

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA
DEPARTAMENTO DE MINAS**



**CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LA MATERIA PRIMA
UTILIZADA EN EL PROCESO DE REDUCCIÓN DIRECTA FINMET® DE
LA EMPRESA ORINOCO IRON S.C.S. – CIUDAD GUAYANA, ESTADO
BOLÍVAR.**

**TRABAJO FINAL DE
GRADO PRESENTADO POR
LA BACHILLER HERRERA
M. ANDY MARA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO DE MINAS**

CIUDAD BOLÍVAR, OCTUBRE DE 2018



**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE BOLÍVAR
ESCUELA DE CIENCIAS DE LA TIERRA**

HOJA DE APROBACIÓN

Este Trabajo de Grado, titulado **“CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LA MATERIA PRIMA UTILIZADA EN EL PROCESO DE REDUCCIÓN DIRECTA FINMET® DE LA EMPRESA ORINOCO IRON S.C.S. – CIUDAD GUAYANA, ESTADO BOLÍVAR”**, presentado por el bachiller **HERRERA M. ANDY M.**, ha sido aprobado de acuerdo a los reglamentos de la Universidad de Oriente, por el jurado integrado por los profesores:

Nombres:

Firmas:

Anna Bandini
(Asesor)

Víctor González
(Jurado)

Gabriella Ciatti
(Jurado)

Prof. Víctor González
Jefe del Departamento de Ingeniería de Minas

Prof. Francisco Monteverde
Director de Escuela

DEDICATORIA

A mi Dios todopoderoso por sus bendiciones.

A mis padres Ofelia de Herrera y José Jesús Herrera.

A mis dos tesoros Kamila y Dylan.

AGRADECIMIENTO

A mis padres por su gran ayuda y apoyo, por hacer de mí una buena persona con principios y valores, por darme todo su amor y dedicación. Gracias mamá y papá, ¡los quiero mucho!

A la Universidad de Oriente por formarme como profesional. Agradecida de cada profesor por brindarme sus conocimientos durante mis años de estudio.

A mi tutora académica la profesora Anna Bandini por su ayuda en la realización de este trabajo de investigación, por sus conocimientos sobre el tema, por su gran apoyo, esfuerzo y comprensión en la culminación exitosa de la tesis. Gracias profesora por compartir sus conocimientos y hacer exitoso mi trabajo de grado.

A la empresa Orinoco Iron por permitirme realizar mi pasantía y tesis y prestarme toda la ayuda posible. Al departamento de control de calidad por su apoyo en la realización de las actividades asignadas.

A las personas que me han apoyado para seguir adelante, entre ellas las compañeras de estudio, compañeros de pasantía y tesis, y en especial a Luis Pimentel por ser quien me abrió las puertas para realizar la pasantía y tesis en Orinoco Iron S.C.S.

RESUMEN

Este trabajo de grado ofrece una caracterización mineralógica de la materia prima utilizada en el Proceso de Reducción Directa FINMET[®] de la empresa Orinoco Iron S.C.S., ubicada en Ciudad Guayana, Estado Bolívar. Se analizaron cinco muestras de la materia prima que recibe la empresa, constituidas por finos negros y marrones mezclados, los cuales conforman las pilas de material proveniente de los diferentes yacimientos de la zona. Las muestras se prepararon en secciones pulidas y se analizaron utilizando técnicas de microscopía polarizante de luz reflejada, para determinar las características ópticas de cada mineral identificado y clasificar su cristalinidad, su forma y la superficie de pulido de los granos. Durante los análisis se procedió a tomar microfotografías con nicoles cruzados y nicoles paralelos. Como resultado se logró la identificación de cuatro especies de minerales de hierro: Magnetita, Hematita, Martita y Goethita. Se hicieron tablas con sus características de reflectividad, color, anisotropía, isotropía, reflexiones internas, cristalinidad, forma de los granos y tipo de superficie de pulido. Se obtuvieron once tipos diferentes de material producto de la combinación de sus características las cuales pueden influir en su comportamiento industrial.

CONTENIDO

	Página
HOJA DE APROBACIÓN.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO	IV
RESUMEN.....	V
CONTENIDO	VI
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABLAS	XIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	3
SITUACIÓN A INVESTIGAR.....	3
1.1 Situación u objeto de estudio	3
1.2 Objetivos de la investigación	14
1.2.1 Objetivo general.....	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
1.3 Justificación de la investigación.....	14
1.4 Alcance del estudio	14
1.5 Limitaciones de la investigación.....	5
CAPÍTULO II	7
GENERALIDADES	7
2.1 Ubicación geográfica del área de estudio.....	7
2.2 Reseña historica de Orinoco Iron S.C.S.....	8
2.3 Antecedentes	10
2.4 Generalidades del proceso Finmet	12
2.5 Areas funcionales del proceso Finmet	13
2.5.1 Manejo de mineral y producto	13
2.5.1.1 Objetivo.....	13
2.5.2.2 Alcance.....	13
2.5.2 Reactores	14
2.5.2.1 Objetivo.....	14
2.5.2.2 Alcance.....	14
2.5.3 Briqueteadora	14
2.5.3.1 Objetivo.....	15

2.5.3.2 Alcance.....	15
2.5.4 Planta de gas.....	15
2.5.4.1 Objetivo.....	15
2.5.4.2 Alcance.....	15
2.5.5 Servicios.....	16
2.5.5.1 Objetivo.....	16
2.5.5.2 Alcance.....	16
2.6 Objetivos de la empresa Orinoco Iron S.C.S	16
2.7 Funciones de la empresa Orinoco Iron S.C.S	16
2.8 Misión de la empresa Orinoco Iron S.C.S.....	18
2.9 Visión de la empresa Orinoco Iron S.C.S	18
2.10 Valores y principios de Orinoco Iron S.C.S.....	18
2.11 Estructura organizativa de Orinoco Iron S.C.S	19
2.12 Gerencia de calidad de Orinoco Iron S.C.S	20
2.12.1 Política de la gerencia de calidad de Orinoco Iron S.C.S	20
2.12.2 Objetivo de la gerencia de calidad de Orinoco Iron S.C.S.....	21
2.12.2.1 Productividad y calidad.....	21
2.12.2.2 Satisfacción del cliente.....	21
2.12.2.3 Recursos humanos.....	21
2.12.2.4 Ambiente y seguridad	22
2.12.3 Funciones de la Gerencia de Calidad de Orinoco Iron S.C.S.	22
CAPÍTULO III.....	23
MARCO TEÓRICO	23
3.1 Antecedentes de la investigación	23
3.2 Fundamentos teóricos.....	24
3.2.1 Mineralogía	24
3.2.1.1 Mineralogía general	25
3.2.1.2 Mineralogía determinativa	25
3.2.1.3 Mineralogía descriptiva.....	25
3.2.1.4 Mineralogía económica.....	25
3.2.1.5 Mineralogénesis	25
3.2.2 Mineral de hierro en Venezuela	26
3.2.3 Principales litologías del hierro.....	27
3.2.3.1 Menas blandas.....	27
3.2.3.2 Menas duras	30
3.2.4 Clasificación de los principales minerales de hierro.....	33
3.2.4.1 Magnetita (Fe_3O_4).....	33
3.2.4.2 Hematita (Fe_2O_3).....	34
3.2.4.3 Martita (Fe_2O_3)	34
3.2.4.4 Goetita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$).....	34
3.2.4.5 Limonita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{NH}_2\text{O}$).....	35

3.2.5 Análisis mineralógico.....	35
3.2.6 Luz polarizada.....	36
3.2.7 Microscopio óptico de luz polarizada	37
3.2.8 Propiedades de los minerales en luz reflejada.....	39
3.2.9 Observación cualitativa de las propiedades ópticas	39
3.2.9.1 Reflectividad	39
3.2.9.2 Contorno y forma	40
3.2.9.3 Color.....	41
3.2.9.4 Dureza de pulido	42
3.2.9.5 Reflexiones internas	43
3.2.10 Proceso de reducción directa	44
3.2.11 Proceso de reducción directa FINMET®.....	44
3.2.12 Características del mineral de hierro en el Proceso de Reducción	
Directa	47
3.2.12.1 Características Químicas	47
3.2.12.2 Características Físicas	47
3.2.12.3 Características Metalúrgicas	48
3.2.13 Mecanismos de Reducción de los Minerales de Hierro	48
3.2.14 Características de Reducción del Mineral de Hierro.....	49
3.2.14.1 Reducibilidad	49
3.2.14.2 Fragmentación Térmica	50
3.2.14.3 Fragmentación de Reducción.....	50
3.2.15 Reducción de los óxidos de hierro	50
3.2.15.1 Reducción por monóxido de carbono (CO)	50
3.2.15.2 Reducción por Hidrógeno (H ₂).....	54
3.2.15.3 Reducción por mezcla de H ₂ /CO (Sistema Fe-C-H-O).....	55
3.2.16 Fluidización.....	61
3.2.16.1 Reactor de lecho fluidizado.....	61
3.2.16.2 Proceso de transferencia en el reactor de lecho fluidizado	63
3.2.16.3 Distribución del tiempo de residencia en el reactor de lecho	
fluidizado.....	64
3.2.16.4 Transferencia de calor en el reactor lecho fluidizado	64
3.2.16.5 Proceso multietapas de retores de lechos fluidizados	66
3.2.17 Reacciones heterogéneas: gas – sólido	67
3.2.18 Briquetas	69
3.2.19 Variables de proceso que afectan la calidad de la briqueta.....	70
3.2.20 Definición de términos básicos	70
3.2.20.1 Briquetas	70
3.2.20.2 Fino	71
3.2.20.3 Finos Marrones.....	71
3.2.20.4 Finos Negros	71
3.2.20.5 Fluidización.....	71

3.2.20.6 Ganga	72
3.2.20.7 Gas Reductor.....	72
3.2.20.8 Granular.....	72
3.2.20.9 Grueso	72
3.2.20.10 Hierro	73
3.2.20.11 Hierro de Reducción Directa.....	73
3.2.210.12 Lecho fluidizado.....	73
3.2.20.13 Mena.....	73
3.2.20.14 Microscopio de luz reflejada.....	74
3.2.20.15 Microscopio óptico	74
3.2.20.16 Mineral de hierro.....	74
3.2.20.17 Monocristalino	74
3.2.20.18 Opaco	74
3.2.20.19 Pellas	75
3.2.20.20 Luz Polarizada.....	75
CAPÍTULO IV	76
METODOLOGÍA DE TRABAJO	76
4.1 Tipo de investigación	76
4.2 Diseño de la investigación	76
4.3 Flujograma	77
4.3.1 Recopilación bibliográfica	79
4.3.2 Preparacion de las muestras	79
4.3.3 Determinación de las características ópticas para la identificación de los minerales presentes en las muestras.	84
4.3.4 Clasificación de la cristalinidad de los granos de los minerales identificados.	85
4.3.5 Identificación de la forma de los granos de los minerales	86
4.3.6 Identificación de la superficie de los granos de los minerales.	87
4.3.7 Análisis e interpretación de resultados.....	87
4.3.8 Conclusiones y recomendaciones	87
4.4 Poblacion y muestra.	87
4.5 Tecnicas e instrumentos de recoleccion de datos.....	88
4.5.1 Recopilación Documental	88
4.5.2 Fase de Laboratorio.....	88
4.5.3 Asesoría Académica.....	88
CAPÍTULO V	90
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	90
5.1 Determinación de las características ópticas para la identificación de los minerales.....	91
5.2 Clasificación de la cristalinidad de los granos	92

5.3 Identificación de la forma de los granos	92
5.4 Identificación del tipo de superficie de los granos.....	93
5.5 Integración de los análisis mineralógicos, de forma, cristalinidad, tipo de superficie y microfotografías con nicols cruzados y paralelos.....	94
5.5.1 Hematita granular monocristalina (HGM)	94
5.5.2 Hematita tabular monocristalina (HTM).....	95
5.5.3 Hematita granular rugosa (HGR)	96
5.5.4 Hematita granular policristalina (HGP)	97
5.5.5 Hematita tabular policristalina (HTP)	98
5.5.6 Magnetita	99
5.5.7 Martita	100
5.5.8 Martita porosa	101
5.5.9 Goethita	102
5.5.10 Goethita terrosa	103
5.5.11 Agregado terroso.....	104
CONCLUSIONES	106
RECOMENDACIONES	108
REFERENCIAS	109

LISTA DE FIGURAS

	Página
2.1 Ubicación relativa de Orinoco Iron.....	7
2.2 Imagen de satélite de la empresa Orinoco Iron	8
2.3 Vista aerea de la planta Orinoco Iron	10
2.4 Estructura Organizativa de Orinoco Iron.....	19
3.1 Finos Negros (Departamento de calidad)	28
3.2 Finos Marrones (Departamento de calidad)	28
3.3 Finos Silíceos (Departamento de calidad)	29
3.4 Finos muy Silíceos (Departamento de calidad)	29
3.5 Limonita Amarilla (Departamento de calidad)	30
3.6 Costra Hematítica (Departamento de calidad)	30
3.7 Costra Geotítica (Departamento de calidad)	31
3.8 Costra Masiva (Departamento de calidad)	32
3.9 Costra Laminada (Departamento de calidad)	32
3.10 Costra Silícea (Departamento de calidad)	33
3.11 Microscopio Óptico de Luz Polarizada Leica DM 500P	38
3.12 Diagrama del Proceso de Reducción directa Finmet®	46
3.13 Sistema Fe-C-O	53
3.14 Sistema Fe-H-O	55
3.15 Diagrama Fe-H-O-C	60
3.16 Reactor de lecho fluidizado	62
3.17 Briqueta HBC de Orinoco Iron S.C.S.....	69
4.1 Flujograma de la Metodología de la Investigación.....	77
4.2 Tamices.....	79
4.3 Resinas y moldes utilizados.....	80
4.4 Máquina METASERV 2000 desbaste/pulido.....	81
4.5 Máquina HANDIMET 2 ROLL GRINDER.	81
4.6 Máquina METASERV 2000 desbaste/pulido, con el paño pulidor y alúmina de 0,05 micrón.	82
4.7 Baquelita una vez terminada de pulir.	82
4.8 Microscopio petrografico de luz reflejada Leica DM 2500 P.	84
4.9 Identificacion de las características de las muestras.....	85
5.1 Hematita granular monocristalina NP	93
5.2 Hematita granular monocristalina NC	93
5.3 Hematita tabular monocristalina NP	94
5.4 Hematita tabular monocristalina NC	94
5.5 Hematita granular rugosa NP.....	95
5.6 Hematita granular rugosa NC... ..	95

5.7	Hematita granular policristalina NP	96
5.8	Hematita granular policristalina NC	96
5.9	Hematita tabular policristalina NP	97
5.10	Hematita tabular policristalina NC	97
5.11	Magnetita NP	98
5.12	Magnetita NC	98
5.13	Martita NP	99
5.14	Martita NC	99
5.15	Martita porosa NP	100
5.16	Martita porosa NC	100
5.17	Goetita NP	101
5.18	Goetita NC	101
5.19	Goetita terrosa NP	102
5.20	Goetita terrosa NC	102
5.21	Agregado terroso NP	103
5.23	Agregado terroso NC	103

LISTA DE TABLAS

	Página
2.1	Coordenadas UTM del área de estudio..... 7
2.2	Características generales de la planta Orinoco Iron S.C.S. 13
3.1	Características de la Magnetita..... 33
3.2	Características de la Hematita 34
3.3	Clasificación de los minerales opacos. 43
3.4	Características Fisicoquímicas del Mineral de Hierro 45
3.5	Datos termoquímicos de las reacciones de reducción del mineral 61
3.6	Características de la Briqueta Orinoco Iron S.C.S 70
5.1	Características ópticas de los minerales presentes en las muestras 90
5.2	Cristalinidad de los minerales identificados 91
5.3	Forma de los granos de los minerales..... 92
5.4	Tipos de superficies de los granos de los minerales 92
5.5	Forma, cristalinidad y tipo de superficie de los minerales presentes en la materia prima 104

INTRODUCCIÓN

Orinoco Iron S.C.S, es una empresa que utiliza tecnología de reducción directa para producir hierro briqueteado principalmente para la exportación.

Esta tecnología de reducción directa recibe el nombre de FINMET[®] y se utiliza para producir hierro briqueteado en caliente HBI (Hot Briquetted Iron), que consiste básicamente en someter finos de mineral de hierro, a un lecho fluidizado que utiliza un gas (rico en hidrógeno y monóxido de carbono) como un agente reductor y fluidizante.

El incremento de la producción y las exigencias de calidad del producto final, requieren la realización de estudios o investigaciones que aseguren la mejora en los procesos de reducción directa con el fin de mantener la competitividad en el mercado nacional e internacional.

En tal sentido, la empresa asume un compromiso en la búsqueda de métodos y procedimientos apropiados, que le permitan diseñar una metodología segura para la caracterización tecnológica de su materia prima, debido a que la actual metodología que posee, presenta debilidad en cada uno de los pasos y procedimientos. A esto se suman, los errores reportados en los análisis mineralógicos al utilizar la técnica de microscopía óptica polarizante de luz reflejada, por no tenerse en cuenta los procedimientos para el manejo del equipo y la aplicación de las técnicas de identificación de minerales.

Lo anterior, motivó al investigador a realizar una caracterización mineralógica de la materia prima utilizada en el proceso de reducción directa FINMET[®] de Orinoco Iron S.C.S, que describa los procedimientos necesarios para tal fin, basados

en principios lógicos para alcanzar una gama de objetivos de acuerdo al método científico.

El Trabajo de Grado quedó estructurado de la siguiente manera: Capítulo I. Situación a investigar: donde se expone el planteamiento del problema central de este estudio, se definen el objetivo general y los objetivos específicos que guiaron el desarrollo del trabajo, la justificación, alcance y limitaciones de la investigación. Capítulo II. Generalidades, detalla las generalidades y la reseña histórica de la empresa Orinoco Iron S.C.C. Capítulo III. Marco Teórico, se detalla los antecedentes de la investigación, las bases teóricas, el glosario de términos básicos, etc. Capítulo IV. Metodología del trabajo: en esta fase de la investigación, se explica la forma en que se desarrollo el estudio, para poder dar respuesta al problema planteado, haciendo referencia al tipo, diseño de la investigación, población y muestra. También se presenta y explica el flujograma de la metodología aplicada, y las técnicas y análisis de datos. Capítulo V. Análisis de los resultados: el cual enmarca el cumplimiento de cada objetivo específico, los resultados y el análisis de los mismos. Las conclusiones, recomendaciones y finalmente las referencias bibliográficas en las que se mencionan cada uno de los textos y páginas web consultadas para la elaboración de este trabajo, así como también los apéndices y anexos que complementan más la investigación.

CAPÍTULO I

SITUACIÓN A INVESTIGAR

1.1 Situación objeto de estudio

El Estado Bolívar cuenta con las reservas más grandes de mineral de hierro del país, pero es C.V.G. Ferrominera Orinoco, C.A. (F.M.O.), la empresa responsable de la explotación del mineral de hierro con márgenes de eficiencia, calidad y rentabilidad, y le suministra la materia prima a las empresas siderúrgicas de la región, entre ellas Orinoco Iron, S.C.S., dedicada a la producción y comercialización de unidades de hierro metálico briqueteado en caliente de alta calidad.

Tradicionalmente, en Venezuela, el mineral de hierro es caracterizado sólo por su litología, composición química y granulometría, dándole poca importancia a sus aspectos y comportamientos mineralógicos.

Por consiguiente, a través del proceso FINMET[®] han surgido ciertos inconvenientes para Orinoco Iron S.C.S., ya que no puede operar continuamente y aún así poder obtener niveles de hierro metálico superiores al 84%, porque en ocasiones se han presentado deficiencias en la calidad y la cantidad de mineral de hierro provisto por Ferrominera Orinoco C.A, afectando las operaciones y causando una disminución en el volumen de briquetas producidas por la empresa.

En tal sentido, lo anterior se traduce en: inestabilidad operativa y alta variabilidad en los niveles metálicos de las briquetas producidas. Retardo en los procesos de producción de la empresa y en sus finanzas reales.

Debido a la necesidad de dar más importancia a las características microscópicas del mineral para ser utilizado de manera eficiente en la industria siderúrgica, se tomó en consideración el proyecto de caracterización mineralógica, en el cual se obtiene la descripción de los minerales presentes en las muestras de materia prima.

Es por ello, que la mencionada empresa, a través del mejoramiento continuo de sus procesos, asume un compromiso para la caracterización mineralógica de su materia prima. Sin embargo, el procedimiento que utiliza para esta caracterización posee oportunidades de mejora ya que no cuenta con una metodología apropiada que especifique el conjunto de procedimientos sistemáticos que garanticen la optimización del uso de la materia prima y su máximo aprovechamiento.

1.2 Objetivos de la Investigación

1.2.1 Objetivo General

Caracterizar mineralógicamente la materia prima utilizada en el Proceso de Reducción Directa FINMET® de la empresa Orinoco Iron S.C.S. – Ciudad Guayana, Estado Bolívar.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Determinar las características ópticas para la identificación de los minerales presentes en las muestras.
2. Clasificar la cristalinidad de los granos de los minerales identificados.

3. Identificar la forma de los granos de los minerales.

4. Identificar la superficie de los granos de los minerales para la optimización de los procesos de reducción.

1.3 Justificación de la Investigación

La presente investigación permitirá a la empresa Orinoco Iron, S.C.S., comprender el comportamiento del material durante los diferentes procesos a los cuales puede ser sometido a futuro (siderúrgicos, de concentrados, elaboración de pellas, etc.) para el cumplimiento oportuno y satisfactorio de los requerimientos de calidad del producto de la empresa.

1.4 Alcance del estudio

La investigación se limitará a la caracterización mineralógica de la materia prima utilizada en los procesos de reducción directa FINMET® de Orinoco Iron S.C.S., a través de técnicas de microscopía óptica polarizante de luz reflejada, dejando establecido el procedimiento desde la preparación de las muestras hasta la identificación y caracterización de las especies minerales.

1.5 Limitaciones de la Investigación

Dentro de las limitaciones que se pueden presentar durante el desarrollo de la investigación podemos mencionar:

1. Los obstáculos que se pueden presentar a la hora de solicitar información al personal que labora en la Gerencia de Calidad, debido a que es considerada confidencial para la empresa.

2. Insuficiencia de algunos equipos disponibles para realizar el análisis microscópico provocando en ocasiones, retraso en la realización de los análisis.

CAPÍTULO II

GENERALIDADES

2.1 Ubicación Geográfica de la empresa Orinoco Iron S.C.S.

Orinoco Iron S.C.S. está ubicada en la parcela UD-5s07-01-02 Zona Industrial Matanzas Norte, Avenida Norte-Sur 7, adyacente a la planta RDI-FIOR, Puerto Ordaz, Estado Bolívar – Venezuela. (Figura 2.1) (Tabla 2.1).



Fig. 2.1 Ubicación relativa de la empresa Orinoco Iron (Vanegas, P. 2010).

Tabla 2.1 Coordenadas UTM del área de estudio.

N - 8.2749008
E - 62.822029



Figura 2.2 Imagen de satélite de la empresa Orinoco Iron S.C.S. (Vanegas, P. 2010).

2.2 Reseña histórica de ORINOCO IRON, S.C.S.

International Briquettes Holding (IBH), es una empresa de clase mundial con sede en Venezuela, que consolida compañías dedicadas a la producción de briquetas (material prerreducido aglomerado proveniente de un proceso de reducción directa, producido por compactación a alta o baja temperatura mediante la aplicación de presiones con o sin agregados de materiales adicionales) que sirven como materia prima para las acerías. Sus clientes principales son industrias siderúrgicas de: Estados Unidos, Europa y Asia y sus empresas filiales son: Orinoco Iron (Planta de Reducción directa), Operaciones RDI (antigua Planta Fior, actualmente inactiva), Brifer (quien posee los derechos intelectuales sobre la tecnología FINMET[®], BMS (especializada en mercadeo de briquetas). (Figura 2.3).

Orinoco Iron es una empresa estatal venezolana fabricante de hierro briqueteado en caliente que produce y suministra unidades de hierro metálico al mercado siderúrgico mundial.

El proceso de construcción de la planta Orinoco Iron comenzó en 1997 e inició sus operaciones, el 29 de Mayo del año 2000. Cuenta con dos módulos de operación

diseñados para producir 2.2 millones de toneladas anuales de briquetas. Orinoco Iron es una planta de reducción directa con tecnología FINMET® (Finos Metalizados), la cual utiliza como materia prima finos de material de hierro. Esta tecnología fue desarrollada conjuntamente por la empresa Fior de Venezuela y la empresa austriaca Voest Alpine Industriean (VAI). La planta Orinoco Iron era controlada por International Briquettes Holding (IBH) hasta febrero de 2010, cuando el Gobierno de Venezuela tomó el control operativo y administrativo de la empresa.

Es importante destacar que la empresa Orinoco Iron, con el fiel propósito de cubrir necesidades existentes en el área industrial, centrándose específicamente en el mercado de producción de briquetas, actualmente está constituida por cinco (5) áreas funcionales entre las cuales tenemos; área de reactores, área de planta de gas, área de servicios generales, área de briqueteadora y el área de mineral y producto; en esta última se encuentran ubicados los equipos secadores de finos de mineral de hierro.

Orinoco Iron fue certificada el 22 de septiembre del 2004 bajo el documento N° 9001-313-4.1047 demostrando que establece y mantiene un sistema de gestión de la calidad con los requerimientos de la Norma Internacional ISO 9001:2000, para las líneas de bienes y servicios en la fabricación de briquetas de hierro de reducción directa conformadas en caliente.

Siguiendo la política ambiental de la planta Orinoco Iron se cita: “En las empresas filiales de IBH fabricamos y comercializamos unidades de hierro metálico en armonía con la naturaleza; por ello asumimos el compromiso de evitar y minimizar los impactos ambientales, a través del mejoramiento continuo de nuestros procesos”.



Figura 2.3 Vista aerea de la planta Orinoco Iron. (Departamento de Calidad 2011).

2.3 Antecedentes

1973: Se funda Fior de Venezuela con acciones de Ferrominera Orinoco, Sivensa y Lukens Steel.

1976: Se producen las primeras briquetas HBI.

1986: El grupo Sivensa adquiere 60 % de Fior de Venezuela

1987: Se introduce la solicitud de la Patente para el nuevo proceso

1992: En Enero, se obtiene la Patente del Proceso Fior Mejorado.

En Noviembre, se firma un acuerdo de cooperación tecnológica entre Fior y la VAI para el desarrollo del nuevo proceso, Finos Metalizados, FINMET®, algunas de las actividades realizadas conjuntamente fueron:

- Pruebas industriales en la planta Fior.
- Ingeniería de un modelo de simulación del proceso.
- Personal venezolano aporta la experiencia operativa y bases para el diseño conceptual y de Ingeniería de proceso.
- Pruebas de laboratorio, fluidización y reducibilidad.
- Desarrollo conceptual y básica del nuevo proceso, FINMET®.
- Desarrollo del Simulador del proceso.

1997: Operaciones RDI compró todos los activos y pasivos de Fior, empresa que transfirió a Orinoco Iron los activos relacionados con la construcción de la nueva planta. Sivensa se asocia con The Broken Hill Proprietary (BHP).

1998: En enero 1998 se inician los trabajos civiles. En julio inician los trabajos de la construcción de la planta Orinoco Iron.

1999: En Noviembre se inicia el proceso de commissioning

2000: Inicia sus operaciones el 29 de Mayo de 2000.

2002: En septiembre Orinoco Iron alcanzó el primer millón de toneladas de briquetas producidas y vendidas.

2004: En febrero Orinoco Iron alcanza los dos millones de toneladas de briquetas producidas y vendidas. En mayo entra en operaciones el cuarto tren.

2005: La empresa Orinoco Iron cambia su razón social a S.C.S

2009: Orinoco Iron es expropiada por el gobierno tomando la administración de la misma.

2014: La empresa es nombrada mediante un decreto presidencial Briquetera del Orinoco.

Legalmente la empresa se encuentra en un limbo jurídico, ya que a la fecha aun no se ha concretado la negociación de la misma.

2.4 Generalidades del proceso Finmet®

- Planta de reducción directa que utiliza la tecnología FINMET® (Finos metalizados).

- El proceso representa la tenacidad del personal y de la ingeniería venezolana por ser el único proceso de su clase procesando finos de mineral de hierro operado con éxito a nivel mundial para la obtención de Hierro Briqueteado en Caliente (HBC), también conocido por sus siglas en inglés como (HBI).

- Es un proceso Venezolano desarrollado entre Fior de Venezuela y la compañía Austriaca Voest Alpine Industriean.

Tabla 2.2 Características generales de la planta Orinoco Iron S.C.S

Proceso	FINMET®
Ubicación	Zona Industrial Matanzas
Módulos	2 (M1, M2)
Capacidad Instalada	2.2 millones TM/año
Trenes de Producción	4 (T1, T2, T3, T4)
Alimentación promedio por línea de producción	105 TM/h
Producción por línea	70 TM/h
Hornos Precalentadores	4
Hornos Reformadores	2
Secadores de Mineral	2
Maquinas Briqueteadoras	12

2.5 Áreas funcionales del Proceso Finmet®

2.5.1 Manejo de mineral y producto

Recibe los finos de mineral de hierro húmedo provenientes de FMO para ser procesados, adecuados físicamente y suministrarlos continua y oportunamente al Sistema de Reactores.

2.5.1.1 Objetivo

Garantizar la continua alimentación de mineral de hierro seco al proceso de reactores y el continuo despacho de productos.

2.5.1.2 Alcance

- El área de Mineral & Producto comienza desde el Sistema de recepción de mineral húmedo proveniente de FMO, el cual se recibe vía trenes y/o vía camiones, hasta las correas pesadoras.

- Desde las correas pesadoras de productos hasta la descarga hacia los vagones de FMO, así como también el despacho de ultrafino desde los mezcladores de mineral hasta la descarga hacia los vagones de FMO.

2.5.2 Reactores

Recibe los finos de mineral de hierro para ser reducidos eliminando el oxígeno asociado.

2.5.2.1 Objetivo

Recibir el mineral de hierro seco proveniente del área de manejo de materiales, remover el oxígeno contenido por medio de la reacción de reducción y suministrar mineral reducido con un contenido de hierro metálico y carbón que esté dentro de las especificaciones para ser briqueteado.

2.5.2.2 Alcance

Comprende desde el sistema de alimentación de mineral a los Reactores, hasta el transporte de mineral reducido (RISERS) al tambor de alimentación de las máquinas briqueteadoras (BFB).

2.5.3 Briqueteadora

Recibir los finos de mineral de hierro reducido, provenientes del Reactor R-10 para someterlos a compactación en caliente y convertirlos en el producto final del proceso FINMET, como lo es la briqueta.

2.5.3.1 Objetivo

Recibir los finos de mineral de hierro reducido y proveniente del Reactor R-10 y convertirlo en el producto final del proceso FINMET, como lo es la briqueta.

2.5.3.2 Alcance

El área de briqueteadora comprende desde el tambor alimentador (Briquette Feed Bin) hasta la salida del producto final (Briqueta) del transportador de producto (Briquette Collecting Conveyor).

2.5.4 Planta de gas

Generar el gas reductor necesario para la reducción del mineral de hierro. El gas reductor es una mezcla rica en hidrógeno y monóxido de carbono.

2.5.4.1 Objetivo

La Planta de Gas tiene el propósito de generar el gas reductor que es necesario para la reducción del mineral de hierro. El gas reductor es una mezcla rica en hidrógeno y monóxido de carbono.

2.5.4.2 Alcance

La planta de gas abarca desde la recepción de gas natural de PDVSA-Gas hasta la entrega de gas reductor a los Reactores de Reducción del mineral de hierro (R10) y la entrega de gas natural, gas reformado y gas de combustión a servicios (gas combustible, generación de gas inerte, gas de purga de proceso y gas de sello).

2.5.5 Servicios

Acondicionar los diferentes tipos de aguas, gas inerte y aire para hacerlos aptos en el uso de los diferentes sistemas de la planta.

2.5.5.1 Objetivo

Acondicionar el agua para hacerla apta al uso en enfriamiento Industrial, enfriamiento de equipos, lavado y enfriamiento de gases o devolución a la naturaleza (efluentes industriales).

2.5.5.2 Alcance

Suministrar un gas inerte, gas de sello y gas natural con los parámetros de calidad requeridos por nuestros clientes internos

2.6 Objetivo de la empresa Orinoco Iron S.C.S

Producir y briquetear hierro en caliente a partir de finos de mineral de hierro mediante el proceso Finmet®.

2.7 Funciones de la empresa Orinoco Iron S.C.S

La empresa Orinoco Iron cumple con funciones tales como:

1. Promover y prever seguridad dentro del entorno de trabajo, que garantice una operación libre de accidentes y una existencia saludable.

2. Satisfacer plena y continuamente los requerimientos del cliente en cuanto a calidad del producto.

3. Mantener un continuo aporte de mejoras e innovaciones tecnológicas, a través de la investigación y el desarrollo de nuevos procesos, que garanticen un continuo crecimiento.

4. Fabricar y comercializar insumos metálicos que satisfagan la demanda de la industria nacional e internacional.

5. Alcanzar y mantener los estándares requeridos necesarios para la preservación del ambiente.

6. Mantener una estrecha relación con clientes y proveedores, preferentemente en donde no hayan intermediarios, mediante una búsqueda activa y selectiva de los mismos.

7. Promover y apoyar buenas relaciones con la comunidad a través de mejoras cívicas y sociales dentro de las limitaciones de tiempo y presupuesto fuera de toda política.

8. Mantener buenas relaciones con la comunidad a través de mejoras cívicas y sociales dentro de las limitaciones de tiempo y presupuesto fuera de toda política partidista.

9. Mantener buenas relaciones con la familia como ejemplo social y soporte al desarrollo integral del personal que labora en la empresa.

10. Fomentar la integración de los trabajadores y los sindicatos hacia el logro de los objetivos comunes que promueven la competitividad de la empresa.

11. Cumplir estrictamente el ordenamiento legal vigente.

2.8 Misión de la empresa Orinoco Iron S.C.S

Producir y suministrar oportunamente unidades de hierro metálico al mercado siderúrgico mundial dentro de los parámetros de calidad acordados en una estrecha relación de servicios.

2.9 Visión de la empresa Orinoco Iron S.C.S

Ser el productor y suministrador de unidades de hierro metálico más competitivo y confiable del mundo; operando sin accidentes, con mínimo impacto ambiental, alta responsabilidad legal y social, suplidores confiables y con personal, clientes y accionistas satisfechos.

2.10 Valores y principios de Orinoco Iron S.C.S

- Crecimiento
- Aprendizaje continuo
- Tenacidad
- Calidad
- Disciplina
- Equidad
- Cohesión/Trabajo en Equipo/Solidaridad
- Lealtad
- Respeto/Honestidad/Ética

- Austeridad
- Estética/Armonía
- Conservación del ambiente
- Viabilidad/Coherencia

2.11 Estructura organizativa de Orinoco Iron

Los departamentos de Orinoco Iron adscritos a la Presidencia Ejecutiva como máxima autoridad de la empresa son: Operaciones, Materiales, Ventas, Finanzas y Administración, Ambiente y Seguridad, Recursos Humanos y Relaciones Publicas. En la Figura 2.4, se puede observar en detalle el Organigrama de Funcionamiento de Orinoco Iron S.C.S.

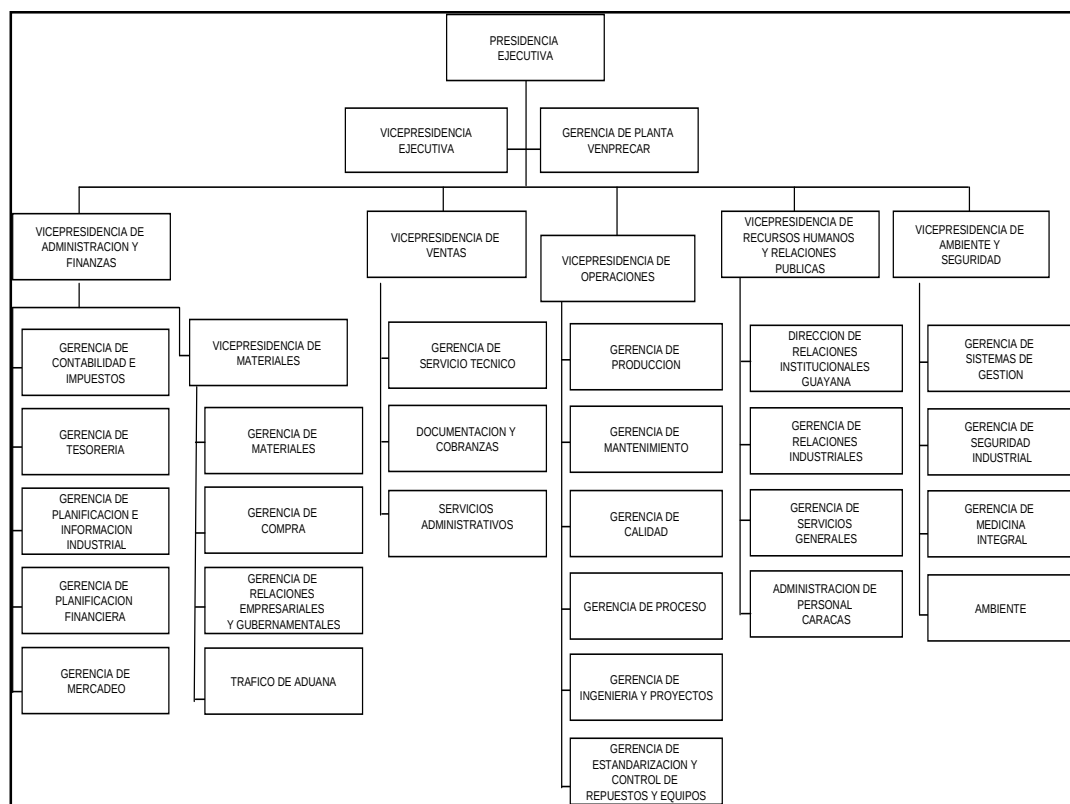


Figura 2.4 Estructura Organizativa de Orinoco Iron (Departamento de Calidad 2011).

2.12 Gerencia de calidad de Orinoco Iron S.C.S.

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Ensayos adscrito a la Gerencia de Calidad de la empresa Orinoco Iron S.C.S.

2.12.1 Políticas de la Gerencia de Calidad de Orinoco Iron S.C.S

Todas y cada una de las personas que forman parte del Laboratorio de Ensayos, dirigen sus esfuerzos para entregar a los clientes resultados de análisis químicos y físicos con el más alto nivel de calidad.

Esta política se sustenta en el compromiso de:

1. Mantener la acreditación de SENCAMER y fortalecerla de acuerdo a la Norma Venezolana COVENIN 2534:2000. “Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración.
2. Mantener un sistema de calidad eficaz que permita realizar servicios que satisfagan las expectativas de los clientes y cumplan con las normas venezolanas COVENIN.
3. Participar e involucrarse en las tareas del mejoramiento continuo, y desarrollo del proceso de estrategia humana, aprovechando las técnicas modernas de educación, capacitación y desarrollo del personal.
4. Lograr superar las expectativas de los clientes, apoyados en la ética profesional del personal, en las prácticas de las Normas Venezolanas COVENIN y las normas internacionales.

5. Cumplir con la ley y reglamentación relacionada con el medio ambiente y la seguridad, a fin de lograr un mínimo impacto ambiental y la realización de un trabajo seguro.

6. Respetar, comprender y confiar en el ser humano, especialmente en los clientes, colaboradores y proveedores.

7. Comprender, aceptar y divulgar esta política para que sea respetada por todas las personas relacionadas con la empresa.

2.12.2 Objetivo de la Gerencia de Calidad de Orinoco Iron S.C.S.

2.12.2.1 Productividad y calidad

1. Cumplir con la ejecución de análisis de acuerdo a la programación establecida.

2. Implementar mejoras para optimizar los servicios técnicos.

2.12.2.2 Satisfacción del cliente

1. Suministrar resultados en oportunidad y confiabilidad de los ensayos químicos y físicos solicitados por los clientes.

2.12.2.3 Recursos humanos

1. Cumplir con el plan de entrenamiento del personal, de acuerdo con la programación de RRHH.

2.12.2.4 Ambiente y seguridad

1. Cumplir con el programa de orden y limpieza del laboratorio.
2. Evitar accidentes en las áreas del Laboratorio de Ensayos y la empresa en general.

2.12.3 Funciones de la Gerencia de Calidad de Orinoco Iron S.C.S.

Realizar los análisis químicos y físicos a las muestras sólidas, líquidas y gaseosas provenientes de la materia prima, proceso y producto, con calidad, cantidad y oportunidad, informando a los clientes internos sobre los resultados obtenidos, con el fin que se tomen las acciones pertinentes, contribuyendo así a la estabilidad de la productividad de la planta.

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes de la Investigación

En el Trabajo de Grado presentado por Gamarra, Lumar. (2005), para optar al título de Ingeniero Geólogo, titulado Caracterización Mineralógica de las menas de hierro de la Mina los Barrancos del Cuadrilátero Ferrífero San Isidro, ubicado en el Municipio Autónomo Raúl Leoni, Estado Bolívar, se llegó a la conclusión que la técnica de microscopía óptica es una de las más confiables a la hora de identificar minerales opacos.

La investigación anterior guarda relación con el presente trabajo de grado, porque también fue necesario el uso de la técnica de microscopía óptica con ayuda de un microscopio óptico de luz reflejada con el fin de identificar los minerales presentes y las fases presentes en cada mineral estudiado, orientado hacia la caracterización mineralógica.

En el Trabajo de Grado presentado por Bardellini, Kelvin. (2007), para optar al título de Ingeniero Geólogo, titulado Caracterización Tecnológica del Mineral Fino de Hierro utilizado en el Proceso Productivo de la Planta Orinoco Iron- Ciudad Guayana, Estado Bolívar, llegó a la siguiente conclusión: con la Caracterización Tecnológica del mineral de hierro se podrá predecir el comportamiento de este en el Proceso de Reducción Directa FINMET® utilizado por la empresa.

La investigación anterior guarda relación con el presente Trabajo de Grado, puesto que el mineral de hierro ha sufrido en su proceso de formación cambios en composición mineralógica, porosidad, textura y tamaño de los granos, entre otros aspectos, desarrollando una caracterización tecnológica del mineral de hierro que

consiste en realizar análisis físico-químico, caracterización mineralógica y ensayos de reducibilidad que permiten predecir el comportamiento de dicho mineral en el proceso FINMET® de la planta Orinoco Iron.

Y en el Trabajo de Grado presentado por Bitriaga, Mayglibeth. (2008), para optar al título de Ingeniero Geólogo, titulado Caracterización Mineralógica, Química y Física del Mineral Fino de los Yacimientos de Hierro del Cuadrilátero Ferrífero San Isidro; en función de las especificaciones de la Planta de Briqueta de Orinoco Iron, Estado Bolívar, llegó a la siguiente conclusión: se determinó el contenido del mineral de cada una de las muestras seleccionadas a través del análisis microscópico para determinar el comportamiento del mineral fino en el producto FSI (Finos San Isidro).

Los antecedentes de investigación, sirven de apoyo bibliográfico para desarrollar el trabajo de investigación. Del mismo modo, guardan relación con las variables en estudio. Hoy en día, las briquetas han surgido como fuente de hierro metálico de alta y consistente calidad para la industria siderúrgica y del acero.

3.2 Fundamentos teóricos

3.2.1 Mineralogía

La mineralogía es la rama de la geología que estudia las propiedades físicas y químicas de los minerales que se encuentran en el planeta en sus diferentes estados de agregación. Por mineral se entiende una materia de origen inorgánico, que presenta una composición química definida, además de una estructura cristalográfica y que suele presentarse en estado sólido y cristalino a la temperatura media de la Tierra, aunque algunos, como el agua y el mercurio, se presentan en estado líquido. (Dana, Edwards y Ford, William. 1985).

El estudio de los minerales se divide en cinco grupos:

3.2.1.1 Mineralogía general

Estudia la estructura, cristalografía, y las propiedades de los minerales.

3.2.1.2 Mineralogía determinativa

Aplica las propiedades fisicoquímicas y estructurales a la determinación de las especies minerales.

3.2.1.3 Mineralogía descriptiva

Estudia los minerales y los clasifica sistemáticamente según su estructura y composición.

3.2.1.4 Mineralogía económica

Desarrolla las aplicaciones de la materia mineral, su utilidad económica, industrial, gemología, entre otras.

3.2.1.5 Mineralogénesis

Estudia las condiciones de formación de los minerales, de qué manera se presentan los yacimientos en la naturaleza y las técnicas de explotación.

3.2.2 Mineral de hierro en Venezuela

En Venezuela el mineral de hierro es extraído de las minas y comercializado exclusivamente por la Corporación Venezolana de Guayana (CVG) y Ferrominera del Orinoco (FMO); las minas se encuentran en la región de Guayana. Las reservas de mineral de hierro que poseen CVG y FMO están estimadas en alrededor de 14.657 millones de toneladas de reservas totales de las cuales 1.762 millones de toneladas en reservas probables, 4.184 millones de toneladas en reservas probadas y 8.711 millones de reservas en toneladas posibles. (Vanegas, Pablo. 2010).

Los yacimientos del mineral de hierro son de origen sedimentario y están constituidos principalmente por hematita y en menor proporción por magnetita, limonita y goetita. Estos yacimientos, considerados comercialmente explotables, reúnen una serie de condiciones que rara vez se presentan en otras partes, como son:

- Un tenor no inferior al 50%.
- Un mineral constituido principalmente por hematita con un porcentaje muy bajo de elementos indeseables.
- Una situación geológica que facilita su explotación a cielo abierto y facilidades de transporte por su cercanía al Río Orinoco, lo que permite el desplazamiento de grandes cargueros de mineral.
- Su cercanía a otras materias primas y a la energía necesaria para el establecimiento de una industria siderúrgica.
- Las condiciones climatológicas de la región permiten su explotación y transporte durante todo el año.

3.2.3 Principales litologías del hierro

La clasificación de los tipos litológicos de menas de hierro de alto tenor está basada en dos grupos: menas blandas o friables conocidas como Finos y menas duras o costras. En ambos casos, las menas se subdividen en diferentes subtipos de acuerdo a sus características físicas y químicas, y a su textura. Los tipos litológicos más frecuentes son los siguientes:

3.2.3.1 Menas blandas

Son llamadas Finos y su aspecto es como arena suelta, son moderadamente hidratados con alta porosidad. Si presentan textura laminar son llamados Finos Laminados.

Usualmente existen como grandes masas debajo de las menas duras o interestratificadas formando bolsas que se hacen menos densas a profundidad. Se clasifican en los siguientes subtipos:

- Finos Negros: están mineralógicamente compuestos de Hematita y Martita (como un producto de alteración de Magnetita), con una baja proporción de aproximadamente 2-3% de Goetita, pequeñas cantidades de Cuarzo y pequeños granos de Arcilla. Tienen color gris metálico y contienen hasta 69% de hierro seco (Figura 3.1).



Figura 3.1 Finos Negros (Departamento de Calidad 2011).

- Finos Marrones: estas menas muestran una pequeña variación química en comparación con los Finos Negros, dada por un incremento del contenido de alúmina y pérdida por ignición debido al incremento de Goetita y minerales alumínicos. Tienen un color marrón claro oscuro y se encuentran usualmente en los depósitos sobre los Finos Negros y debajo de las costras superficiales (Figura 3.2).



Figura 3.2 Finos Marrones (Departamento de Calidad 2011).

Al mismo tiempo, los Finos Negros y Marrones están subdivididos de acuerdo al contenido de sílice en Finos Silíceos y Finos muy Silíceos; contienen, sin embargo una mayor proporción de sílice residual que varía entre 2-6% y limitados por un contenido de hierro seco mayor o igual a 65%. (Figura 3.3 y 3.4).



Figura 3.3 Fino Silíceos (Departamento de Calidad 2011).



Figura 3.4 Finos muy Silíceos (Departamento de Calidad 2011).

- Limonita Amarilla: está constituida principalmente de Limonita terrosa, porosa, de color amarillo ocre, y minerales de arcilla en menor cantidad. Está compuesta mineralógicamente por Goetita criptocristalina y agua capilar y/o de absorción. Está considerada como producto de la meteorización de formaciones ferrosas altamente ricas en ferrosilicatos. Está caracterizada por un alto contenido de agua de cristalización (8%) y un contenido de hierro seco entre 56% y 60%. (Figura 3.5).



Figura 3.5 Limonita Amarilla (Departamento de Calidad 2011).

3.2.3.2 Menas duras

Son llamadas Costras; usualmente se concentran en las áreas superficiales del depósito cubriendo las bolsadas de Finos, aunque también existen interstratificadas con los Finos en profundidad. Los tipos más frecuentes son los siguientes:

- Costra Hematítica: compuesta principalmente de Hematita Especular. Su composición química es muy similar a la de los Finos Negros, pero su principal diferencia radica en su contenido de alúmina, sílice y pérdida por ignición. Varía desde homogénea, con cristales bien desarrollados que podría ser un agregado de Hematita primaria, hasta laminadas y bandeadas. Se encuentran en la superficie o interstratificadas con menas friables en profundidad. (Figura 3.6).



Figura 3.6 Costra Hematítica (Departamento de Calidad 2011).

- Costra Limonítica: sus principales componentes son Hematita, Goetita y Limonita en diferentes proporciones. Se encuentran además en pequeñas proporciones (menos de 5%), minerales como Cuarzo, Caolinita, Gibbsita y otros. Presentan un incremento en el contenido de Alúmina, Pérdida por ignición y Fósforo. Normalmente se desarrollan en la parte superior de los Finos Marrones muy hidratados.

- Costra Goetítica: microcristalina y/o amorfa, masiva, dura y frágil, de brillo adamantino u opaco y de color marrón o negro. Mineralógicamente, estas Goetitas son regularmente puras; la Limonita está presente en pequeñas cantidades cementando Goetita y cristales de Cuarzo. Muestra un alto contenido de Fósforo y la alúmina se incrementa debido a la presencia de hidróxido de aluminio (Gibbsita). Aquellos minerales diferentes de los óxidos e hidróxidos se encuentran en proporciones menores al 5%; son suspensiones coloidales de hidróxidos de hierro en fracturas abiertas o cavidades. Su contenido de hierro es aproximadamente 60%. (Figura 3.7).



Figura 3.7 Costra Goetítica (Departamento de Calidad 2011).

- Costra Masiva: está compuesta por proporciones variables de Goetita, Limonita y Hematita. Generalmente, la masa es de estructura porosa, la cual contiene fragmentos de otros tipos de menas sin laminación que corresponden a una meteorización superficial avanzada, con precipitación intensiva de hidróxidos de

hierro relleno los vacíos. Esta costra cubre bolsadas de finos con alta proporción de bandas de Limonita Amarilla. El contenido de hierro es aproximadamente 62%. (Figura 3.8).



Figura 3.8 Costra Masiva (Departamento de Calidad 2011).

- Costra Laminada: está compuesta por proporciones variables de Goetita, Limonita y Hematita, distribuidas en finas láminas alternadas, algunas veces frágiles y quebradizas. De acuerdo a la mineralogía predominante que existe en las Costras Laminadas, éstas pueden ser definidas como: Costras Hematíticas Laminadas, Costras Goetíticas Laminadas o Costras Limoníticas Laminadas. Alcanzan contenidos de hierro seco de hasta 67%. (Figura 3.9).



Figura 3.9 Costra Laminada (Departamento de Calidad 2011).

- Costra Silíceea: presenta granos de cuarzo residuales de Cuarcitas Ferruginosas. Contiene entre 2 y 6% de sílice y puede exhibir textura masiva y/o laminada.

Generalmente cubre menas silíceas deleznales, Cuarcitas Ferruginosas frescas y/o menas meteorizadas. (Figura 3.10).



Figura 3.10 Costra Silíceea (Departamento de Calidad 2011).

3.2.4 Clasificación de los principales minerales de hierro

3.2.4.1 Magnetita (Fe_3O_4)

Es el mineral primario constituyente de la formación de Fe, producto de procesos de recristalización temprana derivados del metamorfismo regional. Los granos son de aproximadamente 1,5 mm; pero su tamaño predominante es de 0,03 a 0,2 mm. Los granos son aproximadamente isométricos y de forma idiomorfa. La Magnetita se asocia estrechamente con Hematita, en cantidades generales subordinadas (óxido ferroso-férrico, Fe = 72.4%).

Tabla 3.1 Características de la Magnetita

Composición	72,4 % Fe y 27,6 % O ₂
Color	De gris a negro
Densidad	5.0
Estructura cristalina	Cúbico
Peso molecular	231.55

3.2.4.2 Hematita (Fe_2O_3)

Es un mineral de Fe primario, generalmente asociado con la Magnetita (Fe_3O_4). En algunos casos presenta dos sistemas de maclas que se cruzan entre sí. Los granos frecuentemente están doblados y triturados, son frecuentes cristales de 0,5 mm. La superficie de Hematita está expuesta al reemplazo por hidróxido de hierro, por lo cual los granos de Hematita están corroídos y exhiben bordes dentados (óxido férrico anhidro (hematina roja) $\text{Fe} = 70\%$).

Tabla 3.2 Características de la Hematita

Composición	70% Fe y 30% O_2
Color	Rojizo a negro
Densidad	4.9 – 5.3
Estructura cristalina	rombohedral
Peso molecular	159.7 g/mol

3.2.4.3 Martita (Fe_2O_3)

Hematita secundaria, desarrollada a partir de la Fe_3O_4 por oxidación. La Martita se presenta como pseudomorfa de la Fe_3O_4 . La martitización de la Fe_3O_4 marca la etapa inicial de meteorización de la formación de Fe.

3.2.4.4 Goetita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)

Hidróxido de Fe menos frecuente en la mena de corteza de San Isidro. Es principalmente microcristalina a criptocristalina. Se encuentra mezclada con Limonita y en pequeñas proporciones se puede confundir con Fe_2O_3 .

3.2.4.5 Limonita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{NH}_2\text{O}$)

Es un mineral amarillo ocre, terroso, untuoso al tacto, con aspecto físico del caolín, se caracteriza por el alto contenido de agua de cristalización (8-10%). Los minerales de hierro agrupados bajo este nombre son óxidos férricos hidratados. Forman una serie ordenada de minerales, de los que la fórmula general es $n\text{Fe}_2\text{O}_3 + m\text{H}_2\text{O}$. Debido a la ganga e impurezas que lo acompañan, el porcentaje de hierro varía de 30- 56%.

3.2.5 Análisis mineralógico

El análisis mineralógico se desarrolla por observación directa de las muestras minerales y por observaciones microscópicas., pero requiere una gran práctica y un conocimiento previo de las asociaciones mineralógicas (paragénesis) que es posible encontrar. El análisis mineralógico por microscopía óptica se realiza por un lado en luz transmitida y por otro lado en luz reflejada (episcopía). En el primer caso, se corta en la muestra mineral a analizar una lámina delgada y se determinan los minerales de la ganga basándose en su color, su índice de refracción, la presencia de clivajes y maclas. Para el análisis con luz reflejada, se prepara una sección pulida de la muestra.

El análisis microscópico permite en primera instancia una determinación cualitativa y semicuantitativa de las especies minerales presente en una muestra. En un análisis de material fragmentado (muestra molida, concentrado) se puede llegar a un análisis cuantitativo. En consecuencia, se estima la superficie relativa ocupada por cada especie mediante un sistema de reticulado y se corrige el valor con la densidad correspondiente a cada especie para llegar a una fracción másica (Cruz, Luis. 2000 en Vásquez, P y Matemala, A. 1997).

3.2.6 Luz polarizada

Cuando el movimiento ondulatorio se reduce a vibraciones en un solo plano, se dice que la luz está polarizada en un solo plano. Las tres principales formas para polarizar la luz son por doble refracción, absorción y reflexión. Las ondas tienden a vibrar en varias direcciones alrededor de la línea de transmisión, pero en el caso de que la onda esté restringida a vibrar en un único plano de vibración se dice que la luz está polarizada (Cruz, Luis. 2000 en Vásquez, P y Matemala, A. 1997).

La polarización de la luz se puede demostrar de varios modos:

1. Por doble refracción, cuando la luz atraviesa un cristal anisótropo se divide en dos rayos polarizados. El principio sobre el que se basó el primer polarizador eficiente fue la eliminación de uno de estos rayos. La calcita posee una doble refracción tan fuerte que cada rayo produce una imagen distinta cuando un objeto se mira a través de un fragmento de exfoliación (óp. cit.).

2. Por reflexión, sobre una superficie pulida hay polarización parcial de la luz. Si se examina la reflexión a través de una lámina de polarización, se oscurecerá el campo visual cuando el plano de vibración se gire hasta formar un ángulo recto con el plano de reflexión de la superficie pulida (óp. cit.).

3. Por absorción, este fenómeno se observa muy bien en ciertos cristales como la turmalina. La luz que choca contra el cristal, vibrando en una gran variedad de planos, es fuertemente absorbida excepto a lo largo de un solo plano. Los rayos que emergen, limitados a este plano de vibración, muestran, de este modo, polarización plana (óp. cit.).

3.2.7 Microscopio óptico de luz polarizada

Los microscopios de luz polarizada son microscopios a los que se les han añadido dos polarizadores (uno entre el condensador y la muestra y el otro entre la muestra y el observador), el material que se usa para ello es un cristal de cuarzo y un cristal de Nicol dejando pasar únicamente la luz que vibra en un único plano (luz polarizada). Algunos compuestos orgánicos responden al efecto de la luz, éstos tienen un alto grado de orientación molecular (sustancias anisótropas), que hace que la luz que lo atraviesa pueda hacerlo en determinados planos vibratorios atómicos. El prisma de Nicol permite el paso de luz en un solo plano, así el cuarzo gira la posición de polarización, facilitando la identificación de sustancias que extinguen la luz. Al fenómeno de extinción de luz causado por estos planos atómicos y orientaciones moleculares se llama birrefringencia.

El microscopio de polarización se basa en el empleo de dos filtros polarizadores. El primero de ellos, el polarizador propiamente dicho, sirve para generar un haz de ondas luminosas que oscilan en un solo plano y que se hace incidir en la muestra. El segundo, denominado analizador, se encuentra entre la muestra y el ocular. Cuando ambos polarizadores se encuentran cruzados, se extingue la luz generada por el primer polarizador. Sin embargo, si la muestra contiene sustancias que presentan anisotropía, se produce birrefringencia y esta puede detectarse.

Este tipo de microscopio se utiliza para estudiar rocas. Al examinar este tipo de secciones delgadas de las rocas, aparecen claramente las relaciones de textura y pueden ser determinadas ciertas propiedades ópticas. Este microscopio es igualmente efectivo en el trabajo con fragmentos minerales pulverizados. Las propiedades ópticas pueden ser determinadas en tales granos sueltos, y en la mayoría de los casos caracterizan un mineral suficientemente como para permitir su identificación (Cruz, Luis. 2000 en Vásquez, P y Matemala, A. 1997).

Además de las lentes, condensador y diafragma, y que son comunes en todos los microscopios compuestos, el microscopio de polarización tiene otros rasgos. El polarizador, situado debajo de la platina, es una placa polarizante, o prisma de nicol, que transmite luz polarizada en un plano que vibra en la dirección N-S (delante-atrás). El analizador, montado en el tubo situado encima de la platina, es una placa o prisma similar que transmite la luz que vibra sólo en la dirección E-O. El polarizador y analizador se llaman conjuntamente polares. Cuando los dos polares están en posición, se dice que están cruzados y, si no hay algún cristal anisótropo entre ellos, no se ve luz. El polarizador está fijo, pero el analizador puede desplazarse a voluntad fuera del rayo de luz. Al trabajar con cristales es necesario, a menudo, cambiar su orientación. Esto se lleva a cabo mediante una platina rotatoria cuyo eje de rotación es el mismo que el eje del microscopio (óp. cit.). (Figura 3.11).



Figura 3.11 Microscopio Óptico de Luz Polarizada Leica DM 500P (Departamento de Calidad 2011).

3.2.8 Propiedades de los minerales en luz reflejada

Los minerales opacos poseen propiedades ópticas características, las cuales se determinan utilizando un microscopio óptico, para observar secciones pulidas de estos minerales con luz reflejada. Como la mayor parte de los minerales de mena son opacos, las técnicas para el estudio las secciones pulidas se han desarrollado ampliamente (Cruz, Luis. 2000 en Vásquez, P y Matemala, A. 1997).

Las características más sobresalientes de los minerales observados con luz reflejada son el poder de reflexión, color, anisotropía, forma, dureza y reflexiones internas. El primero puede ser calculado, sin embargo, se prefiere proceder empíricamente. Oscilando entre 90% y 100% en algunos metales. Los colores son, generalmente, vecinos al blanco; no obstante, con mucha práctica se llega a distinguir tonalidades diferentes y características.

Los minerales no pertenecientes al sistema cúbico presentan en las superficies pulidas efectos de anisotropía, la cual no guarda relación alguna con los fenómenos de interferencia que se producen con la luz refractada (óp. cit).

3.2.9 Observación cualitativa de las propiedades ópticas

Se trata de establecer una correspondencia entre las descripciones de la bibliografía y las observaciones personales para cada fase mineral.

3.2.9.1 Reflectividad

Esta es una característica única de los minerales observados en secciones pulidas.

En la práctica, es la impresión subjetiva de la brillantez que es percibida cuando un mineral es examinado. Teóricamente, es la porción de la intensidad de la luz reflejada por un mineral debido a la intensidad de la luz incidente. La reflectividad depende del índice de refracción y el coeficiente de absorción del mineral. En el caso de metales o minerales con lustre metálico, la mayoría de la luz es reflejada y la reflectividad está cerca del 100%. En el caso de los minerales de la ganga, los cuales son transparentes en sección delgada, la mayoría de la luz penetra y es absorbida por el mineral, y por lo tanto solo una pequeña parte de esta es reflejada. La reflectividad está cerca de cero y todos los minerales transparentes en sección delgada son observados muy oscuros en sección pulida (Heinrich, E. 1971).

Hay que desarrollar una escala memorística aproximada de reflectividad (luminosidad, prescindiendo del color) de los minerales más comunes. Estos nos servirán de referencia para el reconocimiento de cualquier reflectividad.

3.2.9.2 Contorno y forma

En el contorno de los granos o cristales de los minerales se consideran tres categorías: granos intactos en lámina delgada, material molido y sumergido en líquidos, granos detríticos, separados de rocas clásicas y sumergidas en líquidos o montados en preparaciones más permanentes.

En las láminas delgadas de rocas ígneas aparecen granos que pueden estar rodeados completa o parcialmente o incluso libres de contactos de caras de cristales. Tales granos se denominan, respectivamente, euhédricos, subhédricos y anhédricos (Heinrich, E. 1971).

La mayoría de los minerales observados en sección pulida son anédricos o xenomórficos, es decir que ellos no tienen forma definida a excepción de la

Magnetita y Hematita especular que presentan granos euedrales o idiomórficos algunas veces. Algunas especies generalmente los más duros o aquellos que tienden a fundirse a altas temperaturas tienden a desarrollarse con su propio hábito cristalográfico o forma idiomorfica (óp. cit.).

3.2.9.3 Color

Se debe a la reflectividad diferencial de los minerales para las distintas longitudes de onda del espectro visible. La mayoría de los minerales coloreados tienen una reflectividad media.

Aunque esta propiedad es una de las más aparentes, en pocas ocasiones permite por si solo identificar los minerales. Como son pocos los minerales que presentan colores intensos, la descripción de su coloración es muy subjetiva. El color aparente de un mineral se verá muy influenciado por los colores de sus minerales vecinos (Picot, Johan. 1982).

Por regla general, solo presentarán una coloración muy marcada al microscopio, en condiciones de espesor muy reducido, aquellos minerales fuertemente coloreados a simple vista. Sin embargo, el color observado al microscopio es una característica más definida que el que presenta una muestra macroscópica. El color natural del mineral se observa en secciones delgadas solamente con el polarizador. En el caso de las secciones pulidas también es la primera característica que se observa del mineral. Los minerales metálicos pueden indistintamente estar coloreados o sin color (blanco como la hematita o gris pálido con tinte crema o azulado como la goethita) y puede verse diferente según los minerales con los que esté asociado (óp. cit.).

3.2.9.4 Dureza de pulido

Únicamente se realizarán observaciones cualitativas de la dureza de pulido.

Debido a que la dureza puede variar según la orientación de los cristales, se deberá realizar más de una observación, a fin de obtener un dictamen fiable.

Los tres criterios utilizados para apreciar la dureza relativa entre dos minerales son los siguientes:

- Rallas de pulido: los minerales de dureza muy baja acostumbran a presentar rallas de pulido. Sin embargo, en algunas ocasiones en las que el proceso de pulido no ha seguido todos los pasos convenientes, algunos minerales muy duros (como la pirita) pueden presentar rallas de pulido relictas de los procesos de desbastado inicial.

- Relieve diferencial: los minerales más duros resaltan más que los de menor dureza, originando en la superficie de la probeta “mesetas” y depresiones. Estos contrastes de relieve se observan a partir de las líneas de contacto entre minerales. Si la diferencia de relieve (dureza) es poca, la línea se observará muy tenue. En cambio, si esta diferencia es mayor la línea estará bien marcada.

- Línea de Kalb: una vez reconocida si la diferencia de durezas entre dos minerales es más o menos pronunciada (a partir de la línea de relieve), la línea de Kalb permite atribuir la dureza más elevada a una de las dos fases.

La línea de Kalb es una línea brillante que aparece al desenfocar levemente la imagen con el diafragma de apertura semicerrado. La línea se desplazará hacia el mineral de menor dureza al alejar el objetivo de la platina y viceversa (Picot, Johan. 1982).

3.2.9.5 Reflexiones internas

Aparecen exclusivamente en los minerales transparentes (reflectividad muy baja) y en los semiopacos (reflectividad baja), en los que parte de la luz penetra a través del mineral reflejándose en cualquier discontinuidad interna, tal como planos de macla, exfoliaciones y fracturas. (óp. cit).

Tabla 3.3 Clasificación de los minerales opacos.

Clasificación de Minerales Opacos					
Color	Pleocroísmo	Anisotropía	Reflexiones Internas	Dureza	Grupo
Coloreados	Fuerte o Moderadamente Pleocroicos				<u>1</u>
	Débilmente o no Pleocroicos	Fuertemente Anisótropos			<u>2</u>
		Moderadamente Anisótropos			<u>3</u>
		Débilmente Anisótropos o Isótropos			<u>4</u>
Blanco-Gris o débilmente coloreados	Débilmente o No pleocroicos	Débilmente Anisótropos o Isótropos	Con Reflexiones Internas		<u>5</u>
			Sin Reflexiones Internas	Blandos	<u>6</u>
				Medios	<u>7</u>
				Duros	<u>8</u>
		Moderadamente Anisótropos	Con Reflexiones Internas	Blandos	<u>9</u>
				Medios	<u>10</u>
				Duros	<u>11</u>
			Sin Reflexiones Internas	Blandos	<u>12</u>
				Medios	<u>13</u>
				Duros	<u>14</u>
		Fuertemente Anisótropos	Con Reflexiones Internas		<u>15</u>
				Blandos	<u>16</u>
				Medios	<u>17</u>
				Duros	<u>18</u>
	Fuerte o Moderadamente Pleocroicos		Con Reflexiones Internas		<u>19</u>
			Sin Reflexiones Internas		<u>20</u>

3.2.10 Proceso de reducción directa

Se denomina Proceso de Reducción Directa a todo proceso mediante el cual se obtiene hierro metálico por reducción de minerales de hierro, siempre que las temperaturas involucradas en los distintos procesos no superen la temperatura de fusión de cualquiera de los componentes. Por esta circunstancia, no se puede realizar la separación de ganga de los minerales utilizados. Realmente es una reacción incompleta, dado que al no alcanzarse la fusión, no se llega a remover en la práctica todo el oxígeno del mineral. (Vanegas, Pablo. 2010).

El principio teórico de la reducción directa se basa en la reacción del oxígeno presente en los óxidos de hierro por elementos reductores, fundamentalmente el carbono y el hidrógeno procedentes del gas natural reformado, del carbón y de una serie de sustancias capaces de suministrarlos. El proceso de reducción directa es afectado por dos aspectos químicos fundamentales: el equilibrio y la cinética química. El primero determina el grado de reducción que es posible obtener, y el segundo determina con que velocidad se alcanza dicho grado de reducción. El equilibrio químico permite la selección apropiada de la calidad y temperatura del gas reductor, mientras que la cinética química permite una adecuada escogencia de la materia prima y un dimensionamiento óptimo en el diseño del reactor.

3.2.11 Proceso de reducción directa FINMET®

Orinoco Iron S.C.S, opera con el proceso de reducción directa FINMET®. El proceso de reducción directa FINMET® (Finos Metalizados) es un proceso basado en la tecnología de lechos fluidizados, el cual usa un gas para la reducción rico en H_2 y CO. La materia prima utilizada es finos de mineral de hierro en estado natural, sin ningún tipo de preparación previa. Su producto final es en forma de briqueta (HBI, Hot Briquette Iron) con alto contenido de hierro metálico, bajo azufre y residuales.

Las características físico-químicas del mineral con que se alimenta a los reactores de reducción del proceso Finmet, se presenta en la siguiente tabla de resultados de un análisis típico de un mineral óptimo para ser alimentado:

Tabla 3.4 Características Fisicoquímicas del Mineral de Hierro.

MINERAL SECO			
Químicas		Físicas	
		mallas	%
		+1/2"	0
Análisis	%	+ 3/8"	0,85
FeT	65,89	+1/4"	5,09
C	0,11	+10	35,56
S	0,019	+16	15,24
CuO	0,007	+60	20,34
Cr₂O₃	0,02	+100	10,84
PPC	>4,5	+325	10,42
Humedad	0,30	-325	1,64

En el proceso FINMET[®] el calor es provisto por el gas de los reactores reductores, lo cual permite:

- Disminuir el consumo de gas natural.
- Eliminar el compresor de aire.
- Eliminar el Sistema de Enfriamiento de Gases del Precalentador
- Disminuir los Costos de Inversión.

El proceso permite reducir el mineral directamente a partir de los finos de mineral, lo cual redunda en menores costos de producción. En los procesos convencionales se requiere de una mezcla de pellas (pequeños conglomerados de finos cuya producción requiere de un proceso industrial propio) y gruesos (piedras de mineral bruto).

Las briquetas Orinoco Iron son el resultado de la reacción química entre finos de mineral de hierro y gas reductor que se desarrolla en reactores de lecho fluidizado con una alta densidad y alto porcentaje de metalización, bajo contenido de ganga y residuales y poseen una condición inerte, que hacen de las briquetas de Orinoco Iron la carga metálica ideal para los procesos de acería. Además de las propiedades físicas y químicas, menor generación de finos durante el transporte, menor contenido de ganga y residuales así como su mayor contenido de carbono y mayor porcentaje de metalización, hacen de las briquetas de Orinoco Iron un producto superior a cualquier otro producto de reducción directa HBI/DRI. (Figura 3.12).

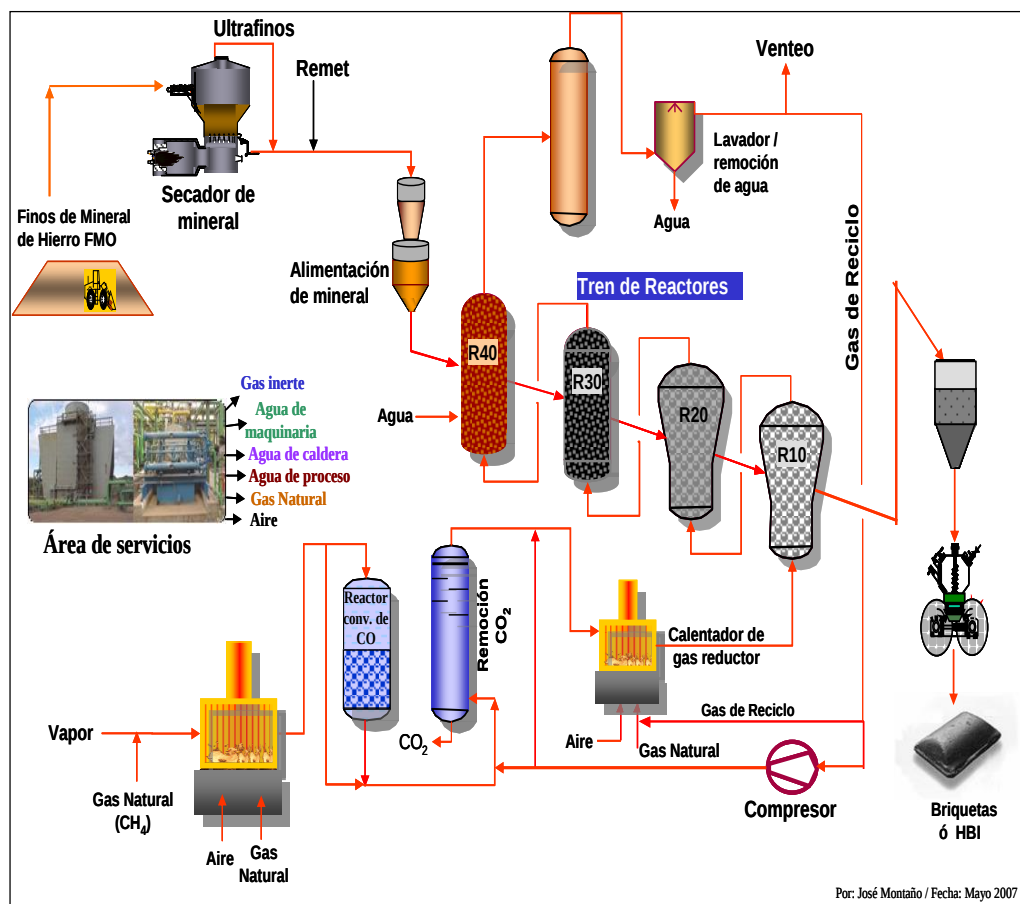


Figura 3.12 Diagrama del Proceso de Reducción Directa FINMET®
(Vanegas, P. 2010).

3.2.12 Características del mineral de hierro en el Proceso de Reducción Directa.

El mineral de hierro empleado puede ser fino o grueso de mineral, y/o pellas. Para la utilización del mineral, se debe tomar en cuenta las siguientes especificaciones:

3.2.12.1 Características Químicas

- El contenido de hierro del mineral debe estar entre un 35 % y un 65 %.
- La reducción directa no permite la disminución del azufre ni del fósforo, y por eso es preciso que el mineral de hierro contenga bajos porcentajes de estos elementos.
- Se debe especificar el contenido de los siguientes elementos: Sílice, Alúmina, óxido de Calcio, Mercurio y humedad.

3.2.12.2 Características Físicas

- Porosidad: mientras más poroso sea el mineral, el grado de reducción será mayor y el proceso puede ocurrir más rápido, puesto que aumenta la superficie de contacto con el gas reductor.
- Granulometría: la velocidad de reducción disminuye a medida que aumenta la distribución del tamaño de partículas. La distribución granulométrica debe ser uniforme, para favorecer la permeabilidad y el ascenso de los gases.

Además a mayor tamaño, se requiere más tiempo para alcanzar una reducción óptima.

- Alta resistencia mecánica de las pellas y el grueso: Para evitar la desintegración y generación de finos en las operaciones de manejo, transporte y durante la reducción (hinchamiento, índice de degradación). El mineral debe soportar tensiones internas, altas presiones y temperaturas durante el proceso.

3.2.12.3 Características Metalúrgicas

- Alto grado de reducción que permita operar en condiciones térmicas menos exigentes, permitiendo obtener un mayor porcentaje de metalización.

- Baja tendencia del mineral a formar aglomerados a altas temperatura, esto permite un mejor flujo gaseoso y evita la disminución de la eficiencia de la operación.

3.2.13 Mecanismos de Reducción de los Minerales de Hierro

En general, pueden establecerse tres grandes mecanismos que controlan la velocidad de reducción:

- Difusión de los gases hacia adentro y hacia afuera del lecho formado por el material a ser reducido. Lo cual se denomina normalmente control de la capa límite.

- Difusión de los gases hacia el interior y exterior de la partícula a reducir. Lo cual se conoce como, control de la difusión gaseosa.

Este mecanismo es el que tendrá mayor significancia en la partícula del catalizador durante el proceso de reducción ya que por su naturaleza funcional está diseñado para que exista una amplia área de contacto con el fluido gaseoso, permitiendo la fácil penetración y salida del gas de la partícula.

- Reacción química en la inter-fase wustita (Fe O) - hierro (Fe), denominado control de la capa límite de reacción.

3.2.14 Características de Reducción del Mineral de Hierro

Las características más importantes en el proceso de reducción de un óxido de hierro son: la reducibilidad, la fragmentación térmica y la fragmentación de reducción.

3.2.14.1 Reducibilidad

Es una medida de la velocidad con que los minerales de hierro son reducidos químicamente. Depende de la naturaleza y cantidad de gas reductor utilizado, la temperatura de reducción, características y condiciones de la muestra; siendo generalmente medida por un grado de reducción o metalización alcanzado por el material en un ensayo realizado bajo condiciones bien definidas.

Igualmente el tiempo de contacto (tiempo de residencia) entre la muestra y el gas reductor es factor importante en la reducibilidad; se puede observar que a medida que se aumenta el tiempo, se incrementa el grado de metalización en el mineral.

De acuerdo a este comportamiento, se pueden clasificar los minerales en tres categorías:

- Mineral poco reducible (88-90 % de metalización).
- Mineral reducible (90-92% de metalización).
- Mineral muy reducible (>92% de metalización).

3.2.14.2 Fragmentación Térmica

Debido a las diferencias mineralógicas un mineral que contiene agua de cristalización en diferentes proporciones, al ser calentado a temperaturas elevadas, se desintegra en fragmentos y estos a su vez, son los que generan los finos. En este caso es muy importante el tipo de mineral a utilizar. Esta afirmación permite inferir que si una muestra no contiene agua de cristalización o contiene en muy poca proporción tendrá un comportamiento estable en cuanto a fragmentación se refiere, es decir reflejara poco o ningún grado de fraccionamiento de la partícula por causa de los efectos térmicos del proceso.

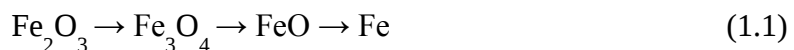
3.2.14.3 Fragmentación de Reducción

Esta fragmentación ocurre durante los primeros minutos de reducción; esto se debe a que durante la reducción en la transformación de hematita a magnetita se produce una expansión dimensional, debido al reagrupamiento de la estructura cristalográfica por eso nacen tensiones físicas internas que hacen que las partículas reducidas generen también finos.

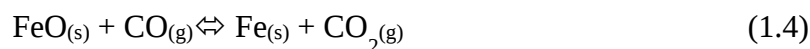
3.2.15 Reducción de los óxidos de hierro

3.2.15.1 Reducción por monóxido de carbono (CO)

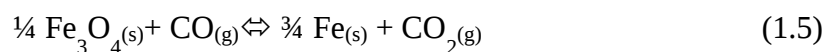
La reducción del hierro por el monóxido de carbono comienza con la hematita, el más alto estado oxidado del hierro, se lleva a cabo en tres etapas a temperaturas por encima de 560 °C:



Las tres reacciones con el CO son las siguientes:

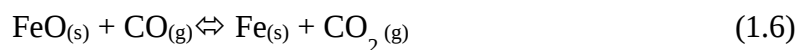


Debido a que la wustita (FeO) es metastable por debajo los 560 °C generalmente se dice que la reducción del óxido de hierro se lleva a cabo en dos etapas a bajas temperaturas. La magnetita (Fe₃O₄) producida en la primera etapa es reducida a hierro según la siguiente reacción (sin pasar por wustita):



Teniendo el cambio de energía libre de Gibas para la reacción (1.5) la constante de equilibrio y la composición de la fase gaseosa en equilibrio puede ser calculada.

Sabiendo que para la reacción:



$$K = \frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}} \quad (1.7)$$

donde K es la constante de equilibrio, se tiene que:

$$\Delta G_T^\circ = -RT \ln K \quad (1.8)$$

$$\text{A } T = 1000^\circ \text{K}, \Delta G_{1000}^\circ = +800$$

$$\log K = \frac{-\Delta G_T^\circ}{4,575 \cdot T} = \frac{-880}{4,575 \cdot 1000}$$

entonces,

$$K = 0,64217$$

Y sabiendo que la suma de las presiones parciales de los gases que intervienen es igual a la presión total del sistema, en este caso se asume igual a una atmósfera.

$$PCO_2 + PCO = P_t = 1 \quad (1.9)$$

Ahora se pueden determinar estas presiones parciales y la composición del gas:

$$PCO = 0,6089 \text{ atm}$$

$$PCO_2 = 0,3911 \text{ atm}$$

La composición del gas por volumen es 60.89 % CO y 39.11 % CO₂

Como se efectuaron los cálculos para la reacción con FeO, se pueden efectuar los mismos cálculos para los otros óxidos y calcular las composiciones de equilibrio del gas en función de la temperatura obteniéndose el gráfico en la figura 3.13 (El sistema Fe-C-O).

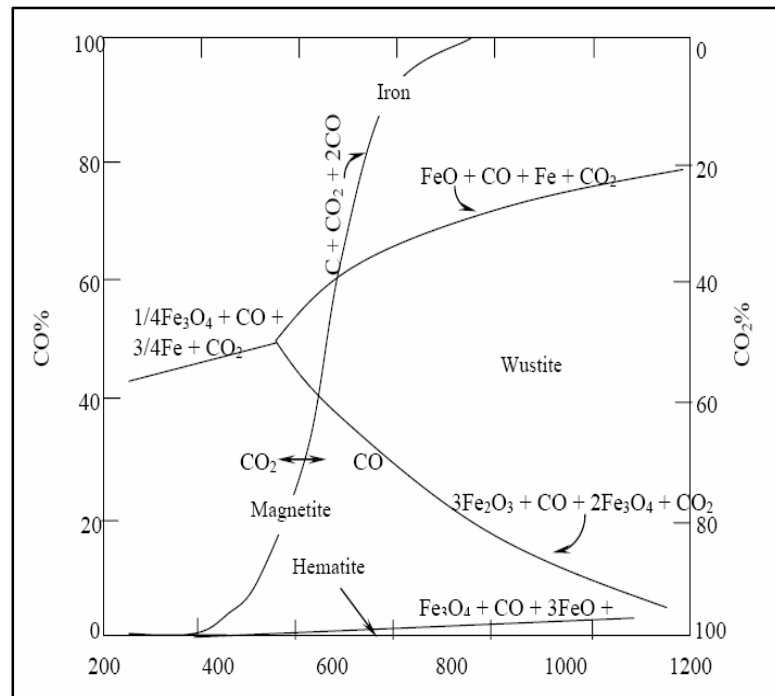


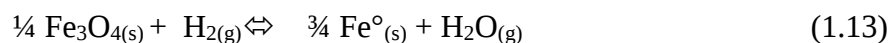
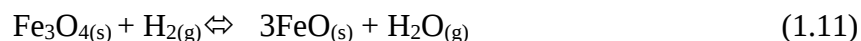
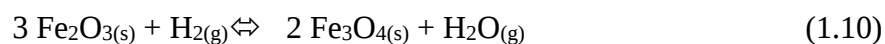
Figura 3.13 Sistema Fe-C-O (Vanegas, Pablo. 2010).

Si la fase gaseosa contiene otro gas tal como nitrógeno, la relación CO a CO₂ permanecerá constante pero la suma de sus composiciones porcentuales disminuirá por una cantidad igual al porcentaje del tercer gas.

Se debe notar que la presión total del sistema no tiene ningún efecto sobre la composición de equilibrio del gas. Es decir, existirá una variación en las presiones parciales de los gases que intervienen, cuando la presión total varíe, pero no en su composición porcentual por volumen.

3.2.15.2 Reducción por Hidrógeno (H₂)

La reducción del hierro por el hidrógeno es similar a la reducción por CO. A temperaturas por encima de 560 °C la reducción se lleva a cabo en tres etapas y en dos etapas a temperaturas por debajo de los 560 °C. Las reacciones involucradas son:



Los cambios de las energías libres estándares de las siguientes ecuaciones:

$$\Delta G_T^{\circ} = 720 - 20.52 T \quad (1.14)$$

$$\Delta G_T^{\circ} = 15720 - 16.80 T \quad (1.15)$$

$$\Delta G_T^{\circ} = 3150 - 1.85 T \quad (1.16)$$

$$\Delta G_T^{\circ} = 6292 - 5.59 T \quad (1.17)$$

Las constantes de equilibrios. La relación H₂O/ H₂ y la composición de equilibrio puede ser calculadas de la misma manera como para el CO. La Figura N° 3.14 muestra el diagrama de equilibrio para el sistema Fe-H-O.

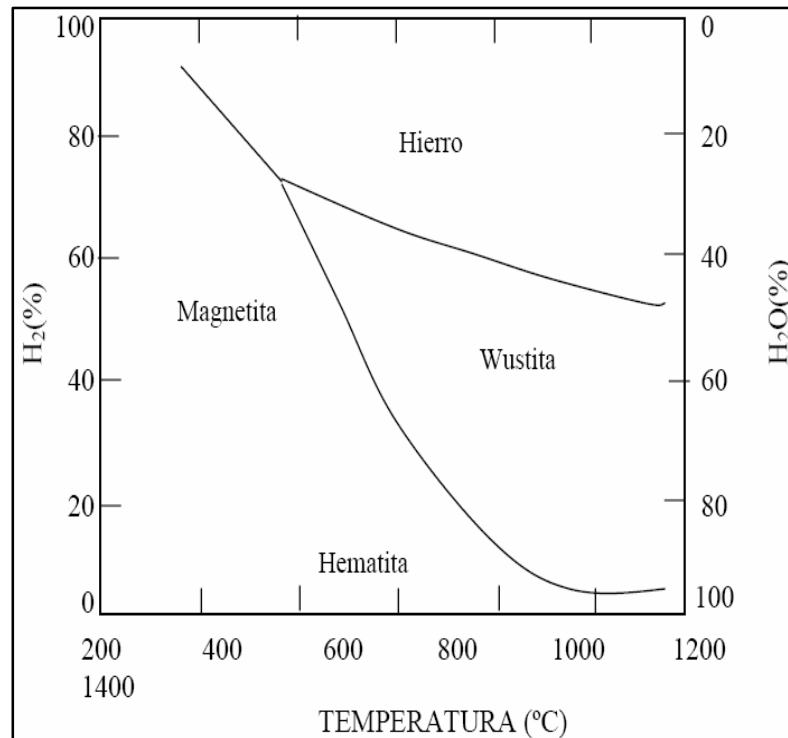


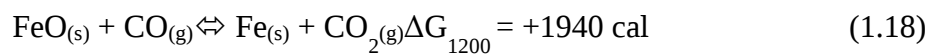
Figura 3.14 Sistema Fe - H- O (Vanegas, Pablo. 2010).

3.2.15.3 Reducción por mezcla de H₂/CO (Sistema Fe-C-H-O)

Para este sistema, se debe determinar la composición volumétrica de las cuatro especies en la fase gaseosa, CO₂, H₂, CO y H₂O.

Considerando la reducción de la wustita, se tiene un modelo de cálculo que a continuación se explica: como sabemos tenemos cuatro especies en equilibrio que son incógnitas, por lo tanto se necesitan 4 ecuaciones para determinar el valor de estas especies. Las dos primeras ecuaciones son las reacciones de reducción de la wustita por el CO y por el H₂, las cuales se muestran a continuación:

Para una temperatura de 1200°K



Para la reacción 1.18:

$$\log K_{18} = \frac{-1940}{4,575 \cdot 1200} = -0.3537$$

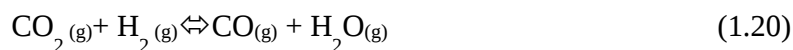
$$K_{18} = \frac{P_{\text{CO}_2}}{P_{\text{CO}}} = 0,44323$$

Para la reacción 1.19:

$$\log K_{19} = \frac{-1090}{4,575 \cdot 1200} = -0.19854$$

$$K_{19} = \frac{P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{H}_2}} = 0,63308$$

Como se debe cumplir el equilibrio entre los gases se tiene:



Cuya constante de equilibrio es:

$$K_{20} = \frac{PCO \cdot PH_2O}{PCO_2 \cdot PH_2}$$

Para la reacción 1.20:

$$K_{20} = \frac{PCO \cdot PH_2O}{PCO_2 \cdot PH_2} = \frac{0,63308}{0,44323} = 1,42833$$

La tercera ecuación es la siguiente: según el sistema en que se opera, para el caso de la reducción y solo reducción de los óxidos de hierro, la relación de moles de carbono a moles de hidrógeno en la fase gaseosa que entra se mantiene constante durante el proceso de reducción porque sólo se está removiendo oxígeno.

$$\frac{\text{molesdecarbono}}{\text{molesdehidrógeno}} = \frac{24/12}{1/2} = 4$$

$$\frac{(PCO + PCO_2)}{PH_2 + PH_2O} = 4$$

Nota: Este es un valor asumido para el cálculo

Y la cuarta ecuación es que la sumatoria de las presiones parciales de las especies gaseosas que intervienen debe ser igual a la presión total del sistema. Por lo tanto:

$$(PCO + PCO_2) + (PH_2 + PH_2O) = 1 \text{ atm}$$

Ahora se debe resolver el sistema de ecuaciones con las cuatro incógnitas. Nótese que el sistema resultante es no lineal, por lo tanto se explica a continuación como resolverlo. (Figura 3.15).

Considerando:

$$(P_{CO} + P_{CO_2}) = X$$

$$(P_{H_2} + P_{H_2O}) = Y$$

Por lo tanto:

$$X + Y = 1$$

$$\frac{X}{Y} = 4$$

Por lo tanto, resolviendo simultáneamente las dos últimas ecuaciones se tiene:

$$(P_{CO} + P_{CO_2}) = 0,8 \text{ atm}$$

$$(P_{H_2} + P_{H_2O}) = 0,2 \text{ atm}$$

Ya que:

$$K_{18} = \frac{P_{CO_2}}{P_{CO}} = 0,44323$$

y:

$$K_{19} = \frac{PH_2O}{PH_2} = 0,63308$$

Resolviendo cada especie conteniendo C e H por separados se tiene, por ejemplo:

$$(PCO + PCO_2) = 0,8 \text{ atm}$$

y

$$K_{18} = \frac{PCO_2}{PCO} = 0,44323$$

Luego,

$$(PH_2 + PH_2O) = 0,2 \text{ atm}$$

y

$$K_{19} = \frac{PH_2O}{PH_2} = 0,63308$$

Al final se tienen las siguientes presiones parciales de los gases:

$$PCO = 0,5543 \text{ atm}$$

$$PCO_2 = 0,2457 \text{ atm}$$

$$PH_2 = 0,1225 \text{ atm}$$

$$PH_2O = 0,0725 \text{ atm}$$

y las composiciones volumétricas son:

CO 55.43%

CO₂ 24.57%

H₂ 12.25%

H₂O 7.25%

100%

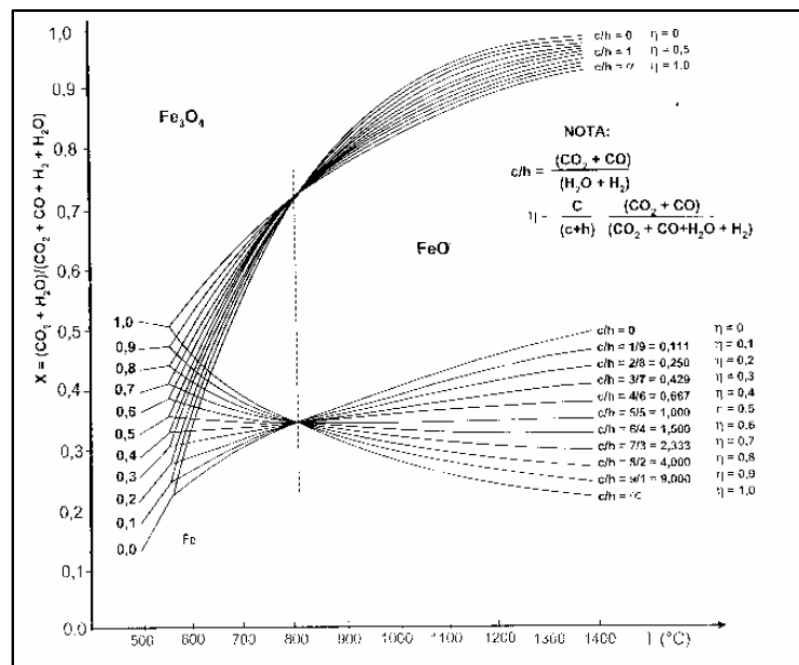


Figura 3.15 Diagrama Fe-H-O-C (Vanegas, Pablo. 2010).

En la Tabla 3.5 se muestran los datos termoquímicos de las reacciones de reducción del mineral de hierro con H_2 y CO , las reacciones de formación de carbono y las reacciones de reformación del gas natural:

Tabla 3.5 Datos termoquímicos de las reacciones de reducción del mineral

Reacción	ΔH (KJ/mol)	ΔS (J/mol)
$6 Fe_2O_3 + 2 H_2 \longrightarrow 4 Fe_3O_4 + 2 H_2O$	476	260
$2 Fe_3O_4 + 2 H_2 \longrightarrow 6 FeO + 2 H_2O$	614	232
$2 FeO + 2 H_2 \longrightarrow 2 Fe + 2 H_2O$	30	20
$6 Fe_2O_3 + 2 CO \longrightarrow 2 Fe_3O_4 + 2 CO_2$	-88	86
$2 Fe_3O_4 + 2 CO \longrightarrow 6 FeO + 2 CO_2$	50	58
$2 FeO + 2 CO \longrightarrow 2 Fe + 2 CO_2$	-38	-42
$2 CO_2 \longrightarrow 2 CO + O_2$	564	74
$2 CO \longrightarrow C + CO_2$	-170	-174
$CH_4 \longrightarrow C + 2 H_2$	90	111
$2 CH_4 + 2 H_2O \longrightarrow CO + 3 H_2$	454	508
$CH_4 + CO_2 \longrightarrow 2 CO + 2 H_2$	260	285

3.2.16 Fluidización

3.2.16.1 Reactor de lecho fluidizado

Para el proceso FINMET este es el tipo reactor que se utiliza para la reducción de mineral de hierro. En la figura 3.16 se muestra un reactor de lecho fluidizado, que ilustra la operación de los reactores de reducción del proceso FINMET.

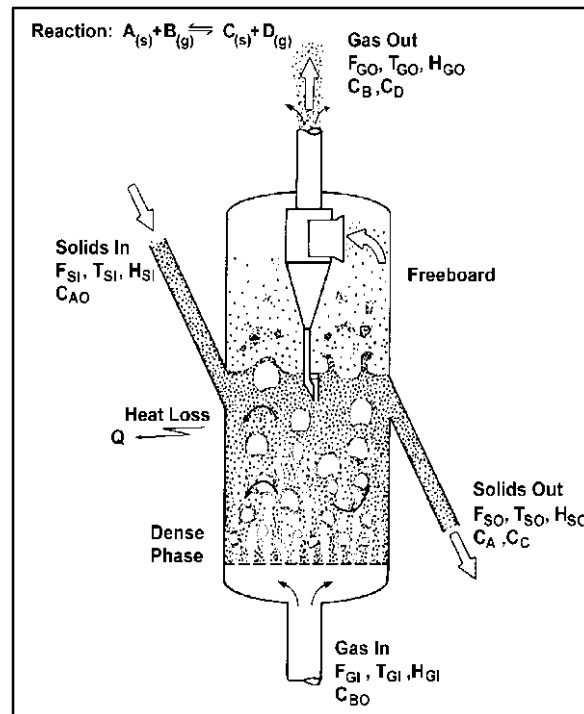


Figura 3.16 Reactor de lecho fluidizado (Vanegas, Pablo. 2010).

El gas reactante entra por el fondo del reactor y los sólidos son alimentados a través de un bajante lateral así como el producto sale del reactor a través de otro bajante, las partículas sólidas son bien mezcladas con el gas en la fase densa del lecho fluido.

El sólido alimentado es rápidamente mezclado con el sólido presente en lecho. La composición promedio de los sólidos en el lecho es la misma que tiene los sólidos a la salida del lecho luego de la reacción química al tiempo de residencia fijado.

El gas que entra al reactor pasa a través de una rejilla distribuidora, la cual permite una buena distribución del gas en el lecho, manteniendo el lecho en movimiento (Fluidizado), el gas que abandona el lecho carga partículas de sólidos de

la fase densa por el efecto emulsión así como también por el efecto de la fase burbuja. Las partículas finas arrastradas son parcialmente separadas del gas por un ciclón, retornando los finos al lecho y el gas parcialmente limpio sale del reactor.

Parte del reactante B es consumido en el proceso y una mezcla de B que no reacciona y D salen del reactor.

Debido a que la mezcla de sólidos en el reactor es isotérmica, la energía para calentar los sólidos alimentados a la temperatura de reacción es suministrada por la entalpía del gas entrando al reactor.

3.2.16.2 Proceso de transferencia en el reactor de lecho fluidizado

Adicionalmente a la transferencia de masa en la partícula simple se tienen otros procesos de transferencia para ser considerados.

El gas entra en el lecho pasando a través de él en cualquiera de las siguientes formas:

- Fase Burbuja
- Fase Emulsionada

Es importante la fracción de gas que pasa en la fase burbuja, aunque existe un intercambio de gas entre la fase burbuja y la fase emulsionada.

El contacto entre el gas y los sólidos dentro de la burbuja es muy pobre, especialmente cuando estas son demasiado grandes, por consiguiente el tamaño de la burbuja y la cantidad de gas en esta fase puede influenciar fuertemente la característica de la transferencia de calor y masa en el lecho.

Las partículas que pasan al tope del lecho están en contacto con el gas el cual tiene una alta concentración del producto D, La composición del gas que sale del reactor efectivamente limita la magnitud de la reacción del sólido debido a las consideraciones del equilibrio.

3.2.16.3 Distribución del tiempo de residencia en el reactor de lecho fluidizado

La distribución del tiempo de residencia de las partículas sólidas, debe ser considerada. El promedio del tiempo de residencia puede ser fácilmente calculado al dividir el volumen del lecho por el flujo de sólidos alimentado al reactor.

En la práctica los sólidos que entran al lecho permanecerán por un tiempo determinado t , para que ocurran las reacciones esperadas, en los reactores de lecho fluidizado, se presenta una diferente gama de valores de conversión de los reactantes.

3.2.16.4 Transferencia de calor en el reactor lecho fluidizado

El balance de calor en el lecho puede ser escrito de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}\text{Calor entra} &= F_{GI}H_{GI} + F_{SI}H_{SI} \\ \text{Calor sale} &= F_{GO}H_{GO} + F_{SO}H_{SO} + Q + \Delta H_{RXN}\end{aligned}$$

Manteniendo el siguiente balance tenemos:

$$\text{Heat entra} = \text{Heat salida}$$

La energía para calentar los sólidos alimentados al lecho del reactor a la temperatura del lecho, es suministrada por el gas para que ocurra la reacción (Reacciones endotérmicas) y reemplace las pérdidas de calor Q debido a la reacción química, la cual viene en la entalpía del gas entrando.

Esto requiere una buena transferencia de calor entre el gas y las partículas sólidas, si la transferencia de calor no es la adecuada el lecho no alcanzara la temperatura deseada y el gas saldrán caliente del reactor, por no alcanzar la temperatura de reacción química.

Si ocurren caminos preferenciales a través del lecho o el efecto del jet es significativo, y por ello se presentan limitaciones en el proceso.

En el caso de una buena transferencia de calor la temperatura de los sólidos a la salida será igual a la temperatura de los gases saliendo del reactor, este valor de temperatura dependerá de los flujos relativos de gas y sólidos. En el proceso Finmet esta relación es llamada relación específica de gas.

3.2.16.5 Proceso multietapas de rectores de lechos fluidizados

Para muchos procesos especialmente donde se requiere un alto grado de conversión, es ventajoso para el mejor contacto de los reactantes utilizar más de un

reactor. Por ejemplo en el caso de Fior/Finmet se usan tres y cuatro reactores reductores.

Reactores de múltiple etapas son usados para mejorar lo siguiente:

- Las limitaciones del equilibrio.
- Las limitaciones de temperatura.
- La pobre distribución del tiempo de residencia

Para lechos fluidizados, las múltiples etapas permiten un mejor contacto gas – sólido y las corrientes gaseosas pueden ser configuradas en la forma de contracorriente, el contacto es más eficiente cuando se maximiza la fuerza de impulso del gas entre el gas y el sólido, en esta forma el sólido fresco estará en contacto con el gas reactante debilitado por la reacción anterior, y luego es convertido totalmente por el gas enriquecido.

La naturaleza del buen mezclado del lecho fluidizado también reduce la poca distribución del tiempo de residencia de las partículas.

Se puede mostrar que la distribución del tiempo de residencia de los sólidos para una proceso de multietapas tiende acercarse al tipo de reactor tapón, como el número de fases se aumentan , esto significa que para sistema multietapas la mayor parte de los sólidos son expuestos al gas aproximadamente en el mismo tiempo, por consiguiente, la distribución de conversiones es menor proporcionando producto más

uniforme, esto es sumamente importante si se debe alcanzar un valor fijo de conversión , por ejemplo 93 % de metalización.

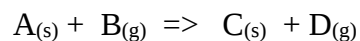
3.2.17 Reacciones heterogéneas: gas – sólido

Típicamente las reacciones heterogéneas gas sólido ocurren en la superficie o dentro de la partícula, en el caso de Finmet la reacción se produce dentro de la partícula.

Es importante considerar la estructura de una partícula, debido a que las partículas varían en diámetro y forma a medida que son procesadas en los reactores de reducción.

La partícula puede ser sólida o en el caso de los finos de mineral de hierro esta es porosa, La naturaleza de la porosidad de la partícula (tamaño del poro, volumen del poro) puede variar también.

Consideremos una partícula sola del reactante A, como se muestra en la reacción siguiente:



La partícula es aproximadamente esférica y contiene una red de poros y conductos o grietas a través del cual el gas entra para reaccionar internamente.

La partícula es expuesta a una alta concentración del reactante B, C_{bo} pasando flujo alrededor de la partícula quedando la partícula envuelta en gas.

Pasos para que la reacción ocurra:

- El gas reactante debe ser transportado hacia la partícula.
- El gas debe difundir a través la capa gaseosa que cubre la superficie de la partícula. (Difusión de la película gaseosa).
- El gas difunde dentro de la partícula a través de los poros o grietas donde se llevara a cabo la reacción química, (poro o difusión antipartícula).
- El gas reaccionara con el sólido A para producir C y D.
- El gas producido debe difundir desde fuera de la partícula hacia la superficie.
- El gas producido debe difundir a través de la película gaseosa que envuelve la partícula superficialmente, para ser transportado fuera del reactor por el gas que no reacciona.

Estas etapas ocurren en secuencia, si una etapa es más lenta que otra esta será la etapa que controlara en forma global la reacción química.

Además de esto, el calor de reacción debe ser suministrado o removido del sitio donde ocurre la reacción química dependiendo si la reacción es endotérmica o exotérmica, si el calor transferido es insuficiente este será el que controlara la cantidad de reacción.

3.2.18 Briquetas

Aglomerado de hierro con alta densidad que se produce por la compactación a altas presiones de finos de mineral de hierro reducido. También se utiliza el mineral grueso proveniente del mineral de hierro y pellas para fabricar briquetas. Las briquetas pueden ser usadas en:

- Hornos Básicos de Oxígeno (HBO)
- Hornos Eléctricos de Arco (HEA). Con alimentación continua o por lotes.
- Alto Horno (AH).
- Fundiciones (Cubilote, etc.)

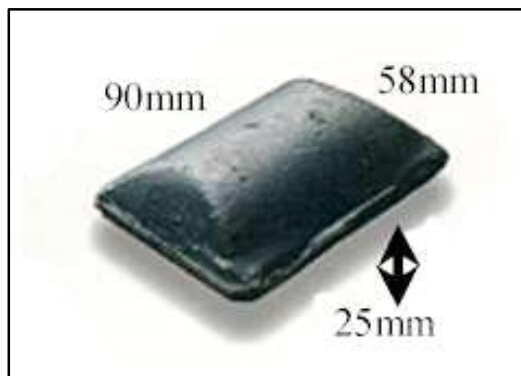


Figura 3.17 Briqueta HBC de Orinoco Iron S.C.S

Tabla 3.6 Características de la Briqueta de Orinoco Iron S.C.S

% FeT	92,50 – 93,50
% Fe°	84,00 – 85,00
% MeT	> 91,00
% C	> 0,80
% S	< 0,027
% MgO	0,20 – 0,25
% SiO ₂	< 1,50
% P	0,070 – 0,090
Dens. (g/cm ³)	> 5,00

3.2.19 Variables de proceso que afectan la calidad de la briqueta

- Pasivación adecuada, un enfriamiento brusco podría ocasionar grietas en las briquetas y un exceso de agua en los cooling Conveyor produce un incremento de volumen interno y generación de Hidrogeno que producen grietas.

- Bajo contenido de Fe° y alto % de Carbono, disminuyen la plasticidad de las partículas o mineral a compactar al igual que las temperaturas bajas.

- Partículas extrañas en exceso ejemplo: refractaria, virutas grandes y exceso de Óxidos que producen discontinuidades en el mineral compactado.

3.2.20 Definición de términos básicos

3.2.20.1 Briquetas

Es un material pre-reducido, generalmente en forma de almohadilla, proveniente de un proceso de reducción directa, producido por la compactación, a alta o baja temperatura, mediante la aplicación de presiones con y sin adición de materiales aglomerantes.

3.2.20.2 Fino

Es el mineral de hierro que posee un tenor entre 64-66 % y una granulometría de $<3/8''$.

3.2.20.3 Finos Marrones

Los finos marrones tienen una alta reducibilidad, atribuible al alto contenido de goethita y bajo contenido de Hematitas Monocristalinas.

3.2.20.4 Finos Negros

Los finos negros tienen baja reducibilidad, atribuible a la ausencia de goethita y al alto contenido de Hematitas Monocristalinas.

3.2.20.5 Fluidización

Es la operación en la cual las partículas en estado sólido adquieren un comportamiento similar al estado líquido a través de su suspensión con un gas ó líquido. Es un proceso en el cual se utiliza una corriente ascendente de fluido (líquido, gas o ambos) para suspender partículas sólidas.

3.2.20.6 Ganga

Comprende a los minerales que acompañan a la mena, pero que no presentan interés minero en el momento de la explotación. Conviene resaltar que minerales considerados como ganga en determinados momentos se han transformado en menas al conocerse alguna aplicación nueva para los mismos.

3.2.20.7 Gas Reductor

Mezcla de gases principalmente Hidrogeno H_2 , CO , CH_4 , CO_2 y H_2O que actúa como agente reductor (remoción del oxígeno del mineral de hierro) en el proceso de reducción directa. Es la combinación del gas reformado rico en hidrogeno y gas de reciclaje (gas pobre).

3.2.20.8 Granular

Es un material conglomerado discreto de sólidos.

3.2.20.9 Grueso

Es el mineral de hierro que posee un tenor 64-65% y una granulometría entre 3/8" y 1 3/4".

3.2.20.10 Hierro

Es un elemento químico de número atómico 26 situado en el grupo 8, periodo 4 de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es Fe (del latín ferrum) y tiene una masa atómica de 55,6 u. Este metal de transición es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre, representando un 5%.

3.2.20.11 Hierro de Reducción Directa

Es el producto de la reducción del mineral del hierro (con aproximadamente 65% FeT), en sus formas de grueso, pellas o finos, mediante un gas reductor rico en hidrógeno y monóxido de carbono.

3.2.210.12 Lecho fluidizado

Suspensión densa de partículas de sólidos en un flujo a contracorriente de gas. La fuerza friccionar entre el gas y la partícula, contrabalancea el peso de la partícula.

3.2.20.13 Mena

Asociación mineral que contiene sustancias útiles en una proporción y cantidad suficiente para ser objeto de explotación. Termino que excluye los materiales de construcción y combustibles, que suele extenderse a asociaciones minerales sin potencial económico o de potencial desconocido.

3.2.20.14 Microscopio de luz reflejada

Microscopio con un sistema de iluminación que incide perpendicularmente sobre la superficie de la muestra y se refleja en sentido opuesto hacia el ocular. Es apropiado para la observación de minerales opacos.

3.2.20.15 Microscopio óptico

Es un instrumento que permite obtener una imagen aumentada de objetos o detalles muy pequeños.

3.2.20.16 Mineral de hierro

El hierro se encuentra normalmente en la naturaleza sólo como mineral, en combinación química con otros elementos. Los minerales de hierro se componen, sobre todo, de combinaciones de hierro y oxígeno (óxidos) que se hallan mezclados con impurezas.

3.2.20.17 Monocristalino

Masa cristalina de un mineral, originada toda ella a partir de un solo germen. La existencia de monocristales se reconoce con el microscopio de polarización, al presentar la muestra posiciones sucesivas de claridad o de extinción extendidas por toda la preparación.

3.2.20.18 Opaco

Mineral que absorbe total o casi totalmente la luz que atraviesa. Esta característica se ha de referir a un monocristal y al mineral reducido a láminas delgadas ya que muchos minerales no opacos pierden su transparencia al ser observados en grandes trozos.

3.2.20.19 Pellas

Se refiere a pequeñas esferas de mineral de hierro aglomerado o comprimido. Este posee un tenor de 67% y una granulometría de $\frac{1}{4}$ ”x $\frac{5}{4}$ ”.

3.2.20.20 Luz Polarizada

Es la luz producida por ondas transversales que vibran en un solo plano. Este tipo de ondas también se llaman luz plana.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE TRABAJO

En el presente capítulo se explica, el nivel y diseño de la investigación, así como la metodología o procedimiento a seguir por el investigador, para dar solución y respuestas a cada uno de los objetivos planteados en la investigación.

4.1 Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptiva porque se obtendrán las características ópticas y microestructurales de la materia prima de Orinoco Iron, a través del uso del microscopio óptico polarizante de luz reflejada, para luego realizar una descripción detallada de cada mineral.

4.2 Diseño de la investigación

La primera fase de la investigación es netamente documental, que consiste en indagar y revisar fuentes bibliográficas escritas, referidas al tema en estudio.

La investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales, electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos. (Arias, Fidias. 2006).

En la segunda fase el diseño de la investigación es de campo, que consta de determinaciones de características ópticas y descripción de microestructuras tal y como se encuentran en la realidad, es decir, no se modificó la información recolectada.

La investigación de campo, es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes. De allí su carácter de investigación no experimental. (Arias, Fidiás. 2006).

4.3 Flujograma

A continuación se muestra el flujograma en el cual se basó el investigador para la realización del Trabajo de Grado, a lo largo del proceso de investigación. Figura 4.1

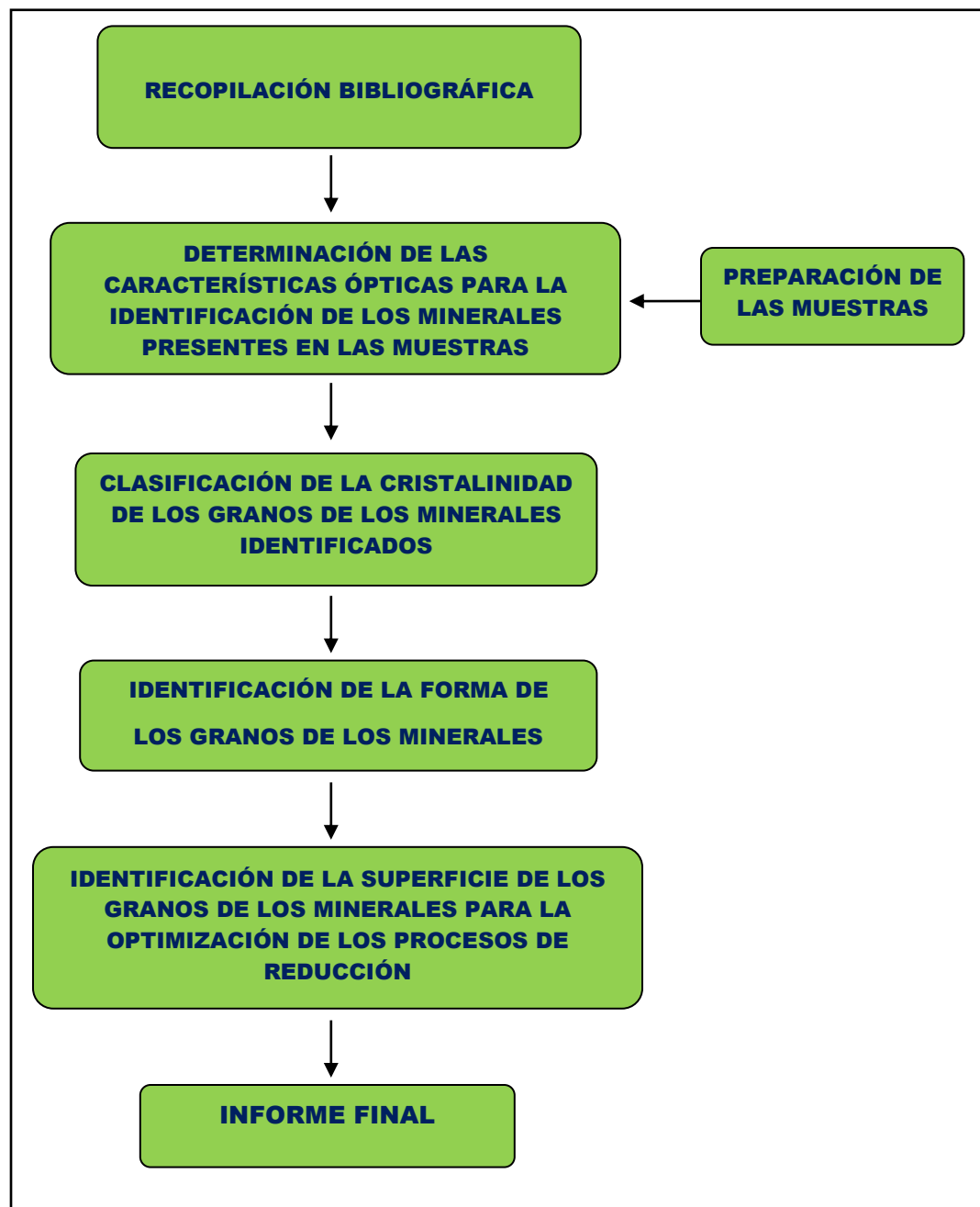


Figura 4.1 Flujograma de la Metodología de la Investigación

A continuación se explica el flujograma de la metodología de trabajo:

4.3.1 Recopilación bibliográfica

Consistió en la recopilación documental de toda la información existente y disponible de los estudios previos que guardan relación con la presente investigación, especialmente con la preparación de las muestras y características mineralógicas, entre otros, como fueron textos, informes y trabajos anteriores, que sirvieron de apoyo a lo largo del proceso de investigación. También fue necesario investigar la bibliografía relacionada con minerales de hierro, microscopia y antecedentes de la investigación, indispensables para guiar el esquema de trabajo de la investigación, de manera ordenada y lógica.

4.3.2 Preparación de las muestras

El montaje de las muestras en baquelitas se realiza mediante embutido en frío en el laboratorio mineralógico de la Gerencia de Calidad de la planta Orinoco Iron.

Para el montaje de las muestras en baquelitas, se requiere una preparación previa de dichas muestras, la cual va a depender exclusivamente de la clase de microscopio que se maneja. En este caso se emplea el microscopio petrográfico de luz reflejada que permite describir las superficies pulidas de minerales metálicos.

De manera que para el montaje de muestras de mineral de hierro en baquelitas, se deberá realizar los siguientes pasos:

1. De los 500 gr de muestras cuarteadas y secadas tamizarlas usando tamices con aberturas de (60, 100, 200, 325 y -325) mesh. Las muestras retenidas en el tamiz

de 60 mesh se somete a procesos de pulverización que permita obtener una granulometría por debajo de 100 mesh.

2. Luego se realiza una separación granulométrica en 4 fracciones: 100, 200, 325 y -325 mesh. Figura 4.2.



Figura 4.2 Tamices.

3. Medir el volumen aparente a cada fracción, utilizando un cilindro graduado.

4. Guardar las muestras por fracción en bolsas plásticas.

5. Embutir las muestras en los moldes circulares, mezclando en un recipiente dos partes de volumen de Sampl-Kwick Powder con una parte de Sampl-Kwick Liquid. Para el análisis por microscopía óptica también se pulverizó el mineral para lograr una óptima mezcla con la resina, ya que se utilizó el embutido en frío, esta fase se realizó en el laboratorio mineralógico de la Gerencia de Calidad de la planta Orinoco Iron S.C.S. Figura 4.3.



Figura 4.3 Resinas y moldes utilizados.

6. Mezclar la resina (baquelita) con la muestra en el molde hasta homogenizar, tomando en cuenta que es una mezcla de rápido endurecimiento, y colocarle su identificación.

7. Dejar secar por aproximadamente 10 min, y extraer del molde.

8. Luego realizar un desbaste primario a la baquelita con la maquina METASERV 2000 desbaste/pulido utilizando una lija circular adhesiva de 120 Grit con abundante agua. Figura 4.4.



Figura 4.4 Máquina METASERV 2000 desbaste/pulido.

9. Realizar un desbaste secundario a la baquelita con la maquina HANDIMET 2 ROLLGRINDER pasándola por las lijas de 240, 320, 400 y 600 Grit; respectivamente con abundante agua. Figura 4.5.



Figura 4.5 Máquina HANDIMET 2 ROLL GRINDER.

10. Realizar el pulido de la muestra utilizando la maquina METASERV 2000 desbaste/pulido, utilizando un paño pulido y alúmina de 0,05 micrón. Figura 4.6.



Figura 4.6 Máquina METASERV 2000 desbaste/pulido, con el paño pulidor y alúmina de 0,05 micrón.

11. Se revisa en el microscopio para determinar si está totalmente pulida, hasta obtener el grado de nitidez deseado. Una vez lista la muestra se lava bien para eliminarle la alúmina adherida, y se envuelve en papel suave. Figura 4.7.



Figura 4.7 Baquelita una vez terminada de pulir.

4.3.3 Determinación de las características ópticas para la identificación de los minerales presentes en las muestras.

Para el análisis microscópico de las muestras se utilizó un microscopio óptico de luz reflejada marca Leica modelo DM 2500 P provisto de cámara digital conectada a una computadora. Figura 4.8.

Una vez preparadas las muestras se procede a identificar los caracteres ópticos descriptivos de los minerales usando un microscopio polarizante de luz reflejada que además de los elementos normales de los microscopios comunes posee un polarizador y un analizador, que permiten aplicar la técnica de nicols cruzados, ofreciendo mayor precisión al momento de identificar y clasificar las especies mineralógicas por las propiedades ópticas de cada uno de ellos. Igualmente se procedió a realizar microfotografías de los especímenes de mayor interés utilizando una lente objetivo con aumento de 40 / 0,65 μ m.

Las características ópticas determinadas fueron: reflectividad, color y reflexiones internas, anisotropía, color de polarización, las cuales se obtuvieron analizando microscópicamente las muestras seleccionadas por la empresa Orinoco Iron S.C.S para el presente trabajo.



Figura 4.8 Microscopio petrografico de luz reflejada Leica DM 2500 P.

4.3.4 Clasificación de la cristalinidad de los granos de los minerales identificados.

Una vez identificados los minerales presentes en las muestras, se procede a la observación de los granos de dichos minerales con el fin de clasificarlos según su grado de cristalinidad. Esto consiste en determinar si el grano observado está conformado por un solo cristal del mineral (monocristalino) o si está constituido por la unión de varios cristales (policristalino). Según el tamaño de los cristales, se pueden clasificar en dos tipos: microcristalinos y criptocristalinos. Figura 4.9.

Los microcristalinos son aquellos granos cuyos cristales son tan finos, que su naturaleza cristalina solamente puede determinarse con la ayuda del microscopio óptico petrográfico.

Los criptocristalinos son aquellos cuyos agregados cristalinos están tan finamente divididos que los componentes no pueden determinarse con el microscopio óptico, pero dan un patrón de difracción de rayos X o incluso hay que recurrir a la microscopía electrónica.



Figura 4.9 Identificación de las características de las muestras.

4.3.5 Identificación de la forma de los granos de los minerales

Para cada mineral se procede a identificar las diferentes formas en que se presentan dentro de las muestras analizadas. Las diferentes formas que se pueden observar son las siguientes:

- Euhedral o idiomórfico: grano con sus caras cristalinas bien desarrolladas.
- Anhedral o xenomórfico: grano de forma irregular sin caras cristalinas desarrolladas.

- Subhedral: grano con algunas de sus caras cristalinas desarrolladas.
- Tabular: grano de forma alargada por clivaje o caras cristalinas.

4.3.6 Identificación de la superficie de los granos de los minerales.

Como se ha explicado anteriormente, los minerales se preparan en secciones especialmente pulidas para ser observadas en el microscopio de luz reflejada. Cada mineral responde de manera diferente al pulido según sea la naturaleza interna de cada grano, dando como resultado diferentes tipos de superficies a identificar: lisa, rugosa y porosa.

4.3.7 Análisis e interpretación de resultados

Los resultados de todas las pruebas de laboratorio se analizan e interpretan para generar la información necesaria para cumplir con los objetivos de la investigación.

4.3.8 Conclusiones y Recomendaciones

En esta fase se desarrollaron las conclusiones de acuerdo a los objetivos planteados y recomendaciones acerca de los resultados obtenidos.

4.4 Población y muestra

La población está conformada por la materia prima que recibe la empresa Orinoco Iron S.C.S. utilizada en los Procesos de Reducción Directa Finmet®. Dicha materia prima está constituida por finos negros y marrones mezclados, los cuales

conforman pilas de material proveniente de diferentes yacimientos como por ejemplo: Los Barrancos, Las Pailas, Altamira, Cerro Bolívar y San Isidro

Las muestras de mineral de hierro a utilizar en esta investigación fueron cinco (5) especímenes suministradas por la empresa.

4.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.5.1 Recopilación Documental

El investigador se apoyará en la revisión y consulta de material bibliográfico, documentos existentes de la empresa y otros antecedentes de investigación para aclarar dudas sobre las variables en estudio y afianzar el conocimiento para el desarrollo de la investigación.

4.5.2 Fase de Laboratorio

Las muestras seleccionadas, serán sometidas a pruebas de laboratorio con el microscopio óptico polarizante de luz transmitida, con la finalidad de obtener información para su caracterización mineralógica.

4.5.3 Asesoría Académica

Será de ayuda contar con el asesoramiento del tutor académico y del tutor industrial para cumplir a cabalidad los objetivos de la investigación cumpliendo con los requerimientos de la Empresa y de la Universidad.

Las diferentes herramientas a utilizar son: microscopio óptico polarizante de luz transmitida, cámara digital, computadora, impresora, libreta para apuntes, lápices, bolígrafos, entre otros.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

El análisis de las muestras está orientado a la caracterización microestructural de la materia prima utilizada en los Procesos de Reducción Directa Finmet® de Orinoco Iron S.C.S.

La selección de las mezclas de minerales finos de hierros no se realiza de acuerdo a sus característica mineralógicas, sino por el contrario son consideradas solo sus características fisicoquímicas, lo que ha venido ocasionando inestabilidad operativa y alta variabilidad en los niveles de metálico de las briquetas producidas, a lo que se suma baja productividad y reclamos de los clientes. En los procesos de reducción directa de mineral de hierro, el conocer y evaluar las características mineralógicas y microestructurales del mineral ayuda a optimizar su uso y aprovechamiento. Por otro lado, la mineralogía puede ser relacionada con variables como la reducibilidad que están ligadas al grado de metalización del producto y a la estabilidad operativa del proceso.

Es decir, que la caracterización del mineral de hierro permite entender la naturaleza del mismo y además relacionar su estructura con su composición y comportamiento industrial.

En tal sentido, ciertos estudios han permitido demostrar que el comportamiento del mineral de hierro en los procesos de palatización y reducción, es fuertemente dependiente de ciertos atributos estructurales, tales como: tipo de constituyentes mineralógicos, morfología, tamaño de cristales y poros, grado de anisotropía, textura, y características de los contornos de los cristales.

5.1 Determinación de las características ópticas para la identificación de los minerales.

En las muestras analizadas se identificaron cuatro minerales de hierro: Magnetita, Hematita, Martita y Goethita. Las características ópticas que se determinaron mediante el estudio de las secciones pulidas fueron las siguientes: color del mineral, reflectividad, anisotropía e isotropía, color de polarización y reflexión interna. A continuación se indican las características ópticas que permitieron la identificación de dichos minerales. (Tabla 5.1).

Tabla 5.1 Características ópticas de los minerales presentes en las muestras.

NOMBRE DEL MINERAL	REFLECTIVIDAD	COLOR (NICOLES PARALELOS)	ANISOTROPÍA O ISOTROPÍA	COLOR (NICOLES CRUZADOS)	REFLEXIÓN INTERNA
Hematita	Alta	Blanco	Anisotropía	Gris oscuro	No
Magnetita	Alta	Gris claro	Isotropía	Gris oscuro a negro	No
Martita	Alta	Blanco	Anisotropía	Gris con forma de rejilla	No
Goethita	Media	Gris claro	Anisotropía	De rojo a naranja	Si

5.2 Clasificación de la cristalinidad de los granos

También se analizaron las muestras para clasificar los minerales según su grado de cristalinidad (cantidad de cristales en cada grano), encontrando tres tipos diferentes designados con los siguientes nombres. Monocristalinos, aquellos granos formados por un solo cristal de mineral, Policristalinos (o fragmentos de roca) los granos conformados por varios cristales, y Microcristalinos, son los granos formados por muchos cristales pero tan pequeños que su naturaleza es identificable solamente con la ayuda del aumento del microscopio petrográfico. (Tabla 5.2).

Tabla 5.2 Cristalinidad de los minerales identificados

Grado de Cristalinidad	Monocristalina	Policristalina	Microcristalina	Microcristalina en Bandas
Minerales	Hematita Magnetita	Hematita	Goethita y Martita	Goethita

5.3 Identificación de la forma de los granos

Igualmente se procedió a identificar las diferentes formas en que se presenta cada uno de los minerales encontrados en las muestras. Tomando en cuenta que todos estos minerales son fragmentos y que constituyen una materia granular, se identificaron tres formas: granular anhedral (irregular, con caras cristalinas no desarrolladas), granular euhedrica (con caras cristalinas desarrolladas) y tabular (forma alargada por clivaje o caras cristalinas). (Tabla 5.3).

Tabla 5.3 Forma de los granos de los minerales

Forma de los Granos	Granular Anhedral	Granular Euhedral	Tabular
Minerales	Hematita Magnetita Martita Goethita	Magnetita	Hematita

5.4 Identificación del tipo de superficie de los granos

Los minerales que conforman la materia prima responden de manera diferente al pulido de sus superficies cuando se preparan en secciones pulidas para ser observadas al microscopio petrográfico de luz reflejada. Se pudieron observar superficies lisas, rugosas y porosas. (Tabla 5.4).

Tabla 5.4 Tipos de superficies de los granos de los minerales

Superficie de los Granos	Lisa	Rugosa	Porosa
Minerales	Hematita Magnetita Martita	Goetita Hematita	Martita

5.5 Integración de los análisis mineralógicos, de forma, cristalinidad, tipo de superficie y microfotografías con nícoles cruzados (NC) y nícoles paralelos (NP).

5.5.1 Hematita granular monocristalina (HGM)

Cristales granulares de superficie lisa, de color blanco y alta reflectividad. Con nicoles cruzados presenta color de polarización gris oscuro. (Figura 5.1 y 5.2).

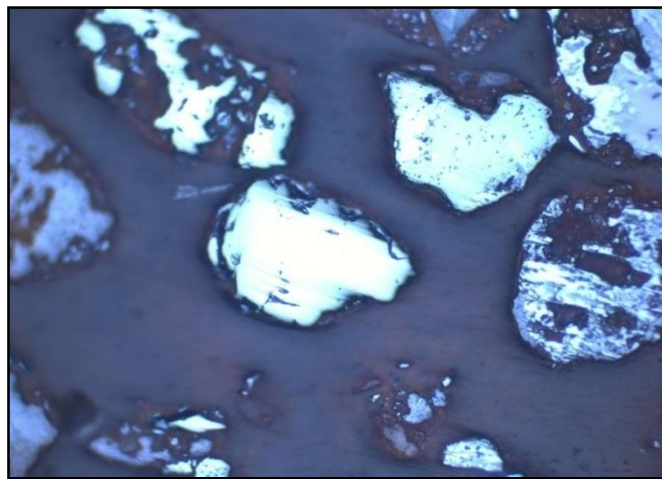


Figura 5.1 Hematita granular monocristalina con NP

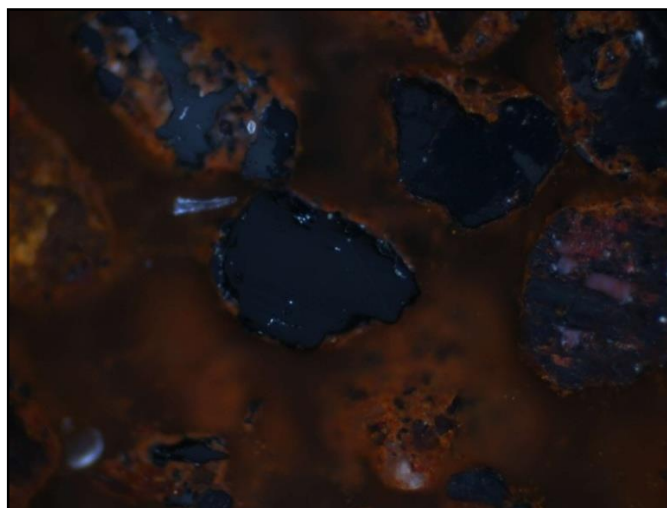


Figura 5.2 Hematita granular monocristalina con NC

5.5.2 Hematita tabular monocristalina (HTM)

Granos compactos e individuales, de forma alargada y euhedrica, de color blanco y alta reflectividad, no se observan fisuras ni poros. Con nicoles cruzados presenta color de polarización gris oscuro. (Figura 5.3 y 5.4).

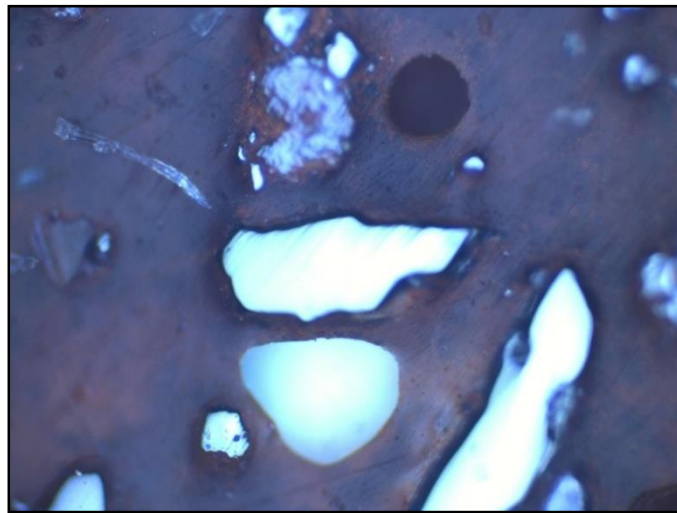


Figura 5.3 Hematita tabular monocristalina NP

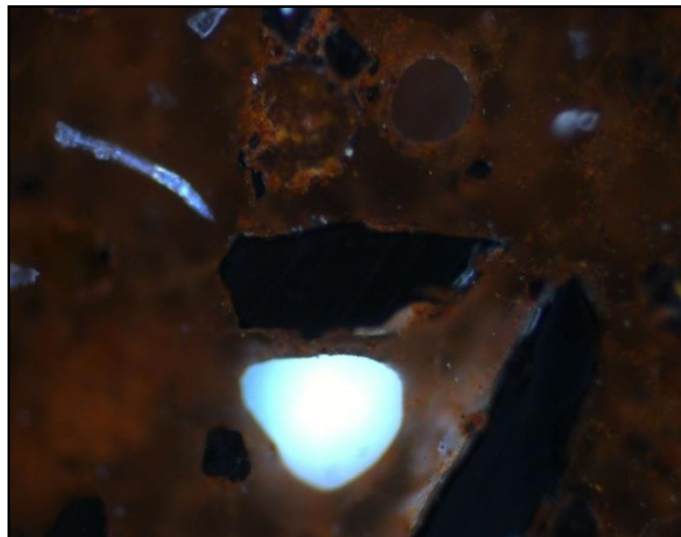


Figura 5.4 Hematita tabular monocristalina NC

5.5.3 Hematita Granular Rugosa (HGR)

Granos y cristales compactos de superficie rugosa e irregular, de color blanco y alta reflectividad. Con nicols cruzados presenta varias tonalidades de grises producidos por diferentes cristales que conforman el grano. (Figura 5.5 y 5.6).

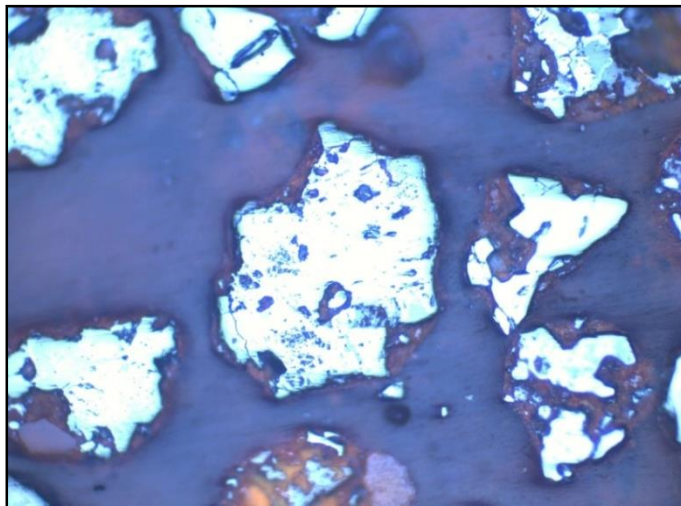


Figura 5.5 Hematita granular rugosa NP



Figura 5.6 Hematita granular rugosa NC

5.5.4 Hematita granular policristalina (HGP)

Granos y cristales compactos de superficie lisa, de color blanco y alta reflectividad, con algunas fisuras. Con nicols cruzados presenta varias tonalidades de grises por los diferentes cristales que conforman a los granos. (Figura 5.7 y 5.8).

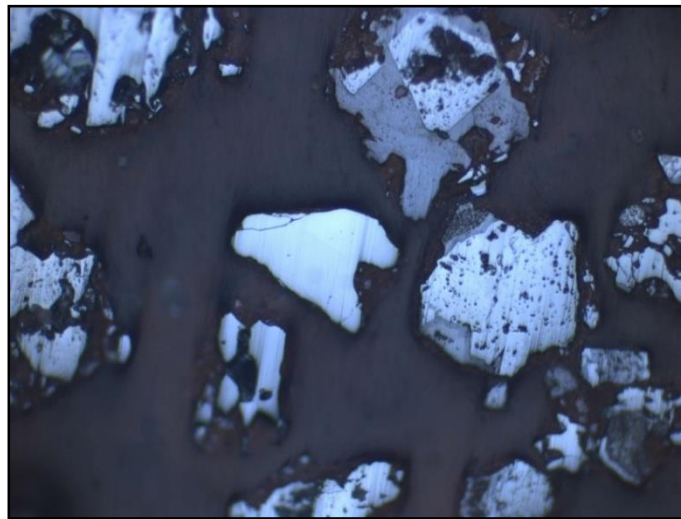


Figura 5.7 Hematita granular policristalina NP

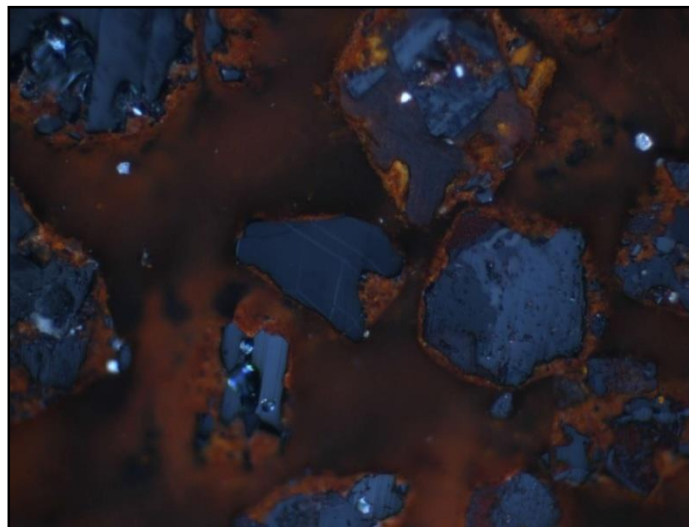


Figura 5.8 Hematita granular policristalina NC

5.5.5 Hematita tabular policristalina (HTP)

Cristales compactos de forma euhedrica alargada, superficie lisa, de color blanco y algunas fisuras. Con nicoles cruzados se observan varias tonalidades de grises que indican la separación de los cristales que constituyen el grano. (Figura 5.9 y 5.10).

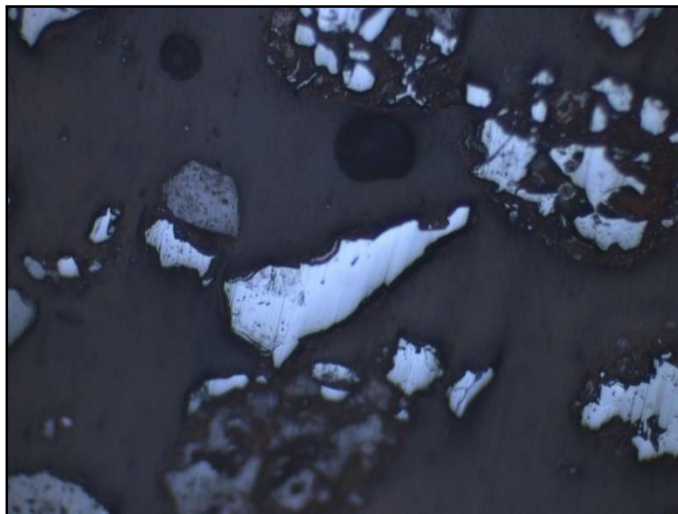


Figura 5.9 Hematita tabular policristalina NP

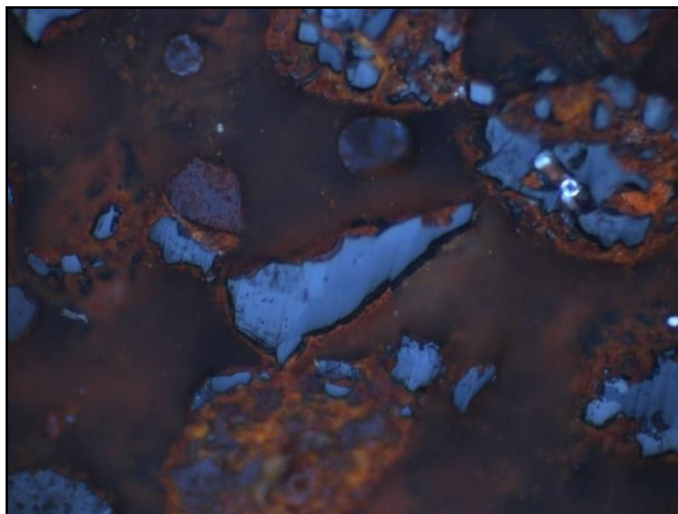


Figura 5.10 Hematita tabular policristalina NC

5.5.6 Magnetita

Cristales individuales compactos y euhedricos, de color gris claro y alta reflectividad. Con nicols cruzados muestra un color gris oscuro a negro. (Figura 5.11 y 5.12).

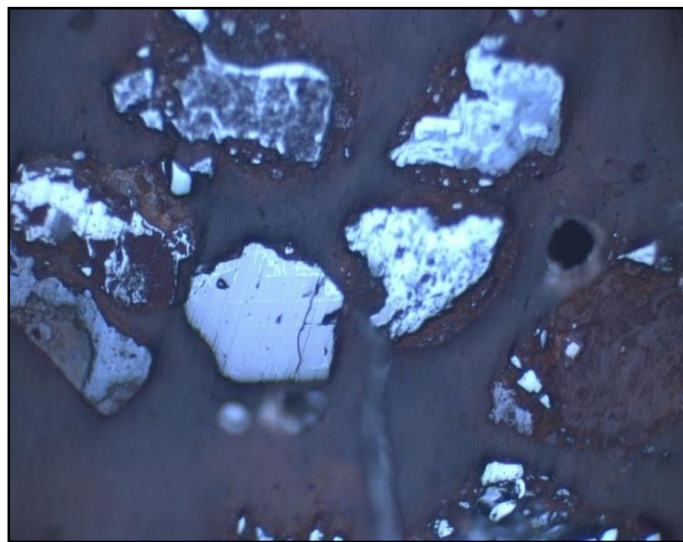


Figura 5.11 Magnetita NP

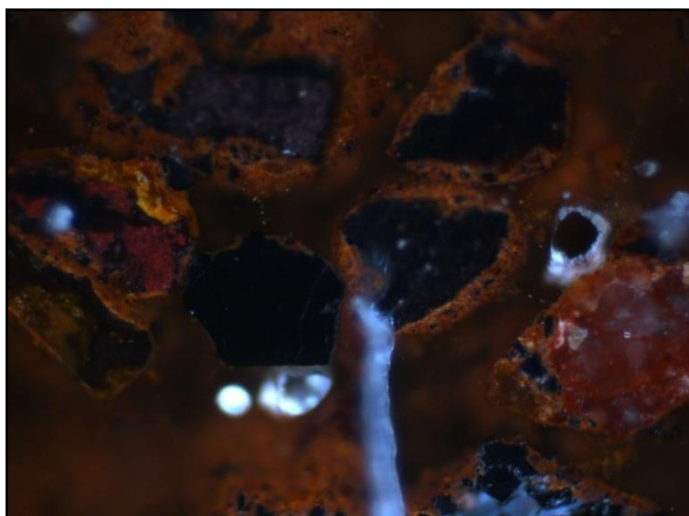


Figura 5.12 Magnetita NC

5.1.7 Martita

Granos euhédricos de Hematita oxidada, de color blanco, alta reflectividad y baja porosidad. Con nicoles cruzados se aprecian diferentes tonos de grises y una estructura cristalina con forma de rejilla. (Figura 5.13 y 5.14).

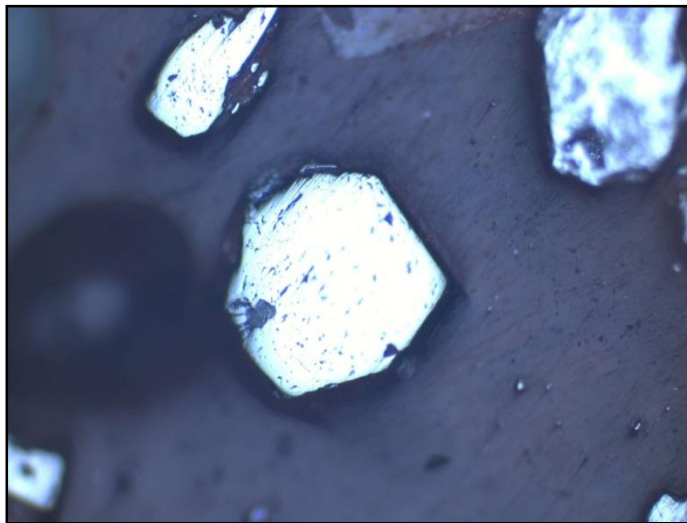


Figura 5.13 Martita NP

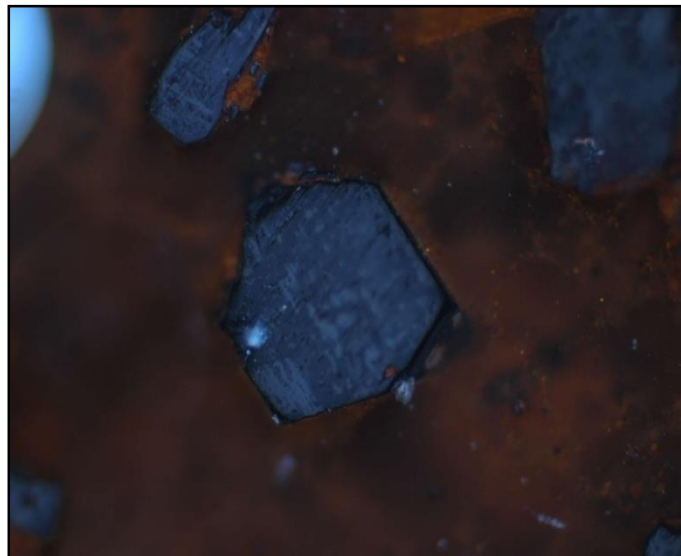


Figura 5.14 Martita NC

5.5.8 Martita porosa

Agregado microcristalino de Hematita oxidada con alta porosidad, forma irregular, de color gris y reflectividad media. Con nícoles cruzados presenta reflexiones internas rojizas. (Figura 5.15 y 5.16).

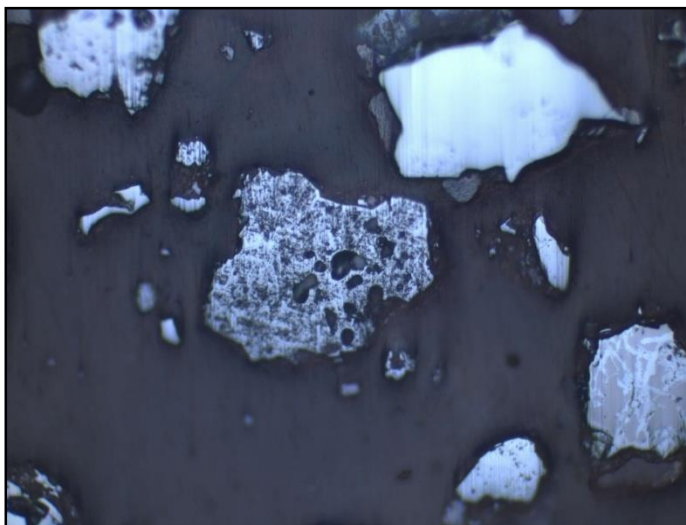


Figura 5.15 Martita porosa NP



Figura 5.16 Martita porosa NC

5.5.9 Goethita

Granos de óxidos de hierro hidratado en bandas paralelas, de color gris claro y reflectividad media. Con nicols cruzados presenta fuerte reflectividad interna rojiza. (Figura 5.17 y 5.18).

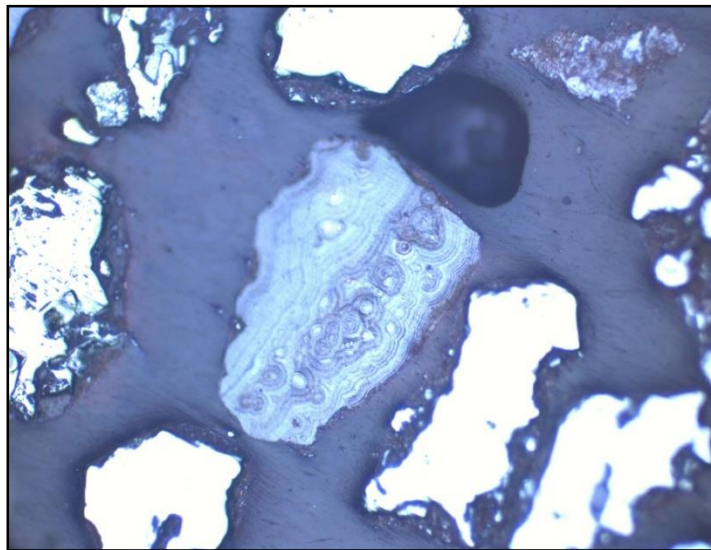


Figura 5.17 Goethita NP

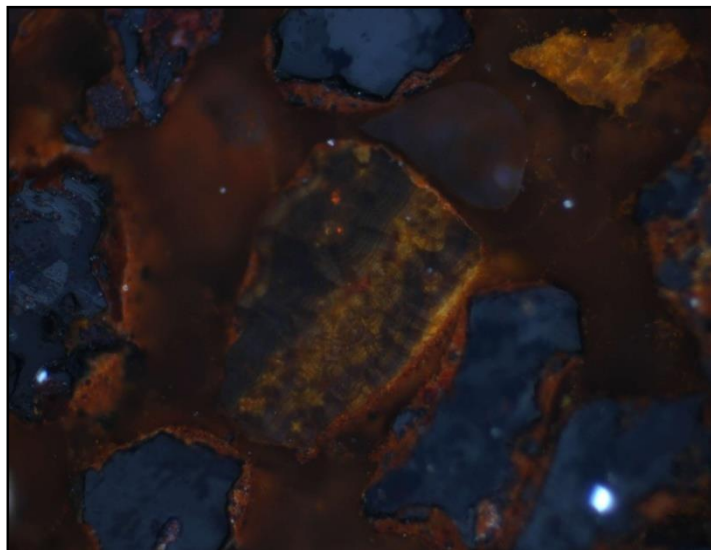


Figura 5.18 Goethita NC

5.5.10 Goethita terrosa

Granos de baja cohesión, de color gris oscuro, marrón o rojo, de muy baja reflectividad. Con nicoles cruzados presenta fuerte reflectividad interna rojiza. (Figura 5.19 y 5.20).

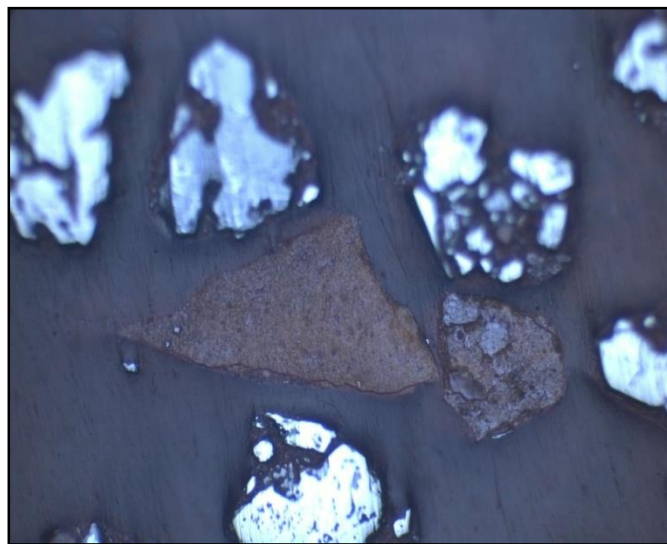


Figura 5.19 Goethita terrosa NP

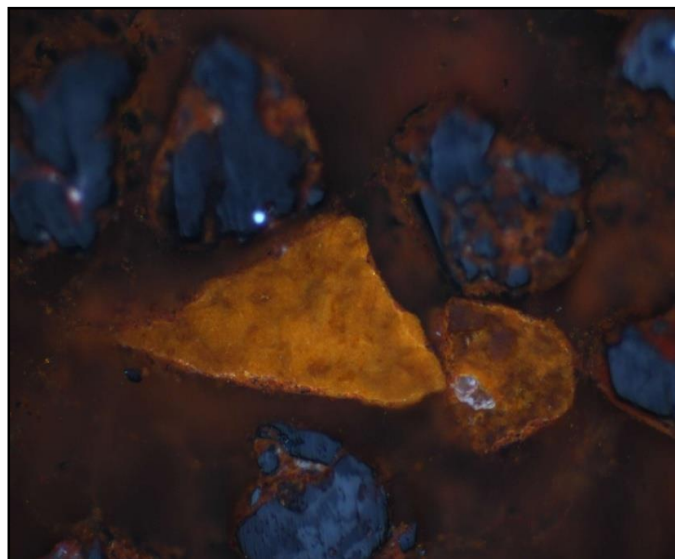


Figura 5.20 Goethita terrosa NC

5.5.11 Agregado terroso

Grano de baja cohesión y reflectividad, con micro porosidad y matriz cementada, de color marrón oscuro que contiene partículas de diversos minerales. Con nicoles cruzados presenta reflectividad interna rojiza. (Figura 5.21 y 5.22).

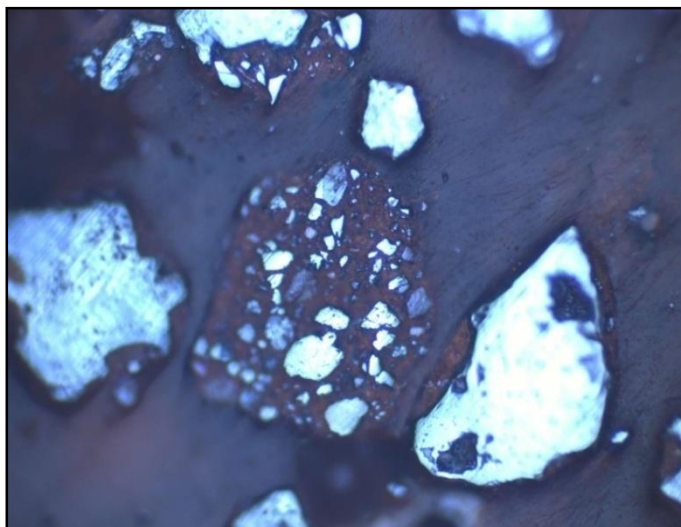


Figura 5.21 Agregado terroso NP

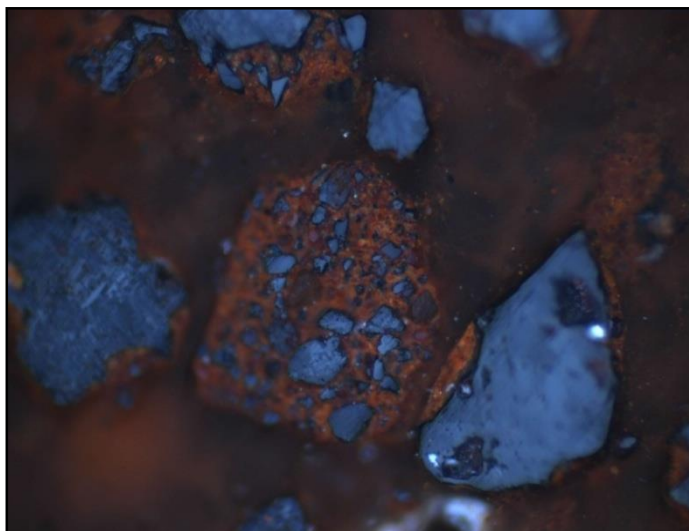


Figura 5.22 Agregado terroso NC

Tabla 5.5 Forma, cristalinidad y tipo de superficie de los minerales presentes en la materia prima.

MINERAL	FORMA	CRISTALINIDAD	SUPERFICIE
HGM	Granular	Monocristalina	Superficie lisa
HTM	Tabular (alargada)	Monocristalina	Superficie lisa
HGR	Granular	Monocristalina	Superficie rugosa
HGP	Granular	Policristalina	Superficie lisa
HTP	Tabular (alargada)	Policristalina	Superficie lisa
Magnetita	Granular (euhedrica)	Monocristalina	Superficie lisa
Martita	Granular	Microcristalino	Superficie lisa
Martita porosa	Granular	Microcristalino	Superficie porosa
Goethita	Granular	Bandas microcristalinas	Superficie rugosa
Goethita terrosa	Granular	Microcristalino	Superficie rugosa y de baja cohesión (terrosa)
Agregado terroso	Granular	Microcristales de diferentes composiciones	Superficie porosa y de baja cohesión (terrosa)

CONCLUSIONES

Tomando en cuenta los resultados obtenidos a lo largo del proceso de investigación, se llegó a las siguientes conclusiones.

Con la determinación de las características ópticas se logró la identificación de cuatro especies de minerales: Magnetita, Hematita, Martita y Goethita. Por ser todos minerales metálicos, responden muy bien al pulido y exhiben una reflectividad alta, a excepción de la Goethita que muestra una reflectividad media.

El color es blanco para la Hematita y la Martita, y gris claro para la Magnetita y la Goethita. Solamente la Magnetita mostró isotropía, por lo tanto el resto de los minerales son anisótropicos entre los que se destaca la Goethita por sus reflexiones internas.

Al observar los minerales con nicols cruzados, estos presentan un color de polarización gris oscuro, destacándose la Martita con una forma de rejilla muy característica, y la Goethita con puntos rojos debido a las reflexiones internas.

La Hematita mostró dos grados de cristalinidad, es decir, monocristalina y policristalina, a diferencia de la Magnetita que siempre se pudo observar monocristalina. La Martita es microcristalina al igual que la Goethita, pero esta última a veces se muestra en bandas concreciónales.

Los granos de los minerales observados, en su mayoría siempre son de forma anhedral, solo en ocasiones se identificó Magnetita Euhedral y Hematita tabular.

La superficie de pulitura de los granos de Hematita, Magnetita y Martita es lisa y solo en ocasiones se observó Hematita y Goetita con superficie rugosa, Martita y Goethita porosa.

Según las características de forma, cristalinidad y superficie de los granos, se pudo identificar once (11) tipos diferentes de material, lo que podría originar diferencias en las mezclas de la materia prima que llega a la empresa. Los tipos de material identificados son:

- 1.- Hematita granular monocristalina de superficie lisa (HGM)
- 2.- Hematita tabular monocristalina de superficie lisa (HTM)
- 3.- Hematita granular monocristalina de superficie rugosa (HGR)
- 4.- Hematita granular policristalina de superficie lisa (HGP)
- 5.- Hematita tabular policristalina de superficie lisa (HTP)
- 6.- Magnetita granular monocristalina de superficie lisa
- 7.- Martita granular microcristalina de superficie lisa
- 8.- Martita porosa granular microcristalina de superficie porosa
- 9.- Goethita granular microcristalina de superficie rugosa
- 10.- Goethita terrosa granular microcristalina de superficie rugosa
- 11.- Agregado terroso granular de microcristales de superficie porosa.

RECOMENDACIONES

1. Continuar los estudios de caracterización mineralógica a las diferentes mezclas de materia prima que recibe la empresa, para obtener un mayor número de información sobre el comportamiento del mineral en los procesos de reducción directa.

2. Incluir la medición del tamaño de las partículas y la cuantificación del tipo de material dentro de las características que se le determinan a la materia prima.

REFERENCIAS

Bardellini, Kelvin. (2007). **CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DEL MINERAL FINO DE HIERRO UTILIZADO EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE LA PLANTA ORINOCO IRON – CIUDAD GUAYANA, ESTADO BOLÍVAR**. Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra. Ciudad Bolívar, Venezuela, pp 65-85.

Bitriaga, Mayglibeth. (2008). **CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA, QUÍMICA Y FÍSICA DEL MINERAL FINO DE LOS YACIMIENTOS DE HIERRO DEL CUADRILÁTERO FERRÍFERO SAN ISIDRO; EN FUNCIÓN DE LAS ESPECIFICACIONES DE LA PLANTA DE BRIQUETAS DE ORINOCO IRON.-ESTADO BOLIVAR**. Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra. Ciudad Bolívar, Venezuela, pp 74.

Cruz, Luis. (2000). **CARACTERIZACIÓN QUÍMICA, LITOLÓGICA Y MINERALÓGICA DE LOS YACIMIENTOS ALTAMIRA, LOS BARRANCOS Y LAS PAILAS EN EL PROCESO DE TRITURACIÓN**. Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra. Ciudad Bolívar, Venezuela. pp 34-37.

Craig, James. Vaughan, David. (1981). **ORE MICROSCOPY AND ORE PETROGRAPHY**. Editorial. pp 2-11-15.

Dana, Edwards y Ford, William. (1985). **TRATADO DE MINERALOGIA**. Editorial John Wiley & Sons, Inc. pp 25, 53, 60.

Fidias, Arias. (2006). **EL PROYECTO DE INVESTIGACION**. Editorial Episteme. Caracas, Venezuela, P 127.

Franco, María (2000). **ENSEÑANZA DE LA PETROLOGIA CON EL MICROSCOPIO PETROGRAFICO**. Consultado el 17 de marzo de 2016.

Gamarra, Lumar. (2005). **CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LAS MENAS DE HIERRO DE LA MINA LOS BARRACOS DEL CIADRILÉTERO FERRÍFERO SAN ISIDRO, UBICADO EN EL MUNICIPIO AUTÓNOMO RAÚL LEONI, ESTADO BOLÍVAR**. Universidad de Oriente, Escuela de Ciencias de la Tierra. Ciudad Bolívar, Venezuela, pp 69-74.

Heinrich, E. (1971). **PETROGRAFIA MICROSCOPICA**. Editorial Omega. 14 de Julio de 2016. Madrid, España, P 320.

Kerr, Paul. (1965). **MINERALOGIA OPTICA**. Ediciones Del Castillo. España, pp 3 – 8.

Picot, Johan. (1982). **ATLAS OF ORE MINERALS**. Editorial, pp 13-17-56

Ratti, Zenhaida. (2001). **CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA DE LAS CUARCITAS FERRUGINOSAS DE LOS YACIMIENTOS DE SAN ISIDRO, LAS PAILAS Y LOS BARRANCOS Y SU IMPORTANCIA EN LOS PROCESOS DE CONCENTRACIÓN, CIUDAD PIAR**. Universidad de Oriente. Escuela Ciencias de la Tierra. Ciudad Bolívar, Venezuela. pp 34-49.

Vanegas, Pablo. (2010). **EVALUACION DEL USO DE CATALIZADORES Fe - Cr DE CONVERSION DE CO DESACTIVADOS EN EL PROCESO FINMET DE LA PLANTA ORINOCO IRON.- ESTADO BOLIVAR**. Universidad Nacional Experimental Politecnica. Ciudad Guayana, Venezuela, pp 25-67.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA DE LA MATERIA PRIMA UTILIZADA EN EL PROCESO DE REDUCCIÓN DIRECTA FINMET® DE LA EMPRESA ORINOCO IRON S.C.S. – CIUDAD GUAYANA, ESTADO BOLÍVAR.
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
HERRERA MELO, ANDY MARA	CVLAC	16.613.881
	e-mail	andymara19@gmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Establecimiento de funciones
Desarrollo de procedimientos
Diagramación de Procedimientos
Procedimientos de trabajo
Documentación

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Control de Calidad	

Resumen (abstract):

Este trabajo de grado ofrece una caracterización mineralógica de la materia prima utilizada en el Proceso de Reducción Directa FINMET® de la empresa Orinoco Iron S.C.S., ubicada en Ciudad Guayana, Estado Bolívar. Se analizaron cinco muestras de la materia prima que recibe la empresa, constituidas por finos negros y marrones mezclados, los cuales conforman las pilas de material proveniente de los diferentes yacimientos de la zona. Las muestras se prepararon en secciones pulidas y se analizaron utilizando técnicas de microscopía polarizante de luz reflejada, para determinar las características ópticas de cada mineral identificado y clasificar su cristalinidad, su forma y la superficie de pulido de los granos. Durante los análisis se procedió a tomar microfotografías con nicols cruzados y nicols paralelos. Como resultado se logró la identificación de cuatro especies de minerales de hierro: Magnetita, Hematita, Martita y Goethita. Se hicieron tablas con sus características de reflectividad, color, anisotropía, isotropía, reflexiones internas, cristalinidad, forma de los granos y tipo de superficie de pulido. Se obtuvieron once tipos diferentes de material producto de la combinación de sus características las cuales pueden influir en su comportamiento industrial.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Bandini, Anna	ROL	☐ ☐ ☒ ☐
	CVLAC	12.601.283
	e-mail	bandinianna@gmail.com
	e-mail	
González, Víctor	ROL	☐ ☐ ☐ ☒
	CVLAC	11.730.961
	e-mail	victor.gonzalez@udo.edu.ve
	e-mail	
Ciatti, Gabriella	ROL	☐ ☐ ☐ ☒
	CVLAC	11.167.753
	e-mail	gabriellaciatti@hotmail.com
	e-mail	
	ROL	☐ ☐ ☐ ☐
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2018	10	26

Lenguaje Spa

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo
DEPARTAMENTO DE CALIDAD.

Caracteres permitidos en los nombres de los archivos: **A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 _ - .**

Alcance:

Espacial: Departamento de Control de Calidad. Empresa Orinoco Iron S.C.S Puerto Ordaz, Edo. Bolívar.

Temporal:

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero de Minas

Nivel Asociado con el Trabajo: Pre-Grado

Pregrado

Área de Estudio:

Ingeniería de Minas

Otra(s) Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.



Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

JUAN A. BOLANOS CURVELO
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009) : "Los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario, para su autorización."

AUTOR
Andy Mara Herrera
C.I.: V-16.613.881

TUTOR
Anna Bandini
C.I 12.601.683