mn}, \text{Ca}, \text{Mg})\text{Mn}_3\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$

- Los resultados de la caracterización indican la necesidad de evaluación de los impactos de las concentraciones anómalas de contaminantes en el depósito.

VI. POSIBLES APLICACIONES DE LAS METODOLOGÍAS EMPLEADAS EN LA CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA Y MINERALÓGICA DE LA MENA DE HIERRO EN EL YACIMIENTO DE HIERRO DE PASCUALES – ECUADOR

En junio de 1969, el Programa de Desarrollo las Naciones Unidas presentó reportes técnicos para el Gobierno del Ecuador, sobre un estudio de reconocimiento de los minerales metálicos y no metálicos que fué realizado en 6 áreas ecuatorianas.

De entre las conclusiones presentadas en el reporte técnico No 6, cuyo trabajo tuvo como áreas de operación las provincias de Guayas y Manabí, se describe la existencia de depósitos de hierro al norte de Guayaquil, en la zona de Pascuales en donde se fueron encontrados afloramientos de hematita en vetas angostas y discontinuas. La evaluación del depósito de las vetas de hematita, estima una reserva de 50000 tn métricas por unos 100 m de profundidad, de los cuales, se consideran 20000 tn métricas como material aluvial de buena calidad.

La mineralización de hematita aparece como relleno de fisuras en una serie de cinco vetas paralelas, separadas entre sí de 100 a 600 m. La longitud de estas

Estas vetas que están localizadas en las rocas de diabasa del complejo ígneo básico aparecen de carácter lenticular y su anchura es variable. Siendo de un máximo de 1,5 m y disminuyendo a cero con un promedio estimado de 50 cm. Estas vetas aparecen también interrumpidas por caballetes de roca y ocasionalmente desplazadas hasta un metro por fallas menores y transversales.

La mineralización consiste en hematita localmente masiva pero impura promediando 47% de Fe; 13,8% de SiO_2 ; 0,4% de TiO_2 ; 0,3% de P_2O_5 ; 0,0% de MnO_2 y 0,3% de S; con zonas localmente ricas de 60% de Fe y raramente otras pobres de 5% de Fe.”



Con todos estos antecedentes sobre la mineralización, se aprecia a priori, que esta montera o sombrero de hierro, no se lo debe considerar como un yacimiento que su explotación no es rentable económicamente, porque además de que este enriquecimiento sólo se presenta en los afloramientos y cantos rodados, tiene un bajo porcentaje en hierro y contiene altos tenores de algunos elementos y compuestos que son considerados como contaminantes, entre estos, principalmente están la alúmina y la sílice.

Pero aún así, algunas de las metodologías de caracterización tecnológica y mineralógica de la mena de hierro empleadas en el presente trabajo de tesis,

podrían ser aplicadas como objeto de investigación de la mena de hierro de este yacimiento. Hasta el momento ningún trabajo similar se ha realizado.

Como parte de la caracterización tecnológica, un análisis granuloquímico, sería de mucha importancia para conocer los tenores de los elementos y compuestos que constituyen la mena en diferentes granulometrías. Estas fracciones granulométricas que serían seleccionadas de acuerdo a la necesidad de investigación.

El deslamado siempre se debe realizar, tiene como objetivo eliminar o reducir el contenido de materiales finos que se encuentren en las muestras a ser probadas, además de que junto a esos finos, pueden ser también eliminados o reducidos algunos elementos y compuestos no deseables y considerados como contaminantes.

La separación de minerales aprovechando la propiedad física de la diferencia de densidades, es aplicable para la caracterización tecnológica de muestras de este depósito. El éxito de la prueba, dependerá del grado de liberación que presenten los minerales de las muestras.

Las pruebas metalúrgicas se realizan para conocer tanto propiedades físicas como químicas de la mena, para así poder visualizar su empleo en los procesos de aprovechamiento a los que será sometida.

La caracterización mineralógica es de suma importancia en el estudio de los minerales de ganga, porque a través de este análisis, se pueden investigar de forma más precisa, entre otras características, texturas, estructuras, tamaño de cristales, asociaciones de minerales presentes.

APÉNDICES



APÉNDICE A: ANÁLISIS QUÍMICOS

A.1 Determinación del Tenor de Hierro Total

Método del Cloruro de Titanio

Reagentes y soluciones:

1. Acido Clorhídrico (HCl), $d = 1,19$ gr/ml
2. Acido Sulfúrico (H₂SO₄) $d = 1,84$ gr/ml
3. Acido Fosfórico (H₃PO₄) $d = 1,71$ gr/ml
4. Mezcla Acida (H₃PO₄+H₂SO₄)
 - Colocar 150 ml de H₃PO₄ en frasco erlenmeyer de 1000 ml, con 700 ml de agua. Agregar 150 ml de H₂SO₄. Homogeneizar.
5. Cloruro de Estaño II (SnCl₂), 10 gr/l
 - Colocar 100 gr de SnCl₂ en un vaso de precipitación de 1000 ml. Agregar 200 ml de HCl y agitar. Completar el volumen de 1000 ml con agua destilada.
6. Difenilamina Sulfonato de Sodio (C₆H₅NHC₆H₄SO₃Na), 2 gr/lt
7. Dicromato de Potasio (K₂Cr₂O₇), 0,1 N.
 - Colocar en un frasco erlenmeyer de 1000 ml, 4,9 gr de dicromato de potasio (previamente secado en una estufa a 105°C por 2 horas),

completar 1000 ml agregando agua destilada y homogeneizar. Anotar la temperatura de la solución.

8. Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$), 1,0 gr/lit.
9. Indigo de Carmín (1,0 gr/100 ml).
 - Disolver 1,0 gr de índigo de carmín en 1000 ml de agua destilada.
10. Cloruro de Titanio III, ($TiCl_3$)
 - Diluir 100 ml de $TiCl_3$ en 900 ml de HCl.
11. Permanganato de Potasio ($KMnO_4$), 25 gr/lit.

Procedimiento

- Pesar aproximadamente 4 gr de muestra, previamente secada en una estufa a $\pm 105^\circ C$ por una hora.
- Colocarla en un frasco erlenmeyer de 500 lt.
- Agregar unas gotas de $SnCl_2$ y 20 ml de HCl concentrado.
- Colocar el frasco en una estufa eléctrica a $\pm 80^\circ C$ por una hora hasta completar la solubilización.
- Diluir a ± 100 ml con agua hirviendo.
- Reducir el hierro con $SnCl_2$ hasta que tome un color amarillo pálido.
- Agregar 3 a 4 gotas de índigo de carmín y continuar la reducción con $TiCl_3$ hasta que esté incolora.
- Agregar 2 gotas de $TiCl_3$.

- Agregar $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (1,0 gr/lt) hasta llegar a la coloración azul por a $\pm 5^\circ\text{C}$.
- Enfriar en agua corriente por ± 10 min.
- Diluir con ± 300 ml de agua destilada bien fría y agitar.
- Verificar si la muestra llega al color característico del índigo de carmín (azul), de lo contrario, agregar gotas de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (1,0 gr/lt) hasta que llegue a color azul.
- Agitar constantemente y titular con dicromato de potasio 0,1 N hasta ± 10 ml.
- Agregar 30 ml de mezcla ácida ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_3\text{PO}_4$).
- Agregar ± 6 gotas de difenilamina sulfonato de sodio y continuar la titulación hasta cambiar su color, de verde a violeta.

Observaciones: Para muestras con tenores de hierro visiblemente bajo, diluir la muestra con agua destilada fría para ± 300 ml, agregar 30 ml de mezcla ácida y ± 6 gotas de difenilamina sulfonato de sodio e iniciar la titulación. Si durante la reducción con SnCl_2 la muestra se mantiene incolora, colocar gotas de KMnO_4 para eliminar el exceso de SnCl_2 .

Cálculos:

$$\%Fe_{total} = \frac{V_a [1 - (t_2 - t_1)0,0002] Fc}{m_a}$$

$$Fc = \frac{\% Fe_{padrón} * masa padrón}{V_{padrón} [1 - (t_2 - t_1)0,0002]}$$

Donde:

V_a = Volumen de $K_2Cr_2O_7$ en ml consumido en la titulación

m_a = Masa de la muestra

t_2 = Temperatura de preparación de la solución

t_1 = Temperatura de titulación

$V_{padrón}$ = Volumen de $K_2Cr_2O_7$ en ml consumidos en la titulación del patrón.

$\%Fe_{padrón}$ = Porcentaje de hierro en la muestra patrón.

A.2 Espectrometría de Emisión a Plasma – ICP

Reagentes y soluciones:

1. Acido clorhídrico (HCl), $d = 1,19 \text{ gr/ml}$
2. Acido clorhídrico (HCl), 1+2
3. Carbonato de sodio anhidro (Na_2CO_3)
4. Tetraborato de sodio anhidro ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)
5. Mezcla fundente (tetraborato + carbonato) (1+2)
6. Fe_2O_3

Procedimiento:

- Pesar aproximadamente 0,1 gr de muestra previamente secada en estufa a $\pm 105^\circ\text{C}$.
- Colocarla en un crisol de platino.
- Agregar aproximadamente 0,1 gr de mezcla fundente.
- Para una muestra con alto tenor de SiO_2 (sílice superior a 55%), agregar aproximadamente 0,1 gr de Fe_2O_3 .
- Homogeneizar.
- Fundir en el horno mufla a $\pm 1030^\circ\text{C}$.
- Para muestras en que fue agregado Fe_2O_3 , el tiempo de fusión es de 5 min, y para muestras en que no se agregó Fe_2O_3 el tiempo es de 15 min.

- Agregar en un vaso de precipitación de 250 ml, 60 ml de HC (1+2), tapar y colocarlo en una estufa eléctrica a calentar hasta que hierva.
- Disolver la masa fundida colocando el crisol dentro del vaso de precipitación que contiene la solución de HCl caliente.
- Mantener el vaso de precipitación en la extremidad de la estufa para evitar que se derrame.
- Retirar el crisol del vaso de precipitación y verterlo en un frasco de balón de 100 ml.
- Enfriar la solución y homogeneizar.
- Hacer la lectura en el espectrómetro de adsorción.

A.3 Gravimetría para determinar el porcentaje de Pérdida de Peso por Calcinación – PPC

Procedimiento:

- Pesar un crisol de porcelana previamente secado en estufa.
- Agregar aproximadamente 1 gr de la muestra (m_1).
- Colocar el crisol en el horno mufla a +/- 1000 °C por una hora.
- Enfriar en desecador y pesar (m_2).

Cálculo:

$$\%PPC = \frac{(m_1 - m_2) * 100}{m_a}$$

Donde:

m_1 = masa del crisol = masa de la muestra, en gr.

m_2 = masa del crisol después de la calcinación, en gr.

m_a = masa de la muestra, en gr.

APÉNDICE B: LÍQUIDO DENSO

Material Utilizado:

Mena de hierro, vaso de precipitación de 500 ml; embudos de vidrio de ϕ 14,5 cm y de 12,5 cm, 4 tubos de ensayo, una centrifugadora, trípode, argolla, cucharón metálico, bastón de vidrio, papeles filtro de tamaños: 12,5 y 18,5 cm; alcohol; bromoformo; frasco erlenmeyer; bomba de vacío; balde de 20 lt.

Realización de las pruebas

Con el material debidamente homogéneo, se retira una alícuota de 250 gr en las fracciones en que serán hechas las pruebas. La prueba será realizada en equipos diferentes conforme a la granulometría de las partículas de las muestras, así:

- Para granulometría superior a 8# (-2,38 mm) se utiliza un vaso de precipitación.
- Para granulometría inferior a 8# y superior a 65# (-2,38 +0,21 mm) se utiliza un embudo de vidrio de ϕ 14,5 cm.
- Para granulometría inferior a 65# y superior a 400# (-0,21+0,038 mm) se utiliza se utiliza una centrifugadora.

B.1 Prueba en Vaso de Precipitación

- Agregar 250 ml de bromoformo (con densidad $2,89 \text{ gr/cm}^3$) en un vaso de precipitación de 500 ml.
- Agregar lentamente con un cucharón metálico la mena observando una franja de separación entre el sedimentado y el flotado.
- Agitar por 1 minuto las partículas con un bastón de vidrio.
- Colocar el papel filtro de ϕ 12,5 cm en un embudo de vidrio, el embudo debe estar conectado a través de una manguera a un frasco erlenmeyer y éste a su vez, conectado a una bomba de vacío.
- Colectar el flotado (en caso de que haya) con el cucharón metálico y colocarlo en el embudo para filtrar.
- Colocar el flotado en un vaso de precipitación de 500 ml con bastante alcohol por 5 horas.
- Colocar otro papel filtro en el embudo para filtrar el sedimentado.
- Repetir con el sedimentado el procedimiento anterior hasta conseguir la mayor separación de las partículas, juntando el flotado al anterior.
- Filtrar el sedimentado y colocarlo en un vaso de precipitación con bastante alcohol durante 5 horas.
- Luego de ese tiempo, filtrar por separado el flotado y el sedimentado.
- Secar en la estufa a una temperatura de 80°C .
- Homogeneizar y preparar las alícuotas para el análisis químico.

B.2 Ensayo con Embudo de Vidrio

- Acoplar la argolla al trípode y sobre ésta, colocar en la argolla el embudo de ϕ 14,5 cm con su extremidad alargada conectada a una manguera y apretarla en su extremidad con una pinza.
- Colocar debajo del embudo un vaso de precipitación de 500 ml.
- Colocar bromoformo en el embudo, hasta llegar al 80% de su volumen.
- Con el cucharón metálico agregar lentamente la mena, observando una franja entre el sedimentado y el flotado.
- Con el bastón de vidrio, agitar las partículas en el embudo.
- Esperar que éstas tomen posición entre el flotado y sedimentado.
- Recolectar en el vaso de precipitación (que esta bajo el embudo), todo el sedimentado, dejando el flotado en el mismo embudo.
- Recolectar el flotado en otro vaso de precipitación.
- Con el embudo de ϕ 12,5 cm debidamente acoplado en un frasco erlenmeyer y conectado a la bomba de vacío, colocar un papel filtro del mismo diámetro para filtrar el flotado.
- Colocar el flotado en un vaso de precipitación con bromoformo durante 5 horas.
- Repetir el procedimiento anterior con el sedimentado, hasta que se haya recolectado toda la mena flotada y juntarla a la anterior.
- Filtrar el sedimentado.

- Colocar en un vaso de precipitación con alcohol por 5 horas.
- Filtrar por separado el flotado y el sedimentado.
- Secarlos en la estufa a una temperatura de 80°C
- Homogeneizar y preparar las alícuotas del sedimentado y del flotado para realizar el análisis químico.

B.3 Prueba con Centrifugadora

- Tomar 4 tubos de ensayo con pesos aproximadamente iguales.
- Encerar los pesos de los tubos, y pesar 35 gr de mena en cada uno.
- Agregar bromoformo en los tubos en un volumen igual y agitar con un bastón de vidrio.
- Colocar los tubos en la centrifugadora a una velocidad de 1500 r.p.m., durante 5 min.
- En un embudo de ϕ 12,5 cm acoplado a un frasco erlenmeyer y conectado a una bomba de vacío, colocar el papel filtro de tamaño 12,5 cm.
- Filtrar el flotado de cada tubo y colocarla en una vaso de precipitación con alcohol y dejarlo por 5 horas.
- Colocar bromoformo nuevamente en los tubos de ensayo y repetir el procedimiento por 3 veces.
- Filtrar el sedimentado y colocarlo en un vaso de precipitación con alcohol por 5 horas.
- Filtrar por separado el flotado y el sedimentado.
- Secar en la estufa a una temperatura de 80°C
- Preparar las alícuotas y el flotado para el análisis químico.
- Todo el alcohol empleado en todas las pruebas es recolectado en un balde de 20 lt para realizar su recuperación.

B4. Recuperación del Bromoformo

- Lavar toda la vidriería utilizada en los ensayos, con alcohol.
- Todo el alcohol utilizado deberá colocarse en un balde de 20 lt.
- Adicionar agua en este balde hasta completar 20 lt.
- Dejar el alcohol con el agua durante 24 horas. Repetir este proceso tres veces.
- Fijar la argolla al trípode y colocar un embudo de ϕ 7,5 cm con papel filtro de ϕ 18,5 cm.
- Filtrar el bromoformo del balde.
- Como el bromoformo tiene densidad superior, éste se ubica en el fondo, formando una capa trifásica de agua, alcohol y bromoformo.
- Esperar que las capas queden bien definidas.
- Abrir lentamente la tornera del embudo.
- Retirar el bromoformo del embudo separador y filtrar en el embudo de vidrio.
- Repetir el filtrado hasta que todo el contenido haya pasado al embudo separador.
- El agua y el alcohol deben ser desechados.
- Calcular la densidad del bromoformo.
- En caso de que no tenga una densidad igual a $2,89 \text{ g/cm}^3$, colocar en un vaso de precipitación y dejar durante 12 horas destapado.
- Medir nuevamente la densidad

APÉNDICE C: PRUEBAS METALÚRGICAS

C.1 Preparación de las muestras para las pruebas metalúrgicas

C.1.1 Preparación de las muestras para la prueba de desgaste y abrasión

- Secar la muestra en la estufa a $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta que no haya variación de la masa, o después de cinco horas.
- Retirarla de la estufa y esperar a que llegue a temperatura ambiente
- Cribar la muestra (manualmente y/o utilizando una criba Manupen por cerca de 3 min) en 40; 25,4; y 10 mm.
- Descartar el material retenido en 40 mm y el pasante en 10 mm.
- Homogeneizar la muestra por el método de la pila anular (en forma de anillo) y cuartear hasta obtener 4 muestras cada una con $15 \pm 0,15$ kg.
- Cribar las muestras en criba de 10 mm para retirar los finos generados en el cuarteamiento.
- Etiquetar y enviar las muestras para la realización de la prueba de desgaste y abrasión.

C.1.2 Preparación de la muestra para las pruebas reducción relativa y para la prueba RDI

- Cuartear la muestra usando el método de la pila anular obteniéndose dos muestras (D y E).
- Tomar la muestra D y enviar para preparación de la muestra para el ensayo de crepitación.
- Tomar la muestra E y secarla a $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante o después de 4 h.
- Retirar la muestra de la estufa y esperar que la muestra llegue a temperatura ambiente.
- Tomar la muestra E y cuartearla en dos (E_1 y E_2) utilizando el divisor rifles No 60.
- Tomar la muestra E_1 y cribarla en 20 e 18 mm.
- Descartar el material pasante en 18 mm y el retenido en 20 mm.
- Tomar la fracción (-20 +18)mm y cuartearla utilizando el divisor de rifles No 30 o por el método manual por incremento hasta obtener 5 muestras cada una con $500\text{g} \pm 1$ partícula.
- Identificar las muestras, enviar 4 de éstas para realizar de la prueba de reducción relativa y una para preparar la alícuota para análisis químico.
- Tomar la muestra E_2 y cribarla en 20 y 16 mm, triturando el retenido en 20 mm de forma que toda la muestra triturada pase por la criba de 22,4 mm.

- Desechar el material retenido en 20 mm y el pasante en 16 mm.
- Tomar la fracción (-20 +16) mm y cuartearla usando divisor de riffles No 30 o por el método manual por incrementos hasta obtener 4 muestras cada una con 500g $\pm$ 1 partícula.
- Identificar las muestras y enviarlas para la prueba de RDI.

C.1.3 Preparación de la muestra para prueba de crepitación

- Cuartear la muestra C usando el método de la pila anular para obtener dos muestras (D y E).
- Tomar la muestra D y enviar para preparar la muestra para la prueba de crepitación.
- Cribar manualmente la muestra en 25 y 20 mm.
- Descartar el material retenido en 25 y el pasante en 20 mm.
- Secar la muestra en estufa a $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 24 horas.
- Retirar la muestra de la estufa y esperar que enfríe hasta temperatura ambiente.
- Cribar la muestra en 20 mm.
- Homogeneizar y cuartear la muestra por el método manual por incrementos hasta obtener 10 muestras con $500\text{g} \pm 1$ partículas cada una.
- Etiquetar, ensacar enviar las muestras para la realización de las pruebas de crepitación.
- Colocar las muestras en el desecador, en el caso de que la prueba no sea realizada inmediatamente.

C.2 Pruebas Metalúrgicas

C.2.1 Índice de Desgaste y Abrasión

Equipos: Tambor cilíndrico de 500x1000 mm dotado de dos aletas internas; cuenta-giros programable y calibrado para 25 r.p.m. $\pm$ 1 rpm; balanza con capacidad para 30 kg $\pm$ 0,01 kg; cribas Manupen de 8,00; 6,3 y 0,50 mm y planilla para registro de datos.

Procedimiento:

- Tomar una muestra preparada y anotar en la planilla su masa inicial (m_1).
- Colocar la muestra dentro del tambor y ajustar el equipo para 200 vueltas a 25 ± 1 r.p.m.
- Después de las 200 vueltas, apagar el equipo y esperar por 2 min para que el polvo se deposite en el fondo del tambor.
- Retirar en una bandeja la muestra, colectando todo el polvo y evitando pérdidas.
- Cribar la muestra manualmente, en 8,0; 6,35 y 0,50 mm. La criba de 8,0 mm es la criba de alivio.
- Pesar y anotar las masas retenidas en 6,35 y 0,50 mm y la masa pasante en 0,50 mm.

- Verificar si la diferencia entre la masa inicial y la final no excede la 1% de la masa inicial. Se excede, repetir el ensayo.
- Determinar los índices de desgaste (TI) y el índice de abrasión (AI) por las fórmulas:

$$TI(\%) = (m + 6,3/m_o) \times 100$$

$$IA\% = ((m_o - m + 0,50) / m_o) \times 100$$

Donde:

m_o = masa inicial de la muestra antes del desgaste

$m + 6,3$ = masa retenida acumulada en el cribado de 6,3 mm

$m + 0.50$ = masa retenida acumulada en la criba de 0.50 mm

- Probar una nueva muestra.
- Realizar los cálculos para saber si hay de repetir la prueba y calcular el resultado final.

Resultado esperado: Índice de desgaste y abrasión, dentro de la tolerancia (TI=1,4% y AI=0,8%)

C.2.2 Índice de Crepitación

Equipos: Horno eléctrico con capacidad de resistir hasta una temperatura de 700 °C, recipiente para crepitación (plancha de acero), planilla para control y registro de datos, cronómetro calibrado y cribas de 6,35; 4,75; 3,15 y 0,50 mm.

Procedimiento:

- Acondicionar la muestra dentro del recipiente de crepitación y acoplar la tapa (esta debe ser más pesada que la muestra).
- Encender el horno, ajustándolo para la temperatura de 700 °C, colocar el recipiente de crepitación dentro del horno y cronometrar 30 min.
- Luego de 30 minutos, retirar el recipiente de crepitación del horno y dejar enfriar hasta temperatura ambiente.
- Cribar manualmente la muestra, en 6,35; 4,75; 3,15; 0,50 mm, pesar las masas retenidas en cada una y la masa pasante de la criba de 0,50 mm.
- Anotar las masas en la planilla de control.
- Calcular el índice de crepitación:

$$IC + 6,35 = (m - 6,35/m_0) \times 100$$

$$IC + 4,75 = (m - 4,75/m_0) \times 100$$

Donde:

$m - 6,35$ = masa pasante acumulada en la criba de 6,35 mm

$m - 4,75$ = masa pasante acumulada en la criba de 4,75 mm

m_o = masa total luego el ensayo (suma de todas las cribas)

- Repetir la prueba para 10 muestras.
- Expresar el resultado final por la media aritmética de 8 a 10 ensayos calculando el menor desvío patrón (desechar los resultados extremos si es necesario)

Resultado esperado: índice de crepitación dado por la media aritmética de 8 a 10 ensayos más el desvío patrón.

C.2.3 Índice de Reducción Relativa

Equipos: Horno eléctrico con capacidad para resistir hasta una temperatura de 900 °C y panel controlador dotado con balanza de +/- 16 kg retorta vertical de 75 mm de diámetro por 1050 mm de largo, criba, panel con medidores de flujo de gases (rotámetro) y central de abastecimiento, análisis de Fe_{total} e FeO de la muestra, planilla para control y colecta de datos de la prueba y lamparilla.

Procedimiento:

- Colocar la muestra (m_0) sobre la criba dentro de la retorta y acoplar la tapa con termopar.
- Encender la balanza e introducir la retorta en el horno acoplándola a la balanza tomando cuidado de que no haya contacto entre la retorta y el horno. Conectar las mangueras de flujo de gas.
- Encender el horno ajustándolo para temperatura de 900 °C e introducir un flujo N_2 a 5 NI/min. Encerar la balanza.
- Al llegar a 900 °C, aumentar el flujo de N_2 para 5NI/min y cronometrar por 30 min (fase de estabilización).
- Terminada esta fase de estabilización en la balanza (m_1), encender la lamparilla para quemar el residuo de los gases y substituir el gas N_2 por la

C.2.3 Índice de Reducción Relativa

Equipos: Horno eléctrico con capacidad para resistir hasta una temperatura de 900 °C y panel controlador dotado con balanza de +/- 16 kg retorta vertical de 75 mm de diámetro por 1050 mm de largo, criba, panel con medidores de flujo de gases (rotámetro) y central de abastecimiento, análisis de Fe_{total} e FeO de la muestra, planilla para control y colecta de datos de la prueba y lamparilla.

Procedimiento:

- Colocar la muestra (m_0) sobre la criba dentro de la retorta y acoplar la tapa con termopar.
- Encender la balanza e introducir la retorta en el horno acoplándola a la balanza tomando cuidado de que no haya contacto entre la retorta y el horno. Conectar las mangueras de flujo de gas.
- Encender el horno ajustándolo para temperatura de 900 °C e introducir un flujo N_2 a 5 NI/min. Encerar la balanza.
- Al llegar a 900 °C, aumentar el flujo de N_2 para 5NI/min y cronometrar por 30 min (fase de estabilización).
- Terminada esta fase de estabilización en la balanza (m_1), encender la lamparilla para quemar el residuo de los gases y substituir el gas N_2 por la

mezcla reductora compuesta de 70% de N_2 y 30% de CO a un flujo de 15 NL/min

- Anotar la pérdida de masa de 10 en 10 min durante la primera hora de reducción y de 15 en 15 min en las dos últimas horas de la planilla de coleta de datos. Durante 180 min de la fase de reducción, quemar el residuo de CO con lamparilla.
- Terminada esta fase de reducción, apagar el horno, y substituir la mezcla reductora por el gas N_2 a un flujo de 5NL/min. Desacoplar y apagar la balanza. Mantener el flujo de N_2 durante aproximadamente 10 min.
- Tomar datos de la pérdida de masa y análisis de Fe_{total} , FeO de la muestra, calcular el índice de reducción relativa usando la siguiente fórmula:

$$\%R = ((m_1 - m_2) / (m_o \times (0,43 \times FeT - 0,111 \times FeO)) \times 10000$$

Donde:

m_o = Masa inicial de la muestra

m_1 = Masa de la muestra antes da reducción (g)

Fe_{total} = Tenor de hierro total contenido en la muestra

FeO = Tenor de óxido de hierro II contenido en la muestra

$\%R$ = Grado de reducción relativa

Repetir las actividades con nueva muestra. Realizar los cálculos.

Resultado esperado: Índice de reducción obtenido por la media aritmética de dos pruebas con límite de tolerancia entre los resultados de máximo 4% (absoluto).



C.2.4 Índice de Degradación después de Reducción (RDI)

Equipos: Horno eléctrico con capacidad de resistir hasta una temperatura de 550 °C y panel controlador, retorta vertical de 75 mm de diámetro por 1050 mm de largo, rejilla de la retorta, panel con medidores de flujo de gases (rotámetro) y central de abastecimiento, cribador Rotap de 2,8 mm, tambor calibrado para 30 r.p.m., placa de temperatura elevada, planilla para control y colecta de datos de la prueba y lamparilla.

Procedimiento:

- Tomar la muestra preparada, colocarla sobre la rejilla dentro de la retorta y tapar con el termopar.
- Introducir la retorta en el horno y conectar la manguera del flujo de gas.
- Encender el horno ajustándolo a una temperatura de 550 °C e introducir un flujo de N₂ a 15 NI/min.
- Al llegar a la temperatura de 550 °C cronometrar 30 min (fase de estabilización).
- Luego de esta fase, encender la lamparilla para quemar los residuos de los gases. Substituir el gas N₂ por la mezcla reductora compuesta de 70% de N₂ (10,5 NI/min) y 30% de CO (4,5 NI/min) a un flujo de 15 NI/min y cronometrar 30 min hasta el fin de la prueba.

- Terminada esta fase, apagar el horno, substituir la mezcla gaseosa por el gas N_2 a un flujo de 5 Nl/min . Mantener el flujo de N_2 durante aproximadamente 10 min, encerrar el gas N_2 en la retorta (hasta la retirada de la muestra) y cerrar. Apagar la lamparilla.
- Remover cuidadosamente la muestra, pesarla, anotar en la planilla la masa (m_0) y colocarla en un tambor regulado para 900 vueltas a 30 r.p.m.
- Retirar la muestra del tambor, cribarla manualmente en 2,8 mm y anotar en la planilla de control la masa retenida (m_1).
- Determinar el índice de degradación después de la reducción utilizando la siguiente fórmula:

$$RDI - 2,8 \text{ mm} = (1 - (m_1 / m_0)) \times 100$$

Donde:

$RDI - 2,8 \text{ mm}$ = Índice de degradación después la reducción (% - 2,8 mm)

m_0 = masa de la muestra después de la reducción y antes del desgaste.

m_1 = masa de la muestra retenida en 2,8 mm.

Repetir las actividades con nueva muestra. Realizar los cálculos.

APÉNDICE D: CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA

ANÁLISE MINERALÓGICA TECNOLÓGICA
QUANTITATIVA
DE
MINÉRIOS DE FERRO

ANALISADO POR : CÉSAR MENDONÇA FERREIRA

ANÁLISE MINERALÓGICA VOLUMÉTRICA QUANTITATIVA							
Amostra : “LUMP ORE” 14					Interessado : MBR		
		% retida por faixa granulométrica, abertura em mm					
	Minerais	+31,5	+25,0	+19,0	+12,5	+6,35	Total
1	Hem.. Mono	-	-	-	-	-	-
2	Hem.Esp.Poli	0,8	0,4	1,1	0,6	0,4	0,5
3	Hem. Gran. Poli	87,2	87,5	86,7	90,2	93,0	93,0
4	Goethita	-	-	-	-	-	-
5	Quartzo	0,3	0,4	0,7	1,0	2,3	1,6
6	Outros	11,7	11,7	11,5	8,2	4,3	6,3
	% em peso	9,5	6,3	10,6	15,6	58,1	100,0

Observações :

1- O número de partículas de cada fração granulométrica é muito menor do que as 500 necessárias para uma análise representativa. Portanto, os valores de cada fração devem ser considerados como *qualitativos*, e os do todo como *semiquantitativos*.

2- Minério hematítico.

3- O mineral classificado como "outros" é gibbsita.

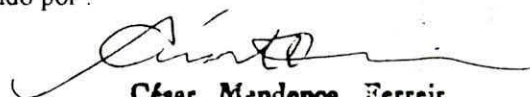
4- Forma das partículas : Tabular 65%, granular 25% e prismática 10%

5- A hematita se apresenta em cristais predominantemente granulares, com tamanhos variando entre 0,004mm e 0,070mm, e médio de 0,030mm, a superfície dos grãos é irregular e lisa. O quartzo também é granular com tamanhos variando entre 0,040mm e 1,20mm, e médio de 0,40mm. Foi observada a presença de umas poucas partículas com quartzo fibroso.

6- A porosidade das partículas varia de 15% a 40%, com média de 25%. Os poros têm tamanho médio de 0,030mm.

7- Observa-se um bandamento na distribuição das partículas com os poros intergranulares.

Analisado por :



César Mendonça Ferreir
Eng. Geólogo - CREA 8004/D

CPF : 07.036037-34

Local : Ouro Preto

Data : 21 / 05 / 99

ANÁLISE MINERALÓGICA VOLUMÉTRICA QUANTITATIVA

Amostra : "SINTER FEED" 15

Interessado : MBR

		% retida por faixa granulométrica, abertura em mm					
	Minerais	+2,36	+1,00	+0,30	+0,150		Total
1	Hem. Mono	-	-	0,2	1,1		0,2
2	Hem. Esp. Poli	0,6	0,4	1,4	1,4		0,8
3	Hem. Gran. Poli	98,7	98,5	84,7	90,6		95,4
4	Goethita	-	-	0,4	0,2		0,1
5	Quartzo	0,5	0,9	13,2	6,3		3,3
6	Outros	0,2	0,2	0,1	0,4		0,2
	% em peso	47,8	23,4	15,9	12,9		100,0

Observações :

1- Minério hematítico.

2- O mineral classificado como "outros" é gibbsita.

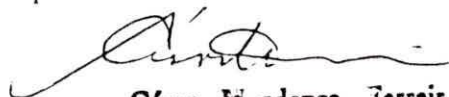
3- Forma das partículas : Tabular 65%, granular 25% e prismático 10% .

4- A hematita se apresenta em cristais predominantemente granulares, com tamanhos variando entre 0,004mm e 0,070mm, e médio de 0,030mm, a superfície dos grãos é irregular e lisa. O quartzo também é granular com tamanhos variando entre 0,040mm e 1,20mm, e médio de 0,40mm.

5- A porosidade das partículas varia de 15% a 40%, com média de 25%. Os poros têm tamanho médio de 0,030mm

6- Observa-se um bandamento na distribuição das partículas com os poros intergranulares.

Analisado por :



César Mendonça Ferreir

Eng. Geólogo - CREA 8004/D

CPF : 07503285 54

Local : Ouro Preto

Data : 21 / 05 / 99

ANÁLISE MINERALÓGICA VOLUMÉTRICA QUANTITATIVA

Amostra : "PELLET FEED" 16

Interessado : MBR

		% retida por faixa granulométrica, abertura em mm					
	Minerais	+0,105	+0,075	+0,045	+0,038	-0,038	Total
1	Hem.. Mono	1,3	6,2	12,2	14,0	65,2	30,7
2	Hem.Esp.Poli	0,8	3,9	4,8	7,1	9,7	6,2
3	Hem. Gran. Poli	95,7	88,1	81,6	76,7	24,1	61,6
4	Goethita	-	-	0,2	-	0,4	0,2
5	Quartzo	1,6	0,9	0,8	1,1	0,4	0,8
6	Outros	0,6	0,9	0,4	1,1	0,2	0,5
	% em peso	11,0	14,4	29,6	6,4	38,7	100,0

Observações :

1- Minério hematítico.

2- O mineral classificado como "outros" é gibbsita.

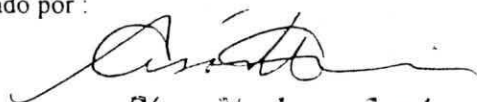
3- Forma das partículas : Tabular 65%, granular 25% e prismático 10%

4- A hematita se apresenta em cristais predominantemente granulares, com tamanhos variando entre 0,004mm e 0,070mm, e médio de 0,030mm, a superfície dos grãos é irregular e lisa. O quartzo também é granular com tamanhos variando entre 0,010mm e 0,150mm, e médio de 0,40mm.

5- A porosidade das partículas varia de 15% a 40%, com média de 25%. Os poros têm tamanho médio de 0,030mm

6- Observa-se um bandamento na distribuição das partículas com os poros intergranulares.

Analisado por :



César Mendonça Ferreira
Eng. Geólogo - CREA 9004/D
CPF 071.227.936

Local : Ouro Preto

Data : 21 / 05 / 99

ANÁLISE MINERALÓGICA VOLUMÉTRICA QUANTITATIVA

Amostra : "LUMP ORE" 17

Interessado : MBR

		% retida por faixa granulométrica, abertura em mm					
	Minerais	+31,5	+25,0	+19,0	+12,5	+6,35	Total
1	Hem.. Mono	-	-	-	-	-	-
2	Hem.Esp.Poli	0,2	-	0,3	0,2	0,1	0,2
3	Hem. Gran. Poli	50,8	48,8	50,2	50,1	49,6	49,9
4	Goethita	-	-	0,1	0,2	0,2	0,1
5	Minerais de Mn	15,5	21,0	19,0	18,4	18,2	18,6
6	Magnetita	31,5	30,0	30,2	31,0	31,7	31,0
7	Quartzo	-	-	-	-	-	-
8	Outros	-	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
	% em peso	8,8	18,1	16,6	20,1	36,4	100,0

Observações :

1- O número de partículas de cada fração granulométrica é muito menor do que as 500 necessárias para uma análise representativa. Portanto, devem ser considerados os valores de cada fração como *qualitativos*, e os do todo como *semiquantitativos*.

2- Minério hematítico-magnetítico com manganês.

3- O mineral classificado como "outros" é gibbsita e, mais raramente, carbonato.

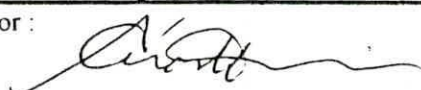
4- Forma das partículas : Tabular 55%, granular 5% e prismático 40%

5- A hematita se apresenta em cristais predominantemente granulares, com tamanhos variando entre 0,005mm e 0,050mm, e médio de 0,030mm, a superfície dos grãos é irregular e lisa. A magnetita também é granular com tamanhos variando entre 0,005mm e 0,020mm.

6- A porosidade das partículas varia de 5% a 25%, com média de 10%. Os poros têm tamanho médio de 0,025mm

7- Observa-se um bandamento na distribuição das partículas com os poros intergranulares.

Analisado por :



César Mendonça Ferreira

Eng. Geólogo - CREA 8004/D

CPF : 07.100.714

Local : Ouro Preto

Data : 21 / 05 / 99

ANÁLISE MINERALÓGICA VOLUMÉTRICA QUANTITATIVA

Amostra : "SINTER FEED" 18

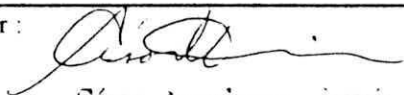
Interessado : MBR

		% retida por faixa granulométrica, abertura em mm					
	Minerais	+2,36	+1,00	+0,30	+0,150		Total
1	Hem.. Mono	-	0,2	0,6	0,8		0,3
2	Hem.Esp.Poli	-	-	1,3	2,1		0,4
3	Hem. Gran. Poli	63,8	54,2	50,8	50,4		57,7
4	Goethita	-	-	-	0,6		0,1
5	Minerais de Mn	0,6	7,0	11,4	10,4		5,0
6	Magnetita	35,6	38,4	35,9	35,3		36,4
7	Quartzo	-	-	-	0,2		-
8	Outros	-	0,2	-	0,2		0,1
	% em peso	48,4	25,0	17,8	8,8		100,0

Observações :

- 1- Minério hematítico-magnetítico com manganês.
- 2- O mineral classificado como "outros" é gibbsita e, mais raramente, carbonato.
- 3- Forma das partículas : Tabular 55%, granular 5% e prismático 40%
- 4- A hematita se apresenta em cristais predominantemente granulares, com tamanhos variando entre 0,005mm e 0,050mm, e médio de 0,030mm; a superfície dos grãos é irregular e lisa. A magnetita também é granular, com tamanhos variando entre 0,005mm e 0,020mm.
- 5- A porosidade das partículas varia de 5% a 35%, com média de 15%. Os poros têm tamanho médio de 0,025mm
- 6- Observa-se um bandamento na distribuição das partículas com os poros intergranulares.

Analisado por :



César Mendonça Ferreira
Eng. Geólogo - CREA 8004/D
CPF: 000.000.000-00

Local : Ouro Preto
Data : 21 / 05 / 99

ANÁLISE MINERALÓGICA VOLUMÉTRICA QUANTITATIVA

Amostra : "PELLET FEED" 19

Interessado : MBR

		% retida por faixa granulométrica, abertura em mm					
	Minerais	+0,105	+0,075	+0,045	+0,038	-0,038	Total
1	Hem.. Mono	-	0,8	1,6	2,2	4,5	3,4
2	Hem.Esp.Poli	0,4	3,0	3,2	3,4	2,0	2,1
3	Hem. Gran. Poli	56,2	44,5	46,0	49,7	25,1	32,5
4	Goethita	1,1	0,8	0,4	0,4	0,9	0,8
5	Minerais de Mn	9,5	19,9	17,9	20,9	11,3	12,8
6	Magnetita	32,1	30,5	30,3	23,2	56,2	48,1
7	Quartzo	0,2	-	0,2	0,2	-	0,1
8	Outros	0,5	0,4	0,4	-	-	0,1
	% em peso	9,8	7,7	9,9	3,4	69,2	100,0

Observações :

1- Minério hematítico-magnetítico com manganês.

2- O mineral classificado como "outros" é gibbsita e, mais raramente, carbonato.

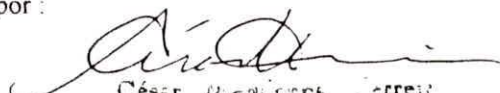
3- Forma das partículas : Tabular 55%, granular 5% e prismático 40%

4- A hematita se apresenta em cristais predominantemente granulares, com tamanhos variando entre 0,005mm e 0,050mm, e médio de 0,030mm; a superfície dos grãos é irregular e lisa. A magnetita também é granular com tamanhos variando entre 0,005mm e 0,020mm.

5- A porosidade das partículas varia de 5% a 35%, com média de 15%. Os poros têm tamanho médio de 0,025mm .

6- Observa-se um bandamento na distribuição das partículas com os poros intergranulares.

Analizado por :


César Mendonça Ferreira
Eng. Geólogo - CRG 3004/D

Local : Ouro Preto

Data : 21 / 05 / 99

FOTOMICROGRAFIAS

A handwritten signature in black ink, located in the top right corner of the page. The signature is stylized and appears to be a personal name.

MINERALES PRESENTADOS EN LAS FOTOS

FOTO 1:

A - Goetita

B - Romanechita (Psilomelana)

FOTO 2: Romanechita

FOTO 3: A, B – Romanechita

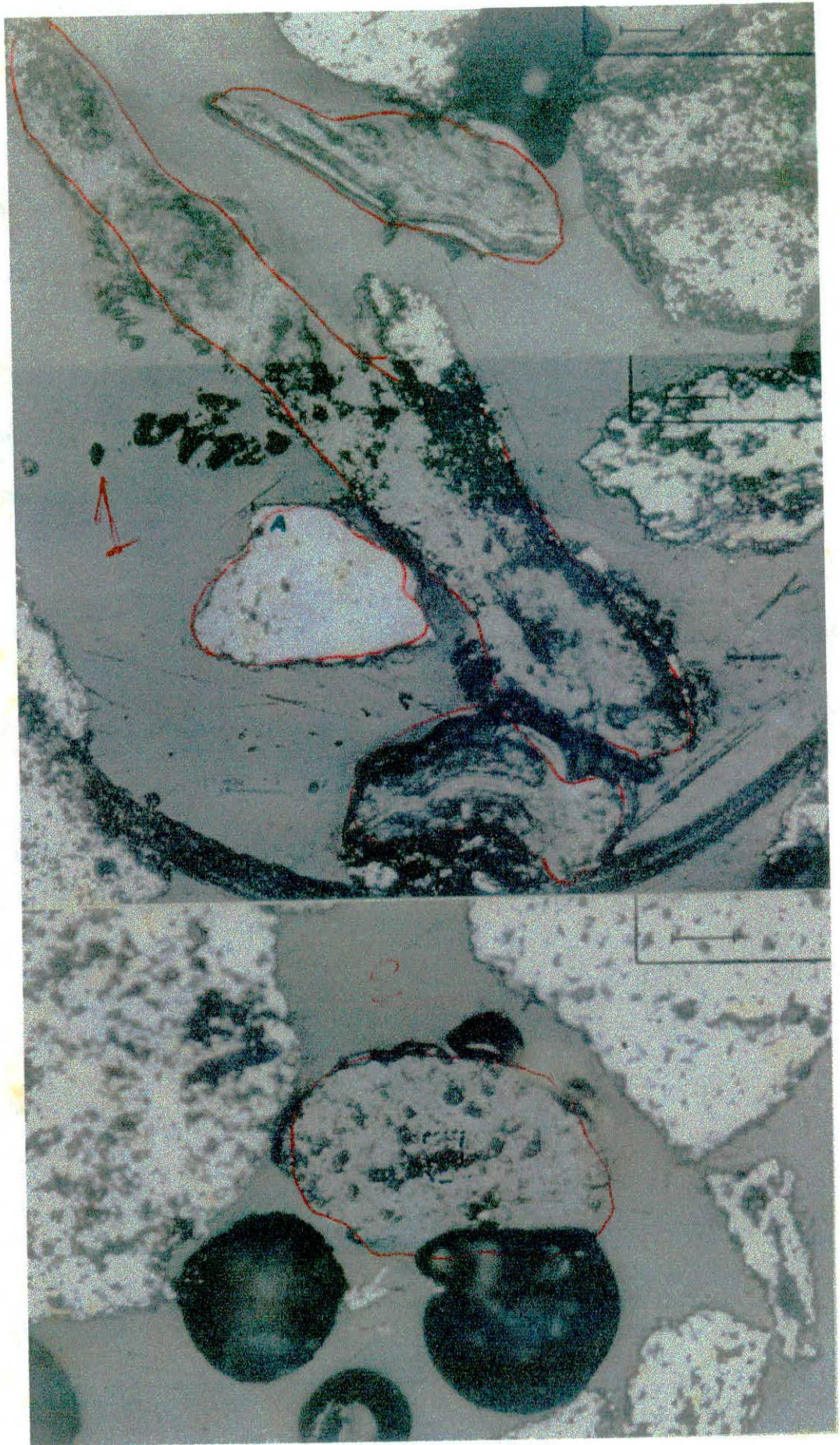
FOTO 4: Gibbsita

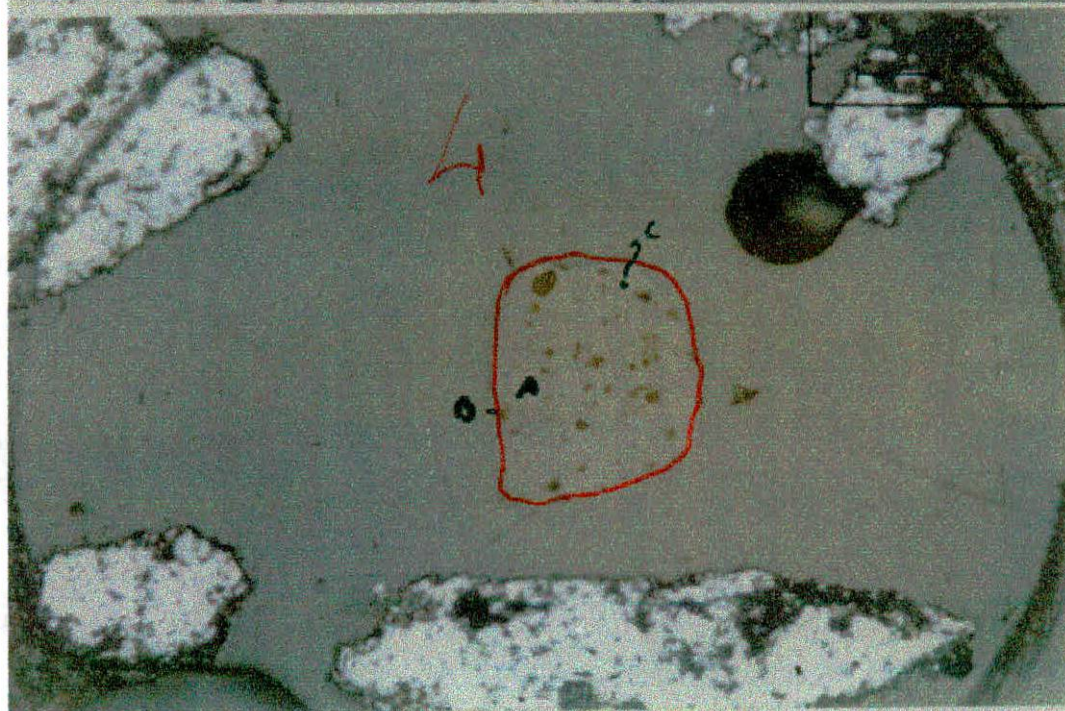
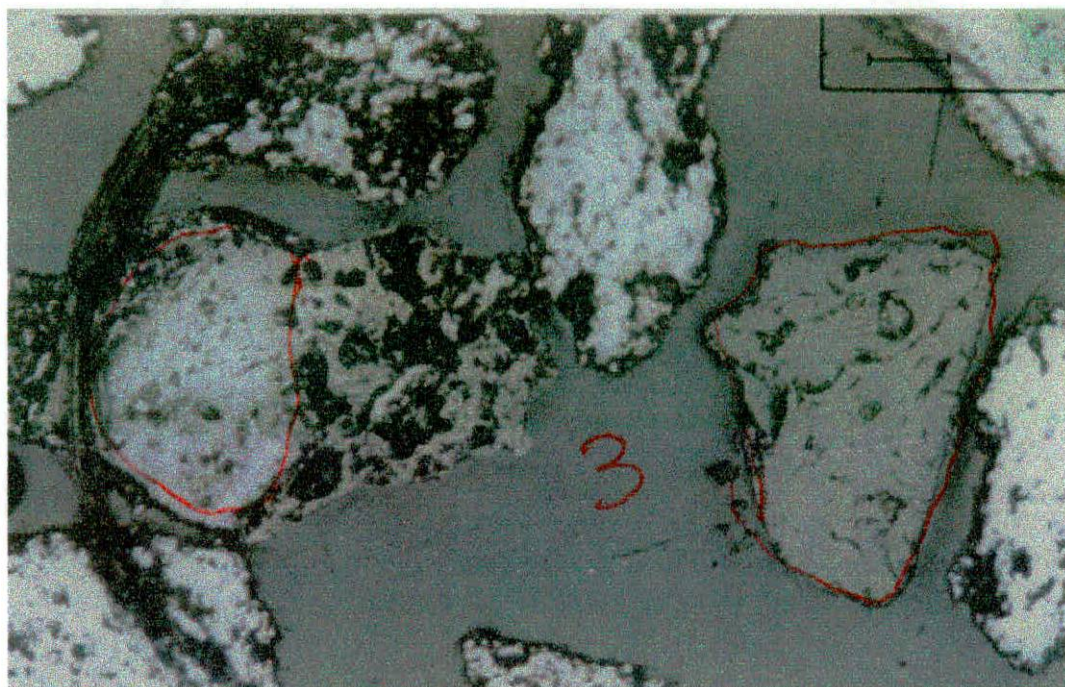
FOTO 5: A, B – Romanechita

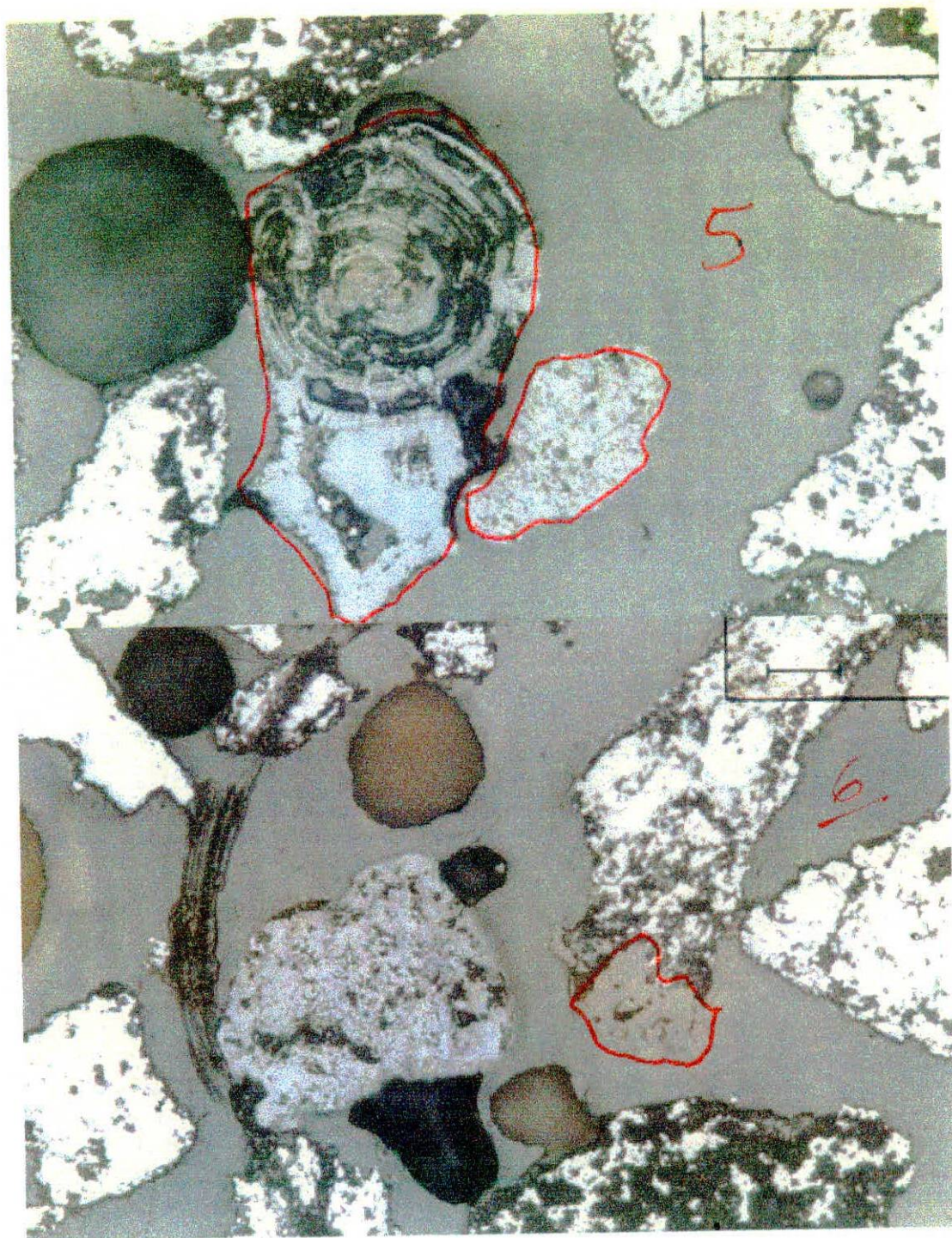
FOTO 6: Gibbsita

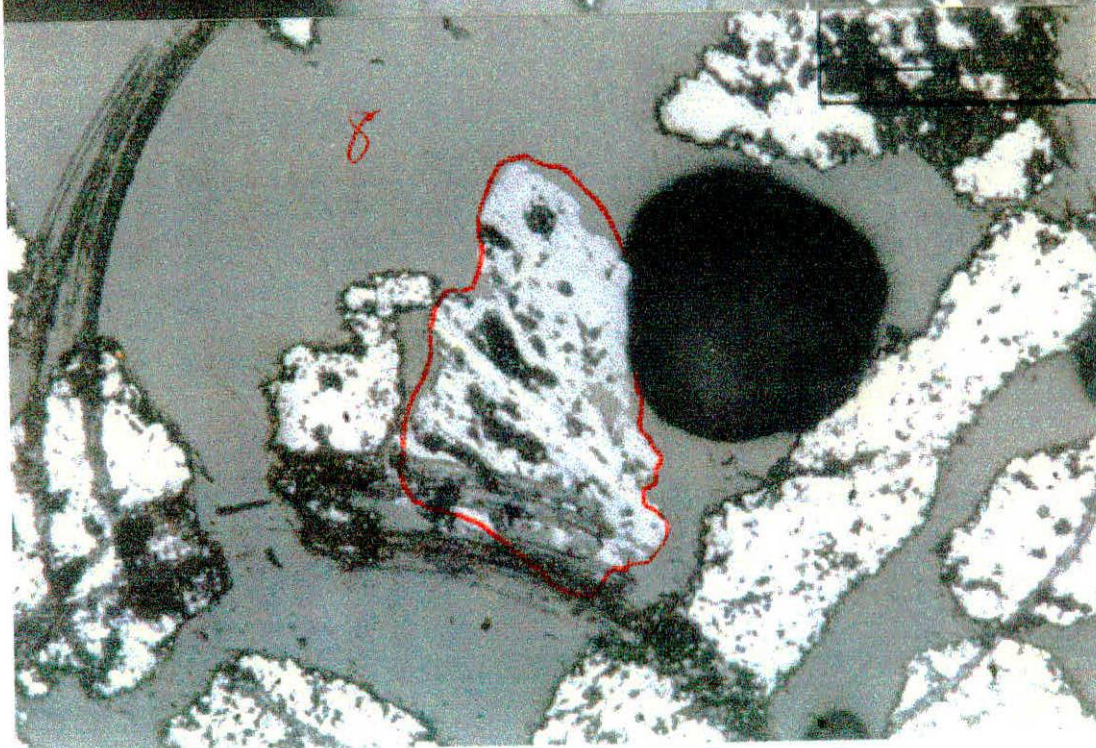
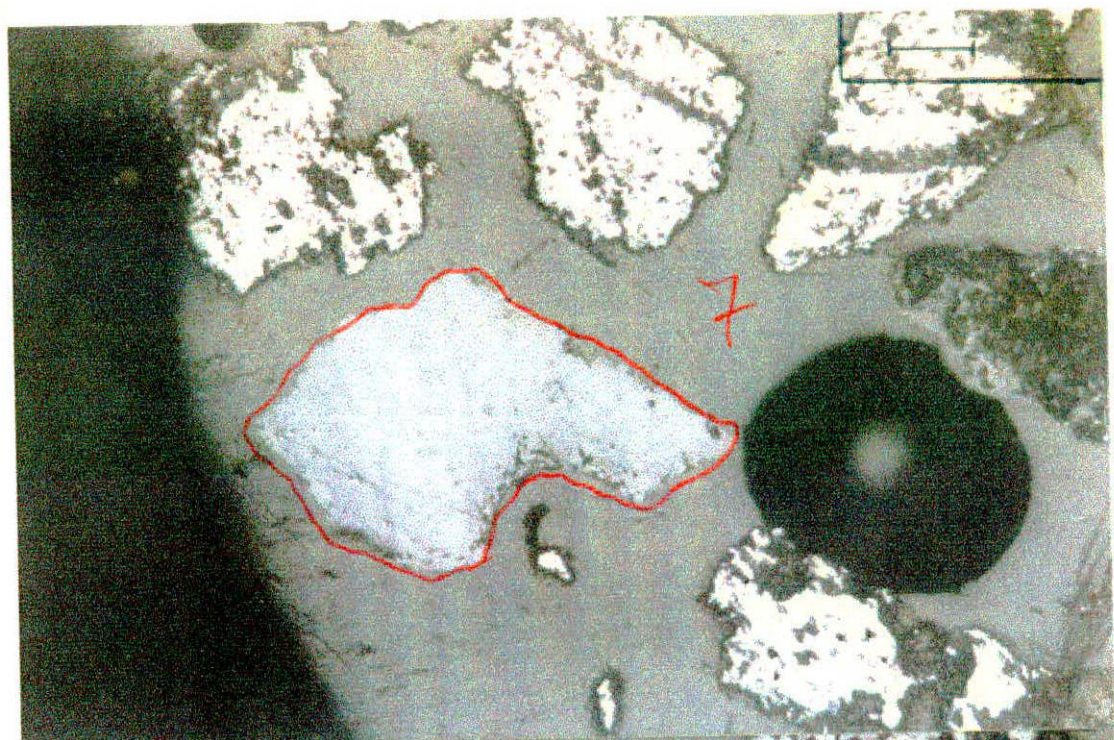
FOTO 7: Pirolusita

FOTO 8: Jakobsita









BIBLIOGRAFÍA

- 1 Feasibility Study Report for Joint Development of Capão Xavier Iron Ore Mine (1998 Review), Minerações Brasileiras Reunidas S.A. – MBR and Baoshan Iron & Steel Corporation, Wuhan Iron & Steel (Group) Corporation, Maanshan Magang Holding Company, China Metallurgical Import & Export Corp, Brasil, 1998, 101p.
- 2 GABRIEL DA SILVA, R. Efeito da Alumina na Flotação de um Minério Misto Hematítico-Itabirítico da Mina do Pico, Universidad Federal de Minas Gerais - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Brasil, 1999, 174 p.
- 3 BARBOSA CORDERO, A. Compilação de dados disponíveis sobre ensaios realizados com amostras de Capão Xavier, Departamento de Estudos Tecnológicos - Gerência de Geologia e Tecnologia - Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR, Brasil, 1993.
- 4 SOUSA, C. Relatório dos Testes Metalúrgicos realizados no LO da amostra CPX-02 (Manganez Alto), Minerações Brasileiras Reunidas S.A. – MBR, Brasil, 1999.
- 5 DANA-HURLBUT, Manual de Mineralogia, editora da USP, Brasil, Volumes 1 y 2, 1976.
- 6 MENDOÇA FERREIRA, C. Caracterização de Amostras, Fundação Gorceix, Universidad Federal de Ouro Preto, Brasil, 1999.

- 7 Governo do Estado de Minas Gerais, Secretaria de Estado da Industria, Comercio e Turismo, Metais de Minas Gerais S.A. – METAMIG, Recursos Minerais do Estado de Minas Gerais, Brasil, 297 p.
- 8 SILVA, C. C. Itabirito Anfibolitico de Timbopeba (Ouro Preto, MG), *Disertação (Maestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas – Área de Tecnologia Mineral)* – Escola de Engenharia, Universidad Federal de Minas Gerais - Brasil, Febrero 1995, 134 p.
- 9 VIANNA, S. Caracterización de Dois Minérios de Ferro Itabiríticos do Cuadrilátero Ferrífero, MG, *Disertação (Maestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas – Área de Tecnologia Mineral)* – Escola de Engenharia, Universidad Federal de Minas Gerais - Brasil, Octubre 1993, 162 p.
- 10 LIMA, R. Adsoção de amido e amina na superficie de hematita e quartzo, e sua influência na flotação, *Universidad Federal de Minas Gerais, Tese de Doutorado – Área de Tecnologia Mineral – Escola de Engenharia, Universidad Federal de Minas Gerais – Brasil, Octubre 1997, 236 p.*
- 11 CAMACHO NAVARRO, W. Mina de Los Lojas Descubrimiento y Cateo, *Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ciencias de la Tierra, Ecuador, 1999, 18 p.*
- 12 UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAME. Survey of Metallic and Non-Metallic Minerals, *Technical Report No 6. Ministerio de Industrias y Comercio. Quito, Ecuador, 1969.*